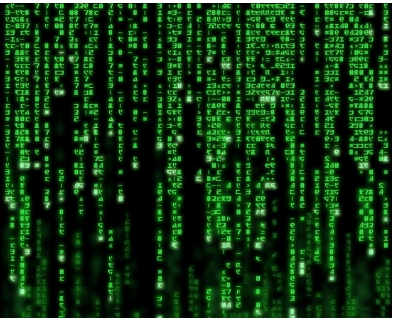
IMS
Institut für Mikroelektronische Systeme
Leibniz Universität Hannover

Leibniz Universität Hannover

Programmierpraktikum Technische Informatik (C++)



28.4.2022

IMS
Institut für Mikroelektronische Systeme
Leibniz Universität Hannover

Leibniz
Universität
Hannover

Grundlagen C++

Inhalt

- Funktionen
- Komplexe Datentypen
- Templates
- Standardbibliothek
- Verschiedenes

Komplexe Datentypen

- Komplexe Datentypen sind alle nicht in die Sprache eingebauten Datentypen
- Bereits bekannt: `std::string`
  - Teil der C++-Standardbibliothek
- Bessere Unterstützung komplexer Datentypen wichtigstes Merkmal von C++ gegenüber C
- Komplexe Datentypen können neben Daten auch Funktionen besitzen, sog. Memberfunktionen

Memberfunktionen

- Wie normale Funktionen, nur mit anderer Aufrufsyntax
- Memberfunktionen werden mit *object*.*function*(*arguments*) aufgerufen:

```
std::string foo("Hello");
foo.append(" world");
std::string("Goodbye World").swap(foo);
```

- Memberfunktionen benötigen zum Aufruf eine Instanz des Typs
  - `foo.resize(5)` ist korrekt, `std::string.resize(5)` nicht

Operatoren

- Operatoren (`+`, `-`, `*`, `...`) können in C++ für komplexe Datentypen umdefiniert werden
  - "Operator Overloading"
- Stringkonkatenation mit + aus der letzten Veranstaltung bekannt
- `std::string` überlädt außerdem: Vergleichsoperatoren `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`
- **Wichtig:** Zeichenkettenliterale (z.B. `"foo"`) sind nicht vom Typ `std::string`
  - Bei Arbeiten nur mit Zeichenkettenliteralen müssen C-Funktionen verwendet werden, Operatoren funktionieren nicht
    - Keine Garantie, ob `"foo" == "foo"` wahr oder falsch ergibt
  - Können implizit in `std::string` umgewandelt werden
    - `std::string("foo")== "foo"` funktioniert, da Operator von `std::string` vorgegeben wird

Kopien von komplexen Datentypen

```
std::string foo("hello world");
std::string bar = foo;
bar.resize(5);
```

- C++ ermöglicht Entwicklern festzulegen, wie komplexe Datentypen bei Zuweisung kopiert werden
- Kopierverhalten für die meisten C++-Bibliotheken: “Deep Copy”
  - Kopie des Objektes erstellt vom Orginal unabhängiges Objekt
  - Wichtiger Unterschied zu Java: Zuweisung erstellt in Java für komplexe Datentypen lediglich eine zweite Referenz auf Orginalobjekt
- `bar` hat keine Verbindung zu `foo`, `bar.resize()` ändert die Größe von `foo` nicht
- Erleichtert Nachverfolgbarkeit von Code
  - Identität von Objekten klarer festgelegt
- Birgt Performancerisiken, unnötige Kopien erzeugen Laufzeitoverhead

Überladene Funktionen

- C++ erlaubt Funktionsüberladung
- Verschiedene Funktionen mit gleichem Namen

```
int   min(int   a, int   b) { return a < b ? a : b; }
float min(float a, float b) { return a < b ? a : b; }
```

- Compiler muss die Funktionen beim Aufruf unterscheiden können
  - Unterscheidung in den Parametertypen
  - Unterscheidung nur im Rückgabetyp reicht **nicht**
- Überladene Funktionen sollten in der Regel ähnliche Operationen implementieren
  - Kann sonst leicht zu Verwirrung führen

Defaultparameter für Funktionen

```
void foo(int, bool=false, std::string=std::string("bar"));
void foo(int);
foo(5);      <-- call of overloaded 'foo(int)' is ambiguous
foo(5, true);   <-- foo(5, true, "bar")
foo(5, false, "foobar")   <-- foo(5, false, "foobar")
```

- Anders als C und Java unterstützt C++ Defaultwerte für Parameter
- Reduziert Codeduplikation
- Parameter mit Defaultwerten nur am Ende der Parameterliste
  - Illegal: `void foo(int=5, bool)`
- Defaultparameter können zu `ambiguous-overload`-Fehlern führen

Deklaration von Funktionen mit Defaultparametern

- Defaultwerte für Parameter werden an der **aufrufenden** Codestelle eingefügt
  - Defaultwerte müssen dem Compiler bekannt sein
  - Defaultwerte gehören in die Deklaration der Funktion
  - Bei mehrfacher Deklaration einer Funktion darf nur eine Defaultparameter erhalten

```
void foo(int x, int y);
void foo(int x, int y = 0);
foo(5);          <- Ok, äquivalent zu foo(5, 0);
void foo(int x, int y);   <- Ok, redeklariert foo ohne Defaultparameter hinzuzufügen
void foo(int x, int y = 0);
```

```
error: default argument given for parameter 2 of 'void foo(int, int)'
after previous specification in 'void foo(int, int)'
```

const

- Schlüsselwort `const` zur Definition konstanter Variablen
- `const` *T* beschreibt einen konstanten Typ
- Konstante Variablen nach Initialisierung nicht mehr modifizierbar
- `const` *T* und *T* `const` sind äquivalent
  - Später noch wichtig

```
const int foo = 5;
foo = 2;   <-- error: assignment of read-only variable 'foo'
++foo;     <-- error: increment of read-only variable 'foo'
int const bar = 5;
```

Verwendung von const

- Nichtmodizifierende Memberfunktionen dürfen aufgerufen werden
  - `const std::string x("foobar");`
  - Legal: `x.size()`
  - Illegal: `x.resize(3)`
- `const` stellt sicher, dass konstante Variablen nicht modifiziert werden
  - Hilft anderen Entwicklern beim Verstehen des Quellcodes

Wann immer möglich `const` verwenden!

Call by Value

```
void foo(int x) { x = 5; }
int main()
{
  int bar=10;
  foo(bar);
  std::cout<<bar<<std::endl;
}
```

- Was ist die Ausgabe dieses Programmes?
  - Antwort: 10
- Funktionsargumente werden “by value“ übergeben
- Die Funktion operiert auf einer Kopie der übergebenen Daten

Referenzen

```
int  foo = 5;
int& bar = foo;
int  baz = 10;
std::cout<<foo<<", "<<bar<<", "<<baz<<"\n";   <-- 5, 5, 10
bar = baz;
std::cout<<foo<<", "<<bar<<", "<<baz<<"\n";   <-- 10, 10, 10
foo += 5;
std::cout<<foo<<", "<<bar<<", "<<baz<<"\n";   <-- 15, 15, 10
```

- Referenztypen: *type-name*& (bsp: `int&`)
- Referenzen sind Verweise auf andere Objekte
- Werden bei Initialisierung an zu referenzierendes Objekt gebunden
  - Illegal: `int& bar;`
- Verhalten sich wie das referenzierte Objekt
- Äquivalent zu C-Pointern mit Dereferenzierung bei jedem Zugriff

lvalues

- `int& x = 5;` nicht möglich
- Referenzen können nur an lvalues gebunden werden
- lvalues: Können **links** eines Zuweisungsoperators stehen
  - Meistens Variablen
  - Simplifizierte Darstellung, Wahrheit etwas komplizierter
- Alternative Vereinfachung:
  - lvalues sind Objekte mit einem Namen
- Klassische lvalues:
  - Variablen
  - Funktionsparameter

rvalues

- Können nur **rechts** eines Zuweisungsoperators stehen
  - Temporäre Objekte
  - Wahrheit auch hier komplizierter
- `x` ist typischer lvalue, `5` rvalue
- Referenzen auf konstante Objekte können auch an rvalues gebunden werden
  - `const int& x = 5;` ist erlaubt
  - Compiler erzeugt für diesen Code eine Variable vom Typ `int`, die den Wert `5` erhält und von `x` referenziert wird
  - Lebenszeit dieser Variablen entspricht der von `x`
- Typische rvalues:
  - Temporäre Objekte (`std::string()`, Funktionsrückgabewerte)
  - Literale (`5`, `"hello world"`, `true`)

Call by Reference

- Referenzparameter erlauben Funktionen, auf den übergebenen Variablen zu operieren

```
void foo(int& x)  { x = 5; }
int main() {
  int bar=10;
  foo(bar);
  std::cout<<bar<<std::endl;
}
```

- Ausgabe: 5
- Kann nur mit lvalues aufgerufen werden
- `int qux(const int& x)` auch mit rvalues aufrufbar

Wahl der Aufrufkonvention

- Call by Reference, wenn Funktion Argumente modifizieren sollen
- Call by Value, wenn die Funktion eine Kopie der Daten benötigt
- Call by Value bei kleinen Objekten
  - Anlegen einer Referenz für primitive Datentypen nicht billiger als das Erstellen einer Kopie
  - Zugriff über Referenz möglicherweise teurer als bei einer Kopie
- Ansonsten Call by Const-Reference, um die Kosten für eine Kopie zu vermeiden

```
void foo(std::string x) {}
void bar(const std::string& x) {}

std::string x("this is a teststring");
for(long long i = 0; i < 1000000000; ++i) foo(x);  <-- 0m19.052s
for(long long i = 0; i < 1000000000; ++i) bar(x);  <-- 0m1.671s
```

Rückgaben und Referenzen

```
int& foo()
{
    int x = 5;
    return x;
}
```

warning: reference to local variable ’x’ returned

- Lebenszeit von `x` mit Verlassen von `foo` beendet
- `foo` gibt Referenz auf ein Objekt zurück, das nicht mehr existiert
- Undefiniertes Verhalten nach dem C++-Standard
- Daher: Rückgabe immer by Value
- Compiler kann das Anlegen einer Kopie für den Rückgabewert vermeiden
  - Return Value Optimization (RVO), deckt gängige Fälle ab

Rückgabe von lokalen Variablen immer by Value, nie by Reference!

Templates

- Templates sind eine weitere wichtige Neuerung in C++ gegenüber C
- Ähnlich zu Generics in Java, allerdings bedeutend mächtiger
  - Templatesystem von C++ ist turingvollständig
- Grundlage für einen Großteil der C++-Standardbibliothek

Motivation für Templates

```
int    min(int    a, int    b) { return a < b ? a : b; }
long   min(long   a, long   b) { return a < b ? a : b; }
float  min(float  a, float  b) { return a < b ? a : b; }
...
```

- Häufig ist die selbe Operation für verschiedene Datentypen sinnvoll
- In C muss die Funktion für jeden konkreten Datentyp einzeln geschrieben werden
  - Problematisch, da Wartung erschwert wird
  - Alternative: Macro, hat aber eigene Probleme,
    z.B. unbeabsichtigte Mehrfachauswertung von Ausdrücken
- Templates erlauben es, eine generische Funktion zu schreiben, die beim Aufruf für den jeweiligen Datentyp konkretisiert wird
- Standardbibliothek enthält Template `std::min`, kann als `std::min(a, b)` für beliebige Datentypen aufgerufen werden
  - Einschränkung: Typ von `a` und `b` muss für `std::min` identisch sein

Template-Argumente

- Templates selber sind keine Funktionen/Datentypen
- Durch Spezifikation der Templateargumente werden Templates instanziiert
- Templateargumente stehen in spitzen Klammern <> nach dem Namen der Template-Funktion/Template-Klasse
  - Bsp: `std::min<int>(a, b)`
  - Im Folgenden: *T* Platzhalter für Template-Argumente

Template-Argumente II

- Template-Argumente können für Template-Funktionen oft vom Compiler implizit bestimmt werden (**deduziert**)
- Existiert Funktionsargument von Typ *T*, wird *T* auf den Typ des Parameters gesetzt
  - `a` und `b` vom Typ `int`:
    `std::min(a, b)` entspricht `std::min<int>(a, b)`
- Gibt `T` den Typ mehrerer Funktionsargumente an, müssen diese für Deduktion den selben Typ haben
  - `std::min(1, 0.5)` kompiliert nicht, da *T*=`int` und *T*=`double` deduziert wird
  - Explizite Angabe der Template-Argumente notwendig (`std::min<double>(1, 0.5)` funktioniert)

std::vector

```
#include <vector>
#include <iostream>
int main()
{
  std::vector<int> collection = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8};
  collection.emplace_back(9);
  for(std::size_t i = 0; i < collection.size(); ++i)
    std::cout << collection[i] << "\n";
  return 0;
}
```

- Die C++-Standardbibliothek enthält Container als Template-Klassen
  - Standard Template Library (STL) Teil der Standardbibliothek
  - Angabe von Templateargumenten wie bei Funktionen mit <>
- `std::vector` kapselt ein dynamisches Array
  - Entsprechung in Java: `ArrayList`
  - C verfügt über keine derartige Kapselung

std::vector

```
 #include <vector>
#include <iostream>
int main()
{
  std::vector<int> collection = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8};
  collection.emplace_back(9);
  for(std::size_t i = 0; i < collection.size(); ++i)
    std::cout << collection[i] << "\n";
  return 0;
}
```

- C++ bietet seit C++11 Syntax zur direkten Initialisierung von Containertypen
- `{1, ..., 8}` erzeugt eine `std::initializer_list<int>`
- `std::vector<`*T*`>` verfügt über Konstruktor zur Konstruktion aus `std::initializer_list<`*T*`>`

std::vector

```
 #include <vector>
#include <iostream>
int main()
{
  std::vector<int> collection = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8};
  collection.emplace_back(9);
  for(std::size_t i = 0; i < collection.size(); ++i)
    std::cout << collection[i] << "\n";
  return 0;
}
```

- Mit `myVec.emplace_back(`T`)` können weitere Elemente an das Ende des Vectors angehängt werden
  - Parameter: Argumente für den Konstruktor von T
  - Objekt wird direkt an Endposition konstruiert
- Größe des Vectors wird automatisch angepasst

std::vector

```
 #include <vector>
#include <iostream>
int main()
{
  std::vector<int> collection = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8};
  collection.emplace_back(9);
  for(std::size_t i = 0; i < collection.size(); ++i)
    std::cout << collection[i] << "\n";
  return 0;
}
```

- `size_t` (eigentlich `std::size_t`) ist Typ für Größenangaben und Indizes in C++
  - Groß genug, um alle möglichen Größen abbilden zu können
  - Vorzeichenlos. Vorzeichenbehaftete Entsprechung: `ptrdiff_t` (oder `std::ptrdiff_t`)
- `.size()` gibt die Anzahl der Elemente eines `std::vector` zurück

std::vector

```
 #include <vector>
#include <iostream>
int main()
{
  std::vector<int> collection = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8};
  collection.emplace_back(9);
  for(std::size_t i = 0; i < collection.size(); ++i)
    std::cout << collection[i] << "\n";
  return 0;
}
```

- Mit `myVec[i]` kann auf Elemente des Vectors zugegriffen werden

Iteratoren

- Häufig: Iterieren über alle Elemente eines Containers
- Wünschenswert: Vom Containertyp unabhängiges Interface
- Iteratoren sind Zeiger auf Elemente eines Containers
- Können auf vorhergehendes und nächstes Element verschoben werden
- Syntax an die C-Syntax für Pointer angelehnt
- Iteratoren können im Gegensatz zu Pointern auch über komplexe Datenstrukturen wie verkettete Listen iterieren

Verwendung von Iteratoren

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::vector<std::string>::const_iterator iter = myVec.begin();
    iter != myVec.end();
    ++iter)
  std::cout << *iter;
```

- *container*::const_iterator ist Typ für Iteratoren, durch die Containerelemente **nicht** verändert werden können
- Sind Modifikationen gewünscht: *container*::iterator
- iterators können implizit in const_iterators konvertiert werden
- Konvertierung von const_iterator zu iterator nicht ohne weiteres möglich
  - Würde Const-Correctness verletzen

Verwendung von Iteratoren

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::vector<std::string>::const_iterator iter = myVec.begin();
    iter != myVec.end();
    ++iter)
  std::cout<< *iter;
```

- Die Methode `begin()` gibt Iterator zurück, der auf erstes Element des Containers zeigt
- Rückgabetyp hängt von der Constness des Containers ab:
  - `const_iterator`, wenn der Container `const` ist
  - ansonsten `iterator`

Verwendung von Iteratoren

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::vector<std::string>::const_iterator iter = myVec.begin();
    iter != myVec.end();
    ++iter)
  std::cout << *iter;
```

- Die Methode `end()` gibt einen Iterator zurück, der **hinter** das letzte Element zeigt
- Zugriff auf referenziertes Element ist undefiniertes Verhalten
  - Häufig: Segmentation Fault
- Iteratoren können mit == und `!=` verglichen werden
  - Einige Iteratoren unterstützen auch `<`, `<=`, `>` und `>=`
- `iter != container.end()` bedeutet: Iteriere, solange der Iterator in den Containergrenzen liegt

Verwendung von Iteratoren

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::vector<std::string>::const_iterator iter = myVec.begin();
    iter != myVec.end();
    ++iter)
  std::cout<< *iter;
```

- Inkrementoperator (`++iter`, `iter++`) schiebt Iteratoren ein Element weiter
- Analog schiebt der Dekrementoperator einen Iterator ein Element zurück
- Operatoren, die um mehrere Elemente verschieben (`+`, `-`, `+=`, `-=`) werden nicht von allen Iteratortypen unterstützt

Verwendung von Iteratoren

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::vector<std::string>::const_iterator iter = myVec.begin();
    iter != myVec.end();
    ++iter)
  std::cout<< *iter;
```

- Zugriff auf das referenzierte Element des Containers geschieht über den Dereferenzierungsoperator `*iter`
- Im Falle von komplexen Elementtypen Zugriff auf Memberfunktionen über `(*iter).member()`
- Äquivalent, aber eleganter: `iter->member()`

Verwendung von Iteratoren

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::vector<std::string>::const_iterator iter = myVec.begin();
    iter != myVec.end();
    ++iter)
  std::cout<< *iter;
```

- Achtung: Änderungen am Container können Iteratoren invalidieren
  - Änderungen in der Container-Struktur kritisch
  - Änderungen der Elemente selbst unkritisch
  - `myVec[1]="foo"` invalidiert nicht, `myVec.emplace_back("bar")` schon
- Regeln dafür später
- Für den Moment: Annahme, dass alle Operationen, die den Container verändern, invalidieren

Range-based For

- Verwendung von Iteratoren sehr umständlich
- Seit C++11: Range-based For

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::string  value: myVec)
  std::cout<< value;
```

- Ermöglicht einfaches Iterieren über alle Container, die `begin` und `end` unterstützen
- Bis auf Erstellung einer lokalen Variable `value` äquivalent zu vorherigem Beispiel
- Achtung: `value` ist jeweils Kopie des aktuellen Elements
  - Containerinhalt kann darüber nicht geändert werden
  - Unnötiger Laufzeitoverhead

Range-based For

- Verwendung von Iteratoren sehr umständlich
- Seit C++11: Range-based For

```
std::vector<std::string> myVec = {"hello", "world", "!\n"};
for(std::string& value: myVec)
  std::cout<< value;
```

- Verwendung von Referenzen vermeidet unnötige Kopien
- In diesem Fall wäre `const std::string&` noch besser
- Iteration über Teilbereiche des Vectors leider immer noch umständlich
  - Elegante Ansätze in anderen Bibliotheken (später mehr)

std::map

- `std::map` ist weiterer Container der Standardbibliothek
- Geordneter Key/Value Container
  - Basiert auf einem balancierten binären Suchbaum
  - Entspricht dem Typ `TreeMap` in Java
- Logarithmische Laufzeit für Einfügen, Löschen und Finden eines Schlüssels
- Iterieren über gesamten Container linear in der Anzahl der Elemente

Beispiel std::map

```
#include <map>
std::map<std::string, int> dictionary = {{"Alice", 1}, {"Bob", 3}};
dictionary.insert({"Eve", 2});
std::map<std::string, int>::iterator bobIter = dictionary.find("Bob");
if(bobIter != dictionary.end())
    std::cout<<"Bob found\n";
for(std::map<std::string, int>::value_type& elem: dictionary)
    std::cout<<elem.first<<": "<<elem.second<<"\n";
```

- `std::map` benötigt zwei Typparameter
- Erster Parameter ist der Typ des Keys (hier: `std::string`)
- Zweiter Parameter gibt den Typ für Werte an (hier: `int`)
- Initialisierung über eine verschachtelte Initialisierungsliste möglich

Beispiel std::map

```
#include <map>
std::map<std::string, int> dictionary = {{"Alice", 1}, {"Bob", 3}};
dictionary.insert({"Eve", 2});
std::map<std::string, int>::iterator bobIter = dictionary.find("Bob");
if(bobIter != dictionary.end())
    std::cout<<"Bob found\n";
for(std::map<std::string, int>::value_type& elem: dictionary)
    std::cout<<elem.first<<": "<<elem.second<<"\n";
```

- `.insert(`*item*`)` fügt neues Element ein
- Typ der Elemente ist `std::map<K, V>::value_type`
- `{"Eve", 2}` verwendet Initialisierungssyntax, um das einzufügende Objekt zu erzeugen, ohne den Typ angeben zu müssen
  - Geht überall, wo der Zieltyp bekannt ist, betrifft `return`, Funktionsargumente, Zuweisungen
  - Compilerfehler, wenn verschiedene Zieltypen zur Auswahl stehen

Beispiel std::map

```
#include <map>
std::map<std::string, int> dictionary = {{"Alice", 1}, {"Bob", 3}};
dictionary.insert({"Eve", 2});
std::map<std::string, int>::iterator bobIter = dictionary.find("Bob");
if(bobIter != dictionary.end())
    std::cout<<"Bob found\n";
for(std::map<std::string, int>::value_type& elem: dictionary)
    std::cout<<elem.first<<": "<<elem.second<<"\n";
```

- `.find(`*key*`)` sucht das zu einem Key gehörende Element
- Gibt `iterator` auf das Element zurück, falls es in der `map` existiert
- Ansonsten entspricht der Rückgabewert `dictionary.end()`

Beispiel std::map

```
#include <map>
std::map<std::string, int> dictionary = {{"Alice", 1}, {"Bob", 3}};
dictionary.insert({"Eve", 2});
std::map<std::string, int>::iterator bobIter = dictionary.find("Bob");
if(bobIter != dictionary.end())
    std::cout<<"Bob found\n";
for(std::map<std::string, int>::value_type& elem: dictionary)
    std::cout<<elem.first<<": "<<elem.second<<"\n";
```

- Zugriff auf den zugehörigen **Wert** auch über `dictionary[`*key*`]`
  - **Aber:** Erstellt Element, falls es nicht existiert
  - Lokalisierung von Fehlern schwieriger
  - Kann nicht für `const` Maps verwendet werden
- Zugriff auf Key mit *element*`.first`
- Zugriff auf Value mit *element*`.second`

std::tuple

- Bisher: Homogene Container (speichern nur Elemente gleichen Typs)
- Jetzt: Inhomogene Container: Tuple
- Aufgrund der statischen Typisierung von C++:
  Länge und beteiligte Elementtypen zur Compilezeit festgelegt
- Beispiel: `std::tuple<std::string, int, double>`
- Zugriff auf Elemente mit `std::get<`*n*`>(`*tuple*`)`
  - *n* gibt den Index des Elements an

```
#include <tuple>
int main()
{
    std::tuple<int, int, bool> bar(10, 5, true);
    std::get<2>(bar) = false;
    std::cout<<std::get<0>(bar)<<"\n";
}
```

IO

- Für IO-Operationen bietet C++ IOStreams
- `std::cin, std::cout` sind IOStream-Instanzen
  - Konkret: `std::istream` bzw. `std::ostream`
- C++ stellt Streamtypen für verschiedene Ziele bereit
  - `std::fstream` für File-IO (Header: `fstream`)
  - `std::stringstream` zum Schreiben auf/Lesen von `std::strings` (Header: `sstream`)
  - Jeweils Spezialisierung von `std::iostream`
  - Erlaubt sowohl Lese- als auch Schreibzugriffe
- Ein- und Auslesen wie gehabt mit << und >>

In- und Outstreams

- Häufig wird ein Stream nur zum Lesen oder nur zum Schreiben verwendet
- Varianten von `std::fstream` und `std::stringstream`:
  - `std::ofstream` und `std::ostringstream` erlauben nur Schreibzugriffe
  - `std::ifstream` und `std::istringstream` analog für Lesezugriffe
- Sind jeweils Spezialisierungen von `std::istream` bzw. `std::ostream`
  - Können als solche verwendet und an Funktionen übergeben werden
  - `std::iostream` spezialisiert sowohl `std::istream` als auch `std::ostream`

Beispiel: Anzahl Zeilen in einer Datei zählen

```
unsigned int calcLineCount(std::istream& is)
{
      unsigned int lineCount = 0;
      std::string  line;
      while(std::getline(is, line))
          ++lineCount;
      return lineCount;
}

int main(int argc, char** argv)
{
      std::vector<std::string> arguments(argv, argv + argc);
      std::ifstream fs(arguments[1]);
      std::cout << calcLineCount(fs) <<
      return 0;
}
```

- Alternative Signatur für `main`
- Kommandozeilenargumente als `char`-Pointer (wie in C)
- Pointer erst später
- Aktuell: Ignorieren

Öffnet Datei `arguments[1]` zum Lesen

- `vector` besitzt Konstruktor aus zwei Iteratoren
- Befüllt `arguments` mit den Kommandozeilenargumenten
- `arguments[0]` ist Name des Executables

Beispiel: Anzahl Zeilen in einer Datei zählen

```
unsigned int calcLineCount(std::istream& is)
{
    unsigned int lineCount = 0;
    std::string  line;
    while(std::getline(is, line))
        ++lineCount;
    return lineCount;
```

- Liest eine Zeile aus `is` in `line`
- Gibt `false` zurück, wenn das Dateiende erreicht ist, sonst `true`
- Typ des ersten Arguments ist `istream`
  - Kann auch von der Konsole oder `stringstreams` einlesen
- Allgemeine Form: `std::getline(<stream>, <string>, <delim>)`
- Liest bis zum nächsten Auftreten von `<delim>` ein
- `<delim>` wird nicht mit eingelesen

`eam` verwendet werden

`);`

Kopieren von Dateien

```
#include <string>
#include <iostream>
#include <vector>
#include <fstream>
int main(int argc, char** argv)
{
    std::vector<std::string> arguments(argv, argv + argc);
    std::ifstream src(arguments[1]);
    std::ofstream dst(arguments[2]);
    dst << src.rdbuf();
    return 0;
}
```

- `ofstream` zum Schreiben in eine Datei
- Erstellt Datei, falls nicht existent

- Schreiben in `ostream` wie gehabt mit <<
- `.rdbuf()` greift auf internen Buffer des Streams zu
- Schreibt gesamten Inhalt von `src` nach `dst`

Casts

- Transformation von einem Typ in einen anderen über Casts
- Aus C bekannt: C-Style Casts ((*T*) *value*)
  - In C++ aus Rückwärtskompatibilitätsgründen auch möglich
- C++ enthält vier verschiedene Casts
  - `static_cast`
  - `dynamic_cast`
  - `const_cast`
  - `reinterpret_cast`
- C-Style Casts verhalten sich je nach Ein- und Ausgabetyp wie `static_cast`, `const_cast` oder `reinterpret_cast`
  - Führt leicht zu unerwünschtem Verhalten
  - Daher nicht empfohlen
- Syntax: `static_cast<`*T*`>(`*expr*`)`, *T* ist Zieltyp, *expr* zu castender Ausdruck
  - Andere Casts äquivalent

Anwendungsgebiete der Casts

- `static_cast`
  - Klassischer Cast, tansformiert einen Wert in einen anderen
  - Bsp.: `static_cast<int>(2.5)`
  - Deckt die meisten Casts in Quellcode ab
  - Typ muss eine (sichere) Transformation erlauben
- `const_cast`
  - Entfernt Constness
  - Bsp.: `const char x; const_cast<char&>(x)`
  - Gefährlich: Modifikation von **ursprünglich** als `const` deklarierten Objekten ist undefiniertes Verhalten
  - Daher nur in Ausnahmefällen sinnvoll: Verwendung von APIs, die nicht const-correct sind
  - Generell vermeiden, Verwendung begründend kommentieren
- `reinterpret_cast` und `dynamic_cast`
  - Selten notwendig, daher hier (noch) nicht behandelt

Type-Alias

- `using` definiert alternative Namen für Typen
- Syntax: `using` *`new-type`* `=` *`type`*`;`
- Nützlich, wenn der Typ nachträglich änderbar sein soll
  - Bsp: `using real = float;`
  - Ist `float` zu ungenau, kann durch Änderung von nur einer Zeile auf `double` umgestellt werden
- Abkürzen langer Typnamen
  - Bsp: `using ItemIterator = std::vector<std::tuple<std::string, int>>::iterator;`
- Sichtbarkeit unterliegt den selben Scopingregeln wie für Variablen
- Neu in C++11 (früher: `typedef`, ohne Unterstützung von Templates)

auto

- Typ-Deduzierung ist populäres Feature vieler moderner Sprachen
- Seit C++11 auch in C++
- `auto` ist Platzhalter für Typ einer Variable
- Verwendung: `auto` *var* = *expr*;
  - Typ von *var* entspricht dem Grundtyp von *expr*
- Für den Grundtyp eines Typs werden Referenzmodifikatoren ignoriert
  - Grundtyp von `int&` ist `int`
- `const` wird ignoriert
  - Nur außenliegendes `const` (später mehr)

auto II

```
const double& foo();
auto bam = foo();
```

- Welchen Typ hat `bam`?
  - Antwort: `double`
- Const- und Referenzmodifikatoren wie für normale Typen
  - `const auto& bam = foo();`
- Nur Variablen, keine `auto`-Funktionsparameter

Structured Bindings (C++17)

- Beispiel

```
std::tuple<int, int> bar(10, 5);
auto [a, b] = bar;
std::cout << a << << ", " << b << "\n";
```

- Initialisierung mehrerer Variablen in einer Anweisung
- Verwendbar u.a. für `std::tuple`, Arrays, Structs
- Beispiel: Iterieren über eine `std::map`

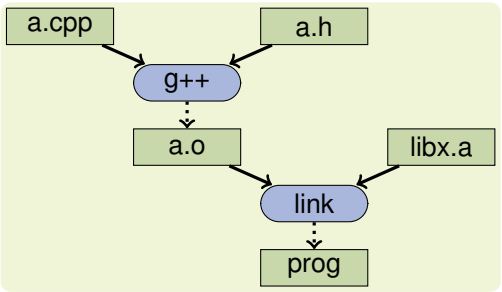
```
std::map<int, std::string> myMap{{3,"foo"}, {2,"bar"}};
for (const auto& [k,v] : myMap)
  std::cout << k << " " << v << std::endl;
```

IMS
Institut für Mikroelektronische Systeme
Leibniz Universität Hannover

Leibniz
Universität
Hannover

Die Toolchain
Teil 2

Buildsystem: Problematik



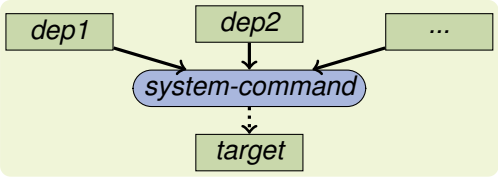
- Zwischen Dateien bestehen Abhängigkeiten.
- Was muss alles in welcher Reihenfolge neu erzeugt werden, wenn sich eine Datei ändert?

Buildsystem: make

- Input
  - Makefile
    - Liste von Abhängigkeiten (i.d.R. manuell eingegeben)
    - Kommandos zum Erzeugen/Aktualisieren abhängiger Dateien
  - Zu jeder Datei: Änderungszeitpunkt
- Aktionen
  - `make` erkennt anhand des Dateialters,
    welche Dateien neu erzeugt werden müssen.
  - Ruft entsprechende Kommandos auf
- `make` *`target`*
  - Erzeugt/Erneuert *`target`*
  - `make`-Aufruf ohne Target verwendet das erste Target im Makefile
  - Verwendet Datei „Makefile“ oder „makefile“, falls vorhanden

Abhängigkeitsregel im Makefile: Allgemein

- Darstellung

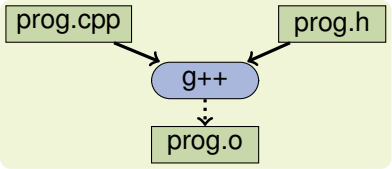


- Im Makefile

```
target: dependencies
        system-command
```

Abhängigkeitsregel im Makefile: Beispiel

- Darstellung



- Im Makefile

```
prog.o: prog.cpp prog.h
        g++ prog.cpp -o prog.o
```

Weiteres zu make

- Variablen

```
OBJS     := pre.o comp.o
ALL_OBJS := $(OBJS) link.o
```

- Automatische Variablen
  - `$@`: Target einer Regel
  - `$<`: Erste Dependency einer Regel
- Automatische Regeln

```
.cpp.o:
    g++ -c -o $@ $<
```

- Problematisch
  - Automatische Erkennung, welche Header inkludiert werden.
- Weitere Details: s. Literatur
- Im Programmmierpraktikum wird Makefile gegeben

Ein einfaches make-Beispiel

```
1: OBJS     := pre.o comp.o
2: ALL_OBJS := $(OBJS) link.o
3: all:  prog
4: prog: $(ALL_OBJS)
5:       g++ -o $@ $(ALL_OBJS)
6: .cpp.o:
7:       g++ -c -o $@ $<
8: clean:
9:       rm -f prog $(ALL_OBJS)
```

- Zeile 1: Definiert Variable `OBJS`
- Zeile 2: Verwendet Variable
- Zeile 3: Übliches Pseudo-Target `all`
- Zeile 4, 5: Regel, wie das Programm `prog` gelinkt wird.
- Zeile 6, 7: Automatische Regel: Wie aus einer .cpp- eine .o-Datei wird.
- Zeile 8, 9: Übliches Pseudo-Target `clean`: Löscht alle erzeugten Dateien.

Andere Buildsysteme

- cmake
- Autotools, GNU Build System
- Ant, Maven
  (Java-basiert)
- SCons
  (Python-basiert)

IMS
Institut für Mikroelektronische Systeme
Leibniz Universität Hannover

Leibniz
Universität
Hannover

C++-Fehlermeldungen

Probleme mit Fehlermeldungen

- Fehler sind in der Programmierung fast unvermeidlich
  - In kompilierten Sprachen erkennt der Compiler bereits viele Programmierfehler
  - Mit entsprechendem Warninglevel werden neben Fehlern auch schlechte Codingpraktiken erkannt
- C++ neigt zu kryptischen Fehlermeldungen
  - Einer der Gründe, die den Einstieg in C++ erschweren
  - In den letzten Jahren wird massiv an der Verbesserung der Fehlermeldungen gearbeitet
  - Bisher mit begrenztem Erfolg
- Deuten der Fehlermeldungen essentielle Fähigkeit für die Entwicklung in C++

Probleme mit Streams

```
#include <string>
#include <iostream>

int main()
{
    std::string foo = "bar\n";
    std::cout >> foo;

    return 0;
}
```

Probleme mit Streams

```
main.cpp: In function 'int main()':
main.cpp:7:15: error: no match for 'operator>>' (operand types are 'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' and 'std::__cxx11::string {aka
    std::__cxx11::basic_string<char>}')
    std::cout >> foo;
              ^
In file included from /usr/include/c++/6.3.1/iostream:40:0,
                 from main.cpp:2:
/usr/include/c++/6.3.1/istream:924:5: note: candidate: template<class _CharT, class _Traits, class _Tp> std::basic_istream<_CharT, _Traits>&
    std::operator>>(std::basic_istream<_CharT, _Traits>&&, _Tp&)
    operator>>(basic_istream<_CharT, _Traits>&& __is, _Tp& __x)
    ^
/usr/include/c++/6.3.1/istream:924:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' is not derived from 'std::basic_istream<_CharT, _Traits>'
    std::cout >> foo;
                 ^
In file included from /usr/include/c++/6.3.1/iostream:40:0,
                 from main.cpp:2:
/usr/include/c++/6.3.1/istream:808:5: note: candidate: template<class _Traits> std::basic_istream<char, _Traits>&
    std::operator>>(std::basic_istream<char, _Traits>&, signed char*)
    operator>>(basic_istream<char, _Traits>& __in, signed char* __s)
    ^
/usr/include/c++/6.3.1/istream:808:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' is not derived from 'std::basic_istream<char, _Traits>'
    std::cout >> foo;
                 ^
In file included from /usr/include/c++/6.3.1/iostream:40:0,
                 from main.cpp:2:
/usr/include/c++/6.3.1/istream:803:5: note: candidate: template<class _Traits> std::basic_istream<char, _Traits>&
    std::operator>>(std::basic_istream<char, _Traits>&, unsigned char*)
    operator>>(basic_istream<char, _Traits>& __in, unsigned char* __s)
    ^
/usr/include/c++/6.3.1/istream:803:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' is not derived from 'std::basic_istream<char, _Traits>'
    std::cout >> foo;
                 ^
In file included from /usr/include/c++/6.3.1/iostream:40:0,
                 from main.cpp:2:
```

Probleme mit Streams

Unwichtige Informationen ausblenden

```
main.cpp: In function 'int main()':
main.cpp:7:15: error: no match for 'operator>>' (operand types are 'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' and 'std::__cxx11::string {aka
    std::__cxx11::basic_string<char>}')
    std::cout >> foo;
             ^
In file included from /usr/include/c++/6.3.1/iostream:40:0,
                 from main.cpp:2:
/usr/include/c++/6.3.1/istream:924:5: note: candidate: template<class _CharT, class _Traits, class _Tp> std::basic_istream<_CharT, _Traits>&
    std::operator>>(std::basic_istream<_CharT, _Traits>&&, _Tp&)
    operator>>(basic_istream<_CharT, _Traits>&& __is, _Tp& __x)
    ^
/usr/include/c++/6.3.1/istream:924:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' is not derived from 'std::basic_istream<_CharT, _Traits>'
    std::cout >> foo;
                 ^
...
In file included from /usr/include/c++/6.3.1/string:53:0,
                 from main.cpp:1:
/usr/include/c++/6.3.1/bits/basic_string.tcc:1441:5: note: candidate: template<class _CharT, class _Traits, class _Alloc> std::basic_istream<_CharT, _Traits>&
    std::operator>>(std::basic_istream<_CharT, _Traits>&, std::__cxx11::basic_string<_CharT, _Traits, _Alloc>&)
    operator>>(basic_istream<_CharT, _Traits>& __in,
    ^
/usr/include/c++/6.3.1/bits/basic_string.tcc:1441:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' is not derived from 'std::basic_istream<_CharT, _Traits>'
    std::cout >> foo;
                 ^
```

- Pfade zur Standardbibliothek sind uninteressant

Unwichtige Informationen ausblenden

```
main.cpp: In function 'int main()':
main.cpp:7:15: error: no match for 'operator>>' (operand types are 'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' and 'std::__cxx11::string {aka
    std::__cxx11::basic_string<char>}')
    std::cout >> foo;
              ^
istream:924:5: note: candidate: template<class _CharT, class _Traits, class _Tp> std::basic_istream<_CharT, _Traits>&
    std::operator>>(std::basic_istream<_CharT, _Traits>&&, _Tp&)
    operator>>(basic_istream<_CharT, _Traits>&& __is, _Tp& __x)
    ^
istream:924:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream {aka std::basic_ostream<char>}' is not derived from 'std::basic_istream<_CharT, _Traits>'
    std::cout >> foo;
                 ^
...
```

- `std::basic_`*`something`*`<`*`T`*`>` sind Templateklassen mit Typedefs für typische Verwendungen
- `std::basic_istream<char>` ist Typ von `std::istream`
  - Eigentlich: `std::basic_istream<char, std::char_traits<char>>`
- Gilt auch für `std::string` (`std::basic_string<char>`)
- `std::__cxx11` ist interner Namespace für Klassen, die in C++11 anders implementiert sind als in C++03
  - Wird transparent in `std` eingebunden, wenn in C++11 kompiliert wird

Unwichtige Informationen ausblenden

```
    main.cpp: In function 'int main()':
main.cpp:7:15: error: no match for 'operator>>' (operand types are 'std::ostream' and 'std::string')
    std::cout >> foo;
              ^
istream:924:5: note: candidate: template<class _Tp> std::istream& std::operator>>(std::istream&&, _Tp&)
    operator>>(istream&& __is, _Tp& __x)
    ^
istream:924:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream' is not derived from 'std::istream'
    std::cout >> foo;
                 ^
...
basic_string.tcc:1441:5: note: candidate: std::istream& std::operator>>(std::istream&, std::string&)
    operator>>(istream& __in, string& __s)
    ^
basic_string.tcc:1441:5: note:   template argument deduction/substitution failed:
main.cpp:7:18: note:   'std::ostream' is not derived from 'std::istream'
    std::cout >> foo;
                 ^
```

- Fehler werden durch `error` gekennzeichnet
- `note` gibt lediglich zusätzliche Informationen über den Fehler
  - Hilfreich, wenn der Fehler im eigenen Code nicht aussagekräftig ist

Der eigentliche Fehler

```
main.cpp: In function 'int main()':
main.cpp:7:15: error: no match for 'operator>>' (operand types are 'std::ostream' and
    'std::string')
    std::cout >> foo;
              ^
```

- In `std::ostream` wird mit << geschrieben, >> ist der falsche Operand