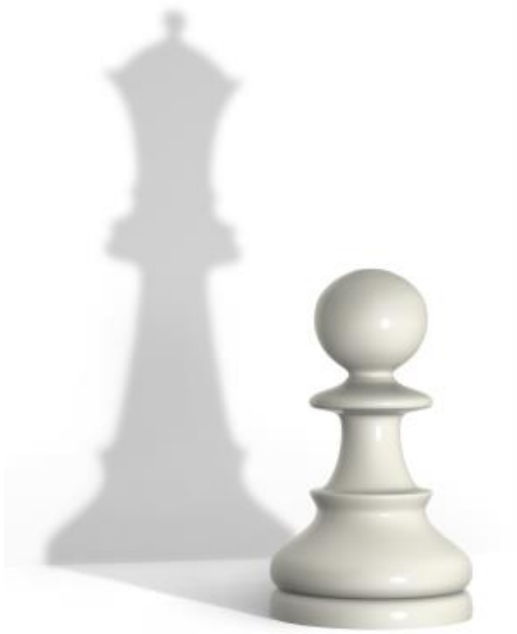
Programmierpraktikum C und C++

Fortgeschrittene Themen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Roland Kluge

roland.kluge@es.tu-darmstadt.de

ES Real-Time Systems Lab

Prof. Dr. rer. nat. Andy Schürr

Dept. of Electrical Engineering and Information Technology

Dept. of Computer Science (adjunct Professor)

www.es.tu-darmstadt.de

Agenda

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

1. Templates   <T>

2. Zeiger auf Funktionen, Methoden und Funktionsobjekte

```
void (*fp1)(const string&)
    = print<string>;
fp1("foo");   // :::> foo
```

3. Überblick der Standard C++ Library

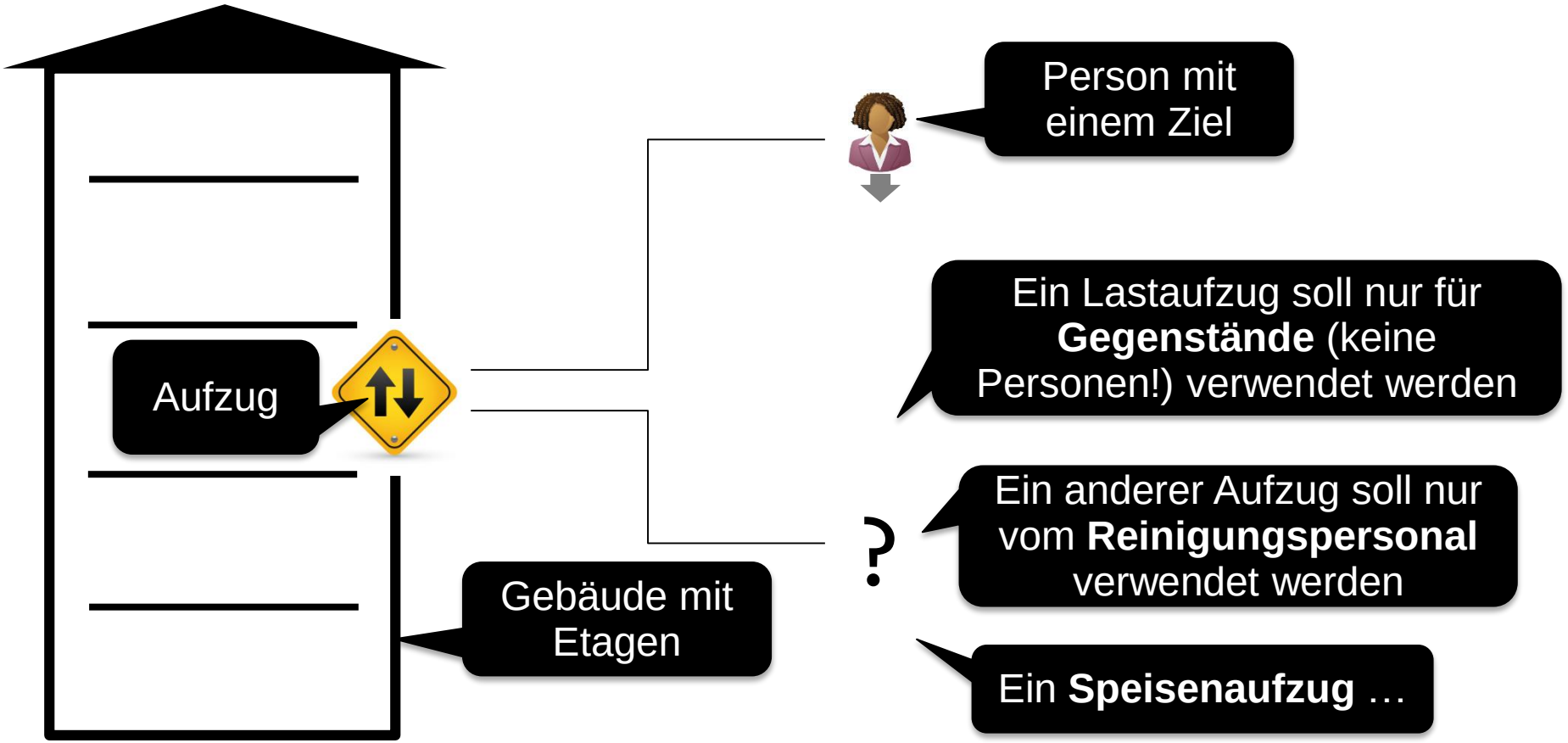
```
#include <algorithms>
#include <priority_queue>
#include <functional>
```

4. Buildprozess mit Makefiles

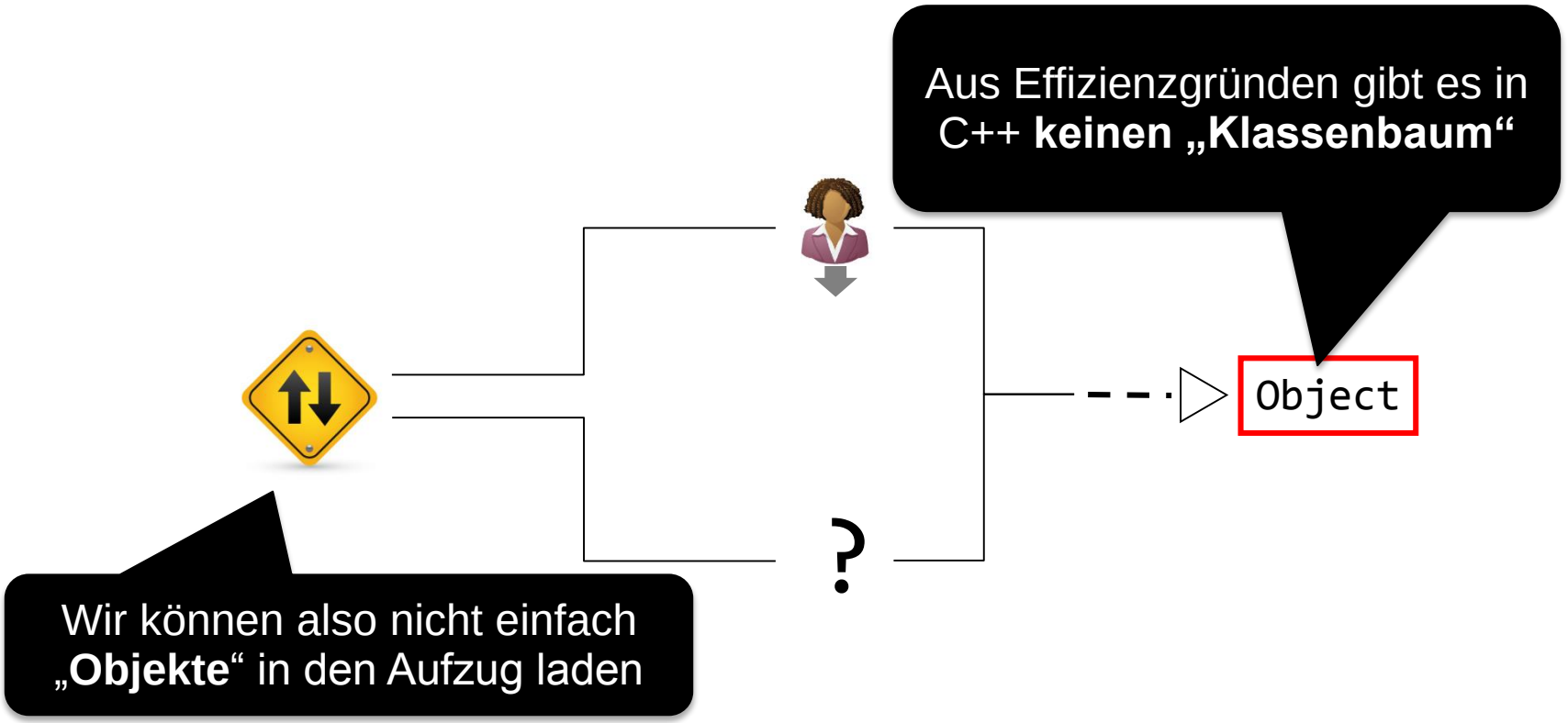
```
all: main.exe

main.exe: main.o Cat.o Dog.o
    g++  -o main.exe main.o Cat.o Dog.o
```

TEMPLATES

Templates: Motivation

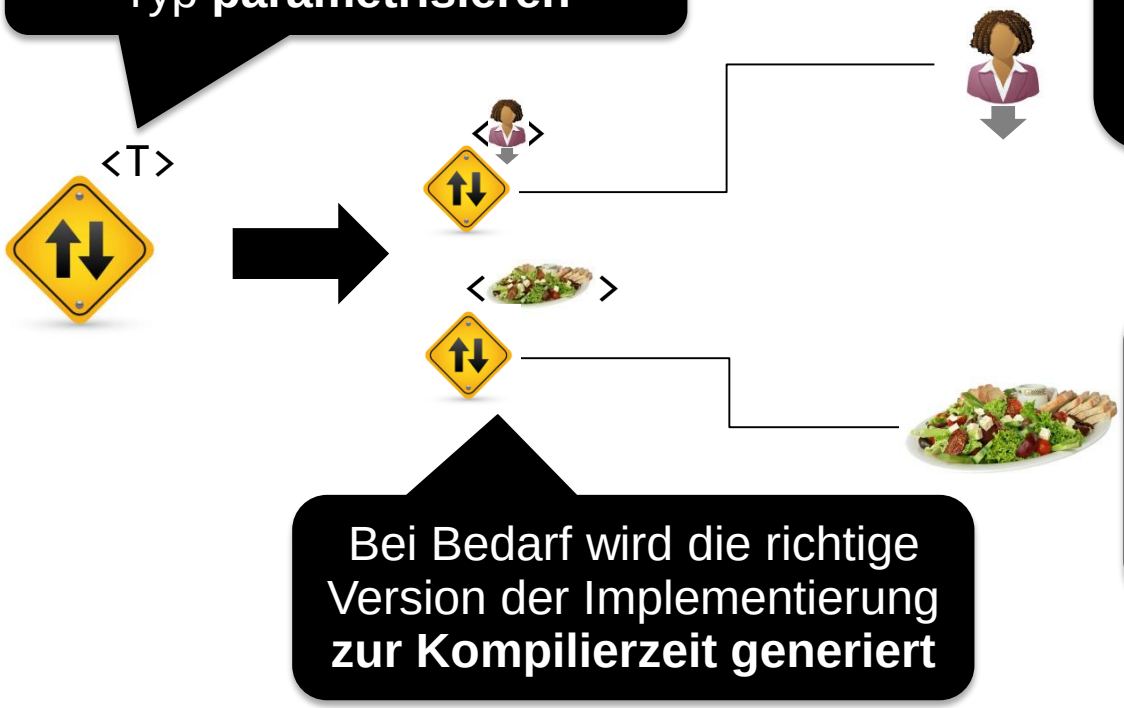


Templates: Motivation



Templates: Idee

Implementierung mit einem Typ **parametrisieren**



C++-Templates sind eher mit einem **Codegenerator** als mit Java-Generics zu vergleichen!

C++-Templates induzieren ein **implizites „Interface“** durch die Art der Verwendung des generischen Typparameters

Bei Bedarf wird die richtige Version der Implementierung **zur Kompilierzeit generiert**

Intermezzo

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Wieso ist „Object“ teuer?

Wie wird dieses „Problem“ in einer Sprache wie C gelöst?

Was ist mit Sprachen wie Scheme/Haskell/Python/Ruby?

Class Templates: Syntax am Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
class Person {
public:
      Person(const string& name, int weight);
      ~Person();

      inline const string& getName() const {
            return name;
      }

      inline int getWeight() const {
            return weight;
      }

private:
      const string name;
      int weight;
};
```

```
class Dish {
public:
      Dish(const string& name);
      ~Dish();

      inline const string& getName() const {
            return name;
      }

      inline double getWeight() const {
            return 1.5;
      }

private:
      const st      e;
};
```

Gewicht von Gerichten wird pauschal mit 1.5kg abgerundet

Beachte die unterschiedlichen Rückgabetypen

Class Templates: Syntax am Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

T wird deklariert als **Typparameter**.
(Mit optionalem **Defaulttyp** *Person*)

```
template<class T = Person>
class Elevator {
public:
	Elevator(){
		cout << "Elevator()" << endl;
	}
	~Elevator(){
		cout << "~Elevator()" << endl;
	}

	void placeInElevator(const T* object){
		cout << "Adding " << object->getName()
		     << " with weight: "
		     << object->getWeight() << " to elevator.";
		cout << endl;

	transportedObjects.push_back(object);
}

private:
	vector<const T*> transportedObjects;
};
```

Der Typparameter wird als **Platzhalter** für den konkreten Typ eingesetzt.

Erst bei der Expansion des Templates wird sich herausstellen, ob der Typparameter wirklich diese Methoden hat (~ **Duck Typing**).

Bei Templates ist **keine Trennung** in Header und Impl-Datei möglich.

Function Templates: Syntax am Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Mehrere Typparameter möglich (auch bei Class Templates)

```
template<class S, class T>
S totalWeight(T *start, T *end, string things){
     S total = 0;

     while(start != end){
          total += start++->getWeight();
     }

     cout  << "Total weight of " << things
           << " is " << total;
     cout  << endl;

     return total;
}
```

Dies ist besonders für generische Algorithmen sehr nützlich

Typ kann genauso wie in einer Klasse frei verwendet werden

Templates: Verwendung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Defaulttyp *Person* wird verwendet

```
int main(i argc, char **argv) {
Elevator<> elevator;

Person people[] = {Person("Tony", 75),
                   Person("Lukas", 14)};
elevator.placeInElevator(people);
elevator.placeInElevator(people + 1);

int totalAsInt = totalWeight<int, Person>
                 (people, people + 2, "people");

// :~

Elevator<Dish> dumbwaiter;

Dish dishes[] = {Dish("Jollof Rice"),
                 Dish("Roasted Chicken")};

dumbwaiter.placeInElevator(dishes);
dumbwaiter.placeInElevator(dishes + 1);

double totalAsDouble = totalWeight<double, Dish>
                       (dishes, di es + 2, "dishes");
}
```

„Primitive“ können auch verwendet werden

```
Elevator()

Person(Tony,75)
Person(Lukas,14)

Adding Tony with weight: 75 to elevator.
Adding Lukas with weight: 14 to elevator.

Total weight of people is 89


Elevator()

Dish(Jollof Rice)
Dish(Roasted Chicken)

Adding Jollof Rice with weight: 1.5 to
elevator.
Adding Roasted Chicken with weight: 1.5 to
elevator.

Total weight of dishes is 3

~Dish(Roasted Chicken)
~Dish(Jollof Rice)
~Elevator()
~Person(Lukas,14)
~Person(Tony,75)
~Elevator()
```

Intermezzo

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Was ist genau damit gemeint, dass Templates eine Schnittstelle induzieren?

Was sind Nachteile und Vorteile dieser Art von „impliziten“ Schnittstellen?

Was ist genau der Unterschied zwischen C++-Templates und Java-Generics?

Mixins

Kombination aus Mehrfachvererbung und Templates

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template<
                class Logger,
                class Security,
                class OperatingSystem,
                class Platform
>
class System :
                public Logger,
                public Security,
                public OperatingSystem,
                public Platform
{

};
```

Mixins werden als Typparameter definiert

Und „reingemischt“ mit Mehrfachvererbung!

Mixins

Kombination aus Mehrfachvererbung und Templates

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Die C++ **Standard Template Library** (STL) macht ausgiebigen Gebrauch von Mixins ….

Benutzer kann eine konkrete Implementierung „zusammenmischen“

```
int main(int argc, char **argv) {

  System<ConsoleLogger, PasswordSecurity, MacOSX, Enterprise> system;

  system.print("Yihaa!");

  cout << "Password accepted: " << system.checkPassword("*****") << endl;

}
```

Und das Verhalten der Instanz wird dadurch flexibel **kombiniert** und **konfiguriert**

?

Wo sind eigentlich die Methoden *print* und *checkPassword* definiert?

Wiederholung Mehrfachvererbung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

1. **Schnittstellenvererbung** sinnvoll, nützlich (Design!) und zumeist unproblematisch

2. **Implementierungsvererbung** problematisch und zu vermeiden (Komposition vorziehen)

3. **Mixins** durchaus sinnvoll - eigentlich eine Art Komposition

FUNKTIONS- UND METHODENZEIGER

Zeiger auf Funktionen: Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

function wird hier als Funktion übergeben und kann als solche direkt verwendet werden

```
template<class F, class T>
void applyToSequence(F function, T* begin, T* end){
    while (begin != end) function(*begin++);
}
```

Ermöglicht kompakte, elegante, und sehr generische Algorithmen

```
int n[] = {-1, 20, 33, 120};
applyToSequence(print<int>, n, n + 4);
applyToSequence(validateAges, n, n + 4);
```

Verwendung ist **sehr leichtgewichtig** und erfordert keine extra Klassen/Schnittstellen für viele kleinen Funktionen

Sogenannte **Callback-Funktionen** können Listener/Observer in Java komplett ersetzen

Zeiger auf Funktionen: Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Auch Funktionen können Typparameter tragen.

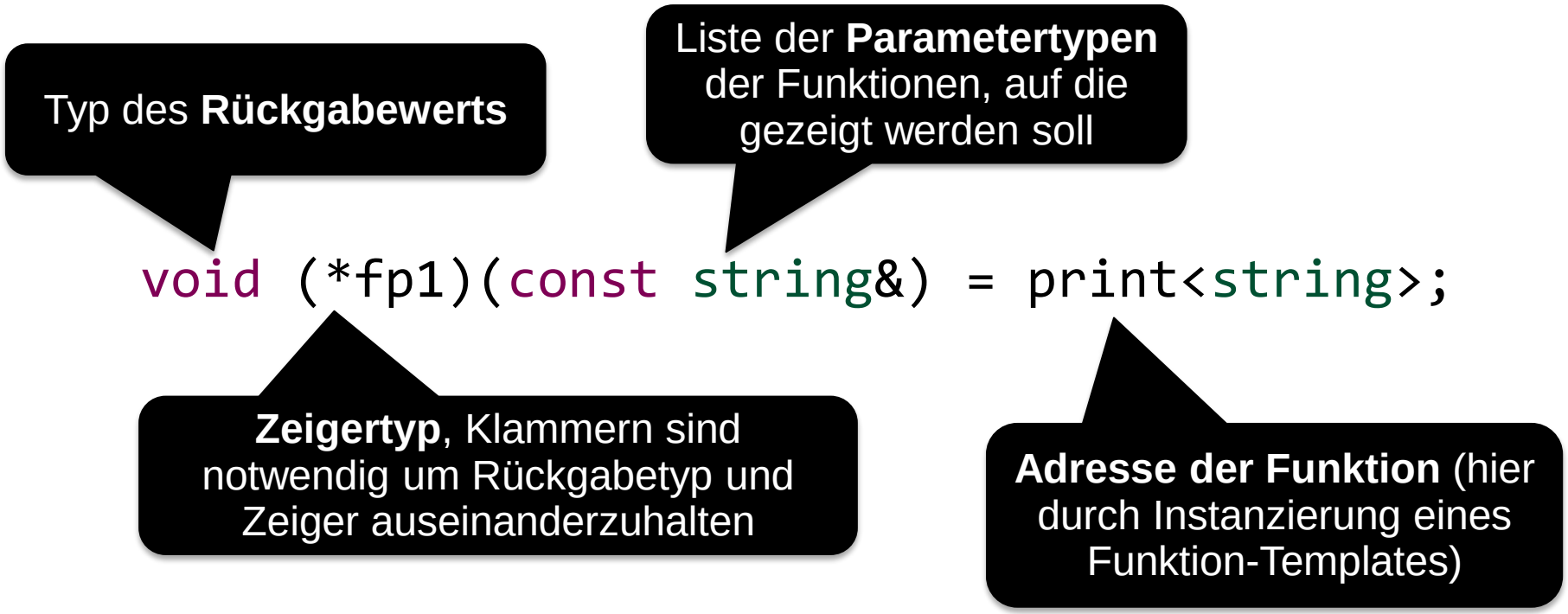
```
template<class S>
void print(const S& s){
     cout << ":::>  " << s;
     cout << endl;
}


void validateAges(int a){
     if(a > 100 || a < 0){
          cout << a
               << " is not a valid age!"
               << endl;
     }
}
```

Zeiger auf eine Funktion mit `const string&` Parameter

```
void (*fp1)(const string&) = print<string>;
void (*fp2)(int) = validateAges;

fp1("foo");   // :::> foo
fp2(500);     // 500 is not a valid age
```

Verwendung wie ein normaler Funktionsaufruf

Zeiger auf Funktionen: Syntax



Zeiger auf Methoden: Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
class ConsoleLogger {
public:
     ConsoleLogger();
     ~ConsoleLogger();

     inline void print(const string& message) const {
          cout << "user:~ /$" << message << endl;
     }
};
```

Normale Methode einer Klasse

Zeiger auf eine **Methode**

```
void (ConsoleLogger::*fp3)(const string&) const = &ConsoleLogger::print;

ConsoleLogger logger;
(logger.*fp3)("bar"); // user:~ /$ bar
```

Aufruf **nur** mit einer Instanz der Klasse

Beim Zeiger auf Methoden muss die **Klasse als „Scope“** angegeben werden

Zeiger auf Funktionen vs. Zeiger auf Methoden

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Zeiger auf **Methoden** können nicht auf die gleiche Art und Weise übergeben werden

```
template<class F, class T>
void applyToSequence(F function, T* begin, T* end){
     while (begin != end) function(*begin++);
}
```

```
int n[] = {-1, 20, 33, 120};
applyToSequence(print<int>, n, n + 4);
applyToSequence(validateAges, n, n + 4);
```

Das würde so nicht gehen, da die Instanz fehlt, deren Methode aufgerufen wird

Funktionsobjekte und Templates

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template<class F, class T>
void applyToSequence(F function, T* begin, T* end){
    while (begin != end) function(*begin++);
}
```

Syntax soll hier identisch bleiben, obwohl wir eine Methode aufrufen

```
class ConsoleLogger {
public:
    ConsoleLogger();
    ~ConsoleLogger();

    inline void operator()(int i) const {
        std::cout << "user:~ /$ " << i << std::endl;
    }
};
```

Dafür muss man nur **operator()** überladen

```
int n[] = {-1, 20, 33, 120};
applyToSequence(ConsoleLogger(), n, n + 4);
```

Jetzt kann eine Instanz der Klasse (ein Funktionsobjekt) übergeben werden

Intermezzo

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Wieso sind Zeiger auf Funktionen nützlich?

Gibt es auch Nachteile?

Sind Zeiger auf Funktionen in C++ genauso flexibel wie richtige „Zeiger auf Funktionen“ in (funktionalen) Programmiersprachen wie Scheme/Lisp/Haskell/Ruby/Python?

Zeiger auf Funktionen: Fazit

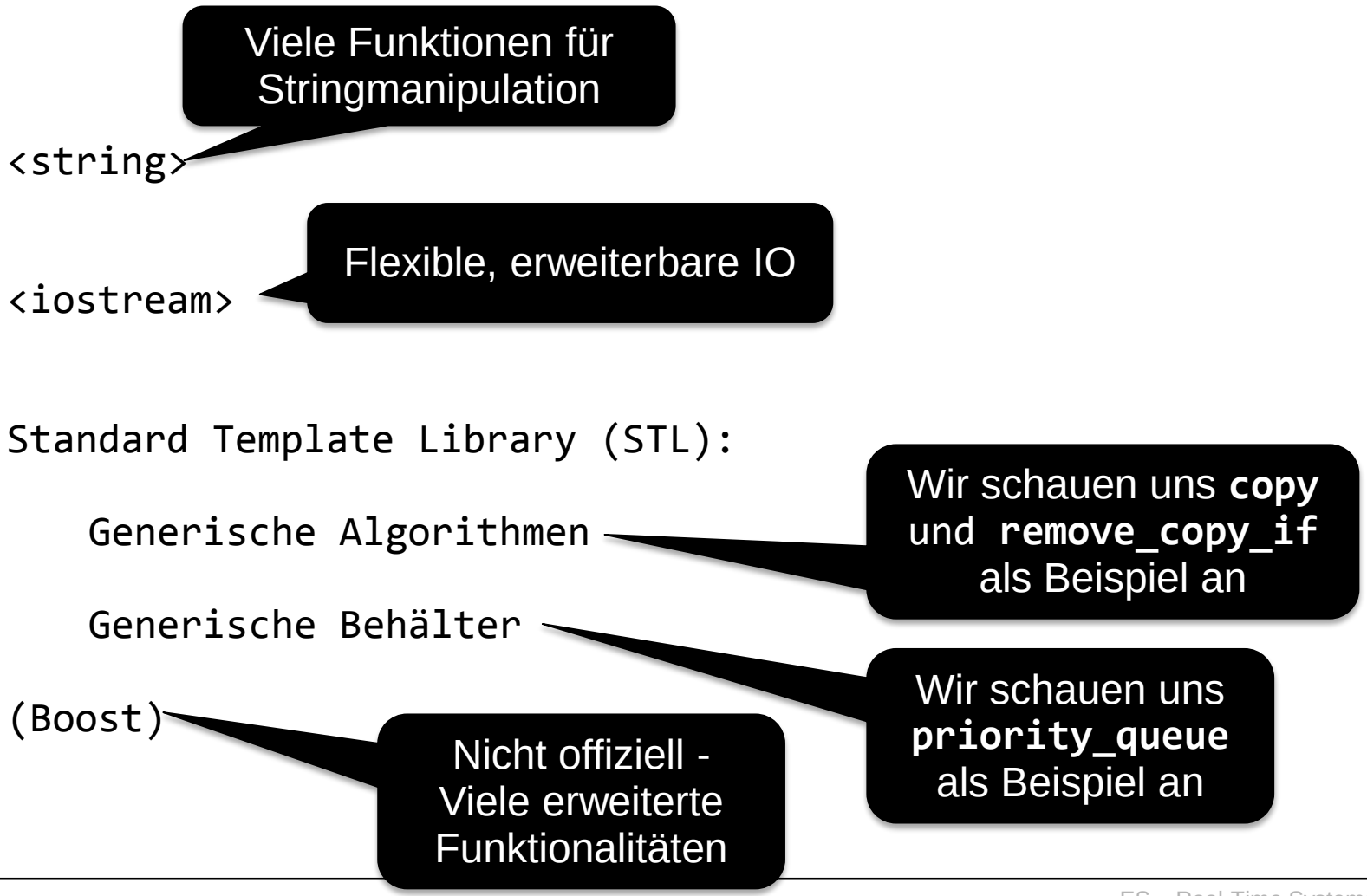
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Zeiger auf Funktionen ermöglichen einen eher **funktionalen Programmierstil** (ideal für generische Algorithmen höherer Ordnung)
- In Verbindung mit Templates entsteht typischerweise ein **schlankeres, kompakteres Design** als in Java (reine OO)
- Ideal für **kleine Funktionen**, um einen Wildwuchs an kleinen Klassen (z.B. mit jeweils nur einer Methode und ohne Zustand) zu vermeiden
- Sobald die implementierte Funktionalität komplexer wird (-> Zustand), sind **Methodenzeiger** oder **Funktoren** sinnvoll.
- **Syntax** und **Fehlermeldungen** vom Compiler sind aber recht gewöhnungsbedürftig!

STANDARD-BIBLIOTHEKEN IN C++

Überblick der Standard C++ Library

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Generische STL-Algorithmen: *copy*

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template <class InputIterator, class OutputIterator>
OutputIterator copy (InputIterator first, InputIterator last, OutputIterator result);
```

muss ++, *, ==, und != unterstützen

muss ++ und * unterstützen

Parameters:

first, last

Input iterators to the initial and final positions in a sequence to be copied. The range used is [first,last), which contains all the elements between *first* and *last*, including the element pointed by *first* but not the element pointed by *last*.

result

Output iterator to the initial position in the destination sequence. This shall not point to any element in the range [first,last).

Return Value:

An iterator to the end of the destination range where elements have been copied.

http://www.cplusplus.com/reference/algorithm/copy/

Intermezzo

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

`InputIterator:` müssen ++, *, ==, und != unterstützen
`OutputIterator:` müssen ++ und * unterstützen

Wieso ist diese Forderung/Konvention sinnvoll?

Generische STL-Algorithmen: *copy*

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template <class InputIterator, class OutputIterator>
OutputIterator copy (InputIterator first, InputIterator last, OutputIterator result);
```

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <vector>

using namespace std;

int main(int argc, char **argv) {
     int numbers[] = {1,2,3,4,5};
     vector<int> result;

     copy(numbers, numbers + 5, back_inserter(result));

     copy(result.begin(), result.end(), ostream_iterator<int>(cout, ", "));
}
```

Erzeugt einen *OutputIterator* aus einem Behälter (*vector*)

STL-Behälter bieten InputIteratoren an

Erzeugt einen *OutputIterator* aus einem Stream (*cout*)

http://www.cplusplus.com/reference/algorithm/copy/

Generische STL-Algorithmen: *remove_copy_if*

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template <class InputIterator, class OutputIterator, class UnaryPredicate>
OutputIterator remove_copy_if ( InputIterator first, InputIterator last,
                                OutputIterator result, UnaryPredicate pred);
```

Wie copy, aber ein Prädikat definiert, was **ausgelassen** wird.

Parameters:
[...]
pred

Unary function that accepts an element in the range as argument, and returns a value convertible to bool. The value returned indicates whether the element is to be removed from the copy (if true, it is not copied). The function shall not modify its argument. This can either be a function pointer or a function object.

Return Value:
An iterator pointing to the end of the copied range, which includes all the elements in [first,last) except those for which pred returns true.

http://www.cplusplus.com/reference/algorithm/remove_copy_if/

Generische STL-Algorithmen: *remove_copy_if*

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template <class InputIterator, class OutputIterator, class UnaryPredicate>
OutputIterator remove_copy_if ( InputIterator first, InputIterator last,
                                OutputIterator result, UnaryPredicate pred);
```

```
bool even(int i){ return i%2 == 0; }

int main(int argc, char **argv) {
     int numbers[] = {1,2,3,4,5};
     vector<int> result(numbers, numbers + 5);

     remove_copy_if(result.begin(), result.end(),
                    ostream_iterator<int>(cout, ", "), even); // 1, 3, 5
}
```

Funktion entscheidet was ausgelassen wird

Funkionszeiger oder Funktionsobjekt übergeben

http://www.cplusplus.com/reference/algorithm/remove_copy_if/

Generische Behälter: *priority_queue*

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Typ vom Inhalt der Warteschlange

Typ des **darunterliegenden Behälters** (*vector* wird als Default verwendet)

```
template <class T,
          class Container = vector<T>,
          class Compare = less<typename Container::value_type> >
class priority_queue;
```

Damit Compiler weiß, dass *value_type* ein Typ ist

Binäres Prädikat (*less* wird als Default verwendet)

Default Template-Parameter erlauben **einfache**, aber bei Bedarf **konfigurierbare** Verwendung!

http://www.cplusplus.com/reference/queue/priority_queue/

Generische Behälter: *priority_queue*

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
template <class T,
          class Container = vector<T>,
          class Compare = less<typename Container::value_type> >
class priority_queue;
```

```
#include <iostream>
#include <queue>
#include <functional>

using namespace std;

template<class T>
void process_queue(T& queue){
     while(!queue.empty()){
          cout  << queue.top()
                << ",";
          queue.pop();
     }
}
```

Einfache Hilfsfunktion für die Ausgabe

```
int main(int argc, char **argv) {
     int numbers[] = {3,2,1,5,4};

     priority_queue<int>
         descending(numbers, numbers + 5);
     process_queue(descending); // 5,4,3,2,1

     priority_queue<    int,
                        vector<int>,
                        greater<int> >
         ascending(numbers, numbers + 5);
     process_queue(ascending); // 1,2,3,4,5
}
```

Standard Funktionsobjekt

http://www.cplusplus.com/reference/queue/priority_queue/

Intermezzo

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Ist das hier wirklich lesbarer als eine Schleife?

```
remove_copy_if(    result.begin(),
                   result.end(),
                   ostream_iterator<int>(cout, ", "),
                   even
          );
```

Was ist daran „schön“ oder zumindest praktisch?

Standard Template Library: Fazit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

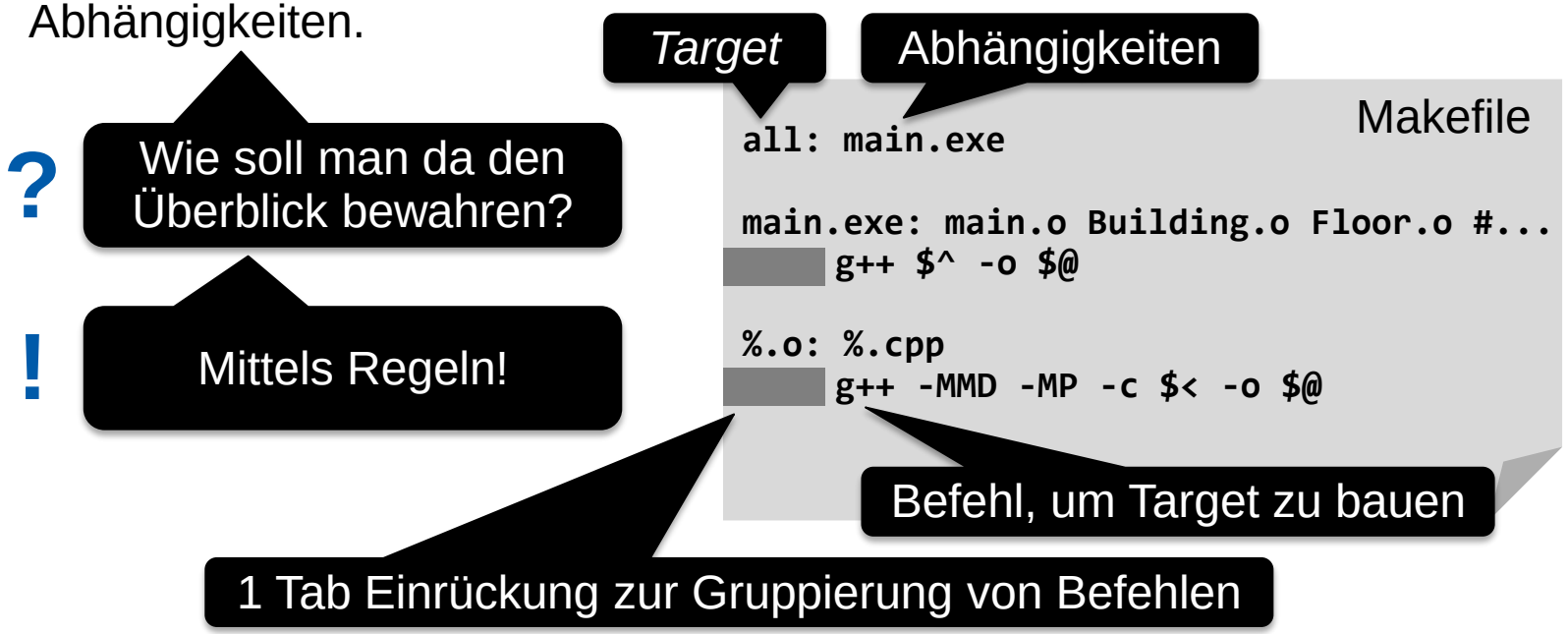
- Mächtig, effizient und ausgereift
- Gut dokumentiert
- Steile Lernkurve (erfordert Wissen über Templates, Functionobjects, Iteratoren, Mixins, …)
- Wird mit Boost noch mehr ausgebaut
- Vielleicht sogar als **der** Vorteil von C++ zu betrachten!

MAKEFILES

Makefiles: Motivation

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Indem wir Eclipse-Projekte verwenden, binden wir uns an diese IDE.
- Tatsächlich gab es früher gar keine so mächtigen IDEs wie heute …
- … aber trotzdem große C/C++-Projekte und hunderten von Dateien und Abhängigkeiten.



Makefiles: Struktur

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
srcs = $(wildcard *.cpp)
objs = $(srcs:.cpp=.o)
deps = $(srcs:.cpp=.d)

all: main.exe

main.exe: $(objs)
    g++ $^ -o $@

%.o: %.cpp
    g++ -MMD -MP -c $< -o $@

clean:
    rm -rf $(objs) $(deps) main.exe

-include $(deps)
```

Erzeugt Listen aller Impl-Dateien und der entsprechenden *Object Files.*

Erste Regel ist immer der Default-Einstiegspunkt. Eclipse will *all*.

Platzhalter: $^ - Abh.; $@ - Target

„Suffixregel“; $< - Input; $@ - output

Administrative Regel

Include-Dependencies (später)

Makefiles: Ablauf

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
srcs = $(wildcard *.cpp)
objs = $(srcs:.cpp=.o)
deps = $(srcs:.cpp=.d)

all: main.exe

main.exe: $(objs)
    g++ $^ -o $@

%.o: %.cpp
    g++ -MMD -MP -c $< -o $@

clean:
    rm -rf $(objs) $(deps) main.exe

-include $(deps)
```

1. Damit ich *all* erfüllen kann, brauche ich *main.exe*.
2. Falls ich kein *main.exe* habe, brauche ich alle *.o*-Dateien, um *main.exe* daraus zu linken.
3. Falls eine der *.o*-Dateien neuer ist als *main.exe*, muss ich *main.exe* trotzdem neu bauen.
4. Analog läuft es für die Kompilierung der *.o*-Dateien.

Makefiles: Include-Dependencies

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

```
srcs = $(wildcard *.cpp)
objs = $(srcs:.cpp=.o)
deps = $(srcs:.cpp=.d)

all: main.exe

main.exe: $(objs)
    g++ $^ -o $@

%.o: %.cpp
    g++ -MMD -MP -c $< -o $@

clean:
    rm -rf $(objs) $(deps) main.exe

-include $(deps)
```

- Wenn sich ein Header ändert, müssen alle abhängigen Dateien (*#include*) neu gebaut werden.
- Wo sind eigentlich die **Header**?
- Dazu dienen die Flags ***-MMD -MP*** und ***-include $(deps)***.

z.B.

Building.d

```
Building.o: Building.cpp Floor.hpp Person.hpp #...
    # nop

Floor.hpp:
    # nop

Person.hpp
    # nop
```

Makefiles: Fazit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Buildtools sind ab einer bestimmten **Projektgröße** unabdingbar.
- Makefiles erlauben **inkrementelles Bauen** …
- … müssen aber gepflegt werden und haben eine **steile Lernkurve**.
- Alternativen:
  - **cmake, qmake**: Generatoren für Makefiles (letzerer von Qt)
  - **Ant, Maven, Ivy, Gradle**: … eher für Java gedacht