

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)

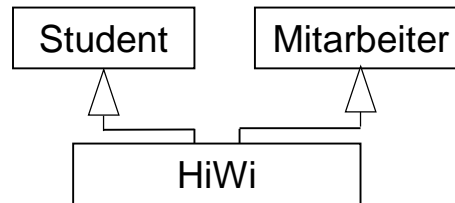
www.es.tu-darmstadt.de

Agenda

1. Templates

<👤> <🥗> <T>

2. Mehrfachvererbung



3. Zeiger auf Funktionen, Methoden und Funktionsobjekte

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

4. Überblick der Standard C++ Library

```
#include <algorithm>
#include <priority_queue>
#include <functional>
```

5. Buildprozess mit Makefiles

```
all: main.exe
```

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

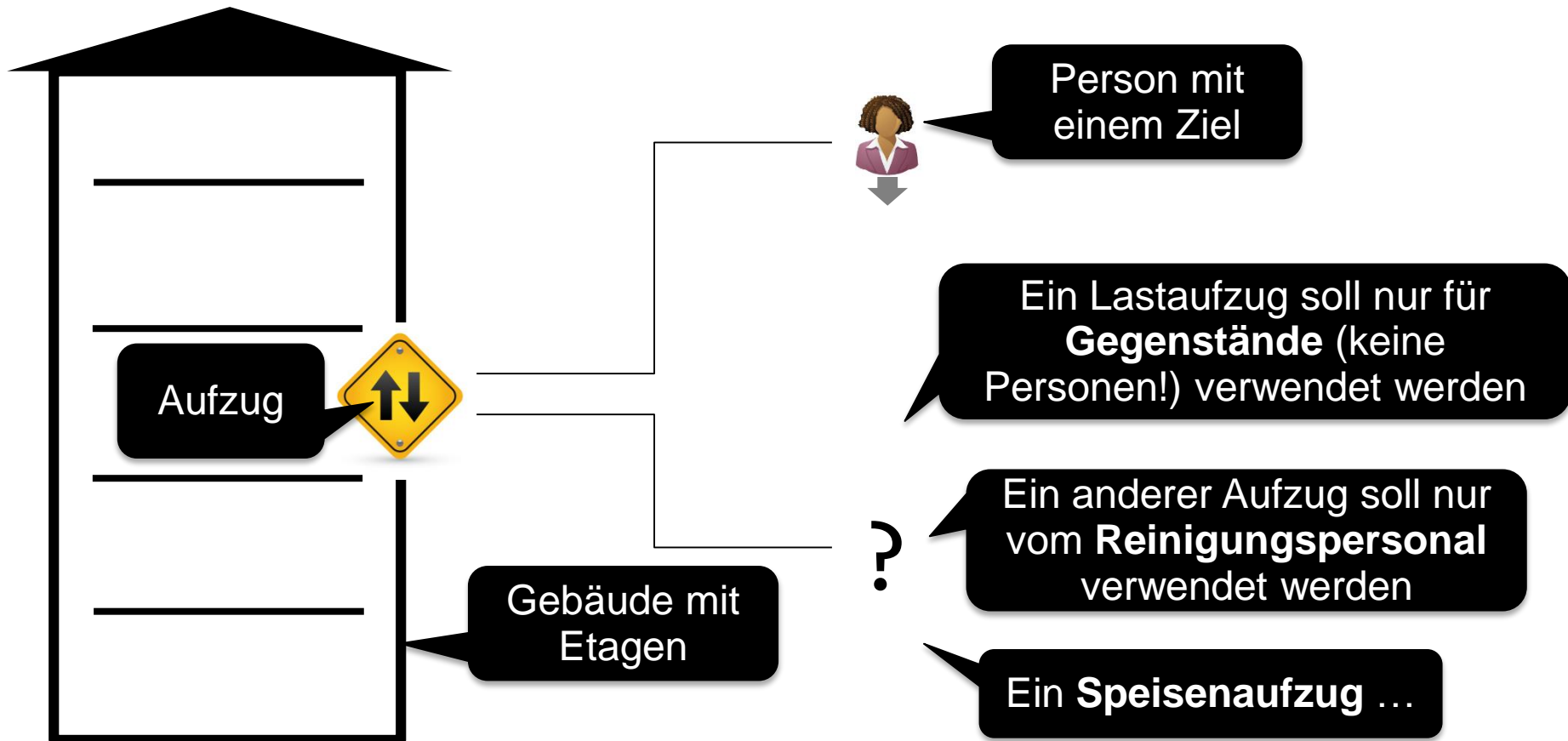




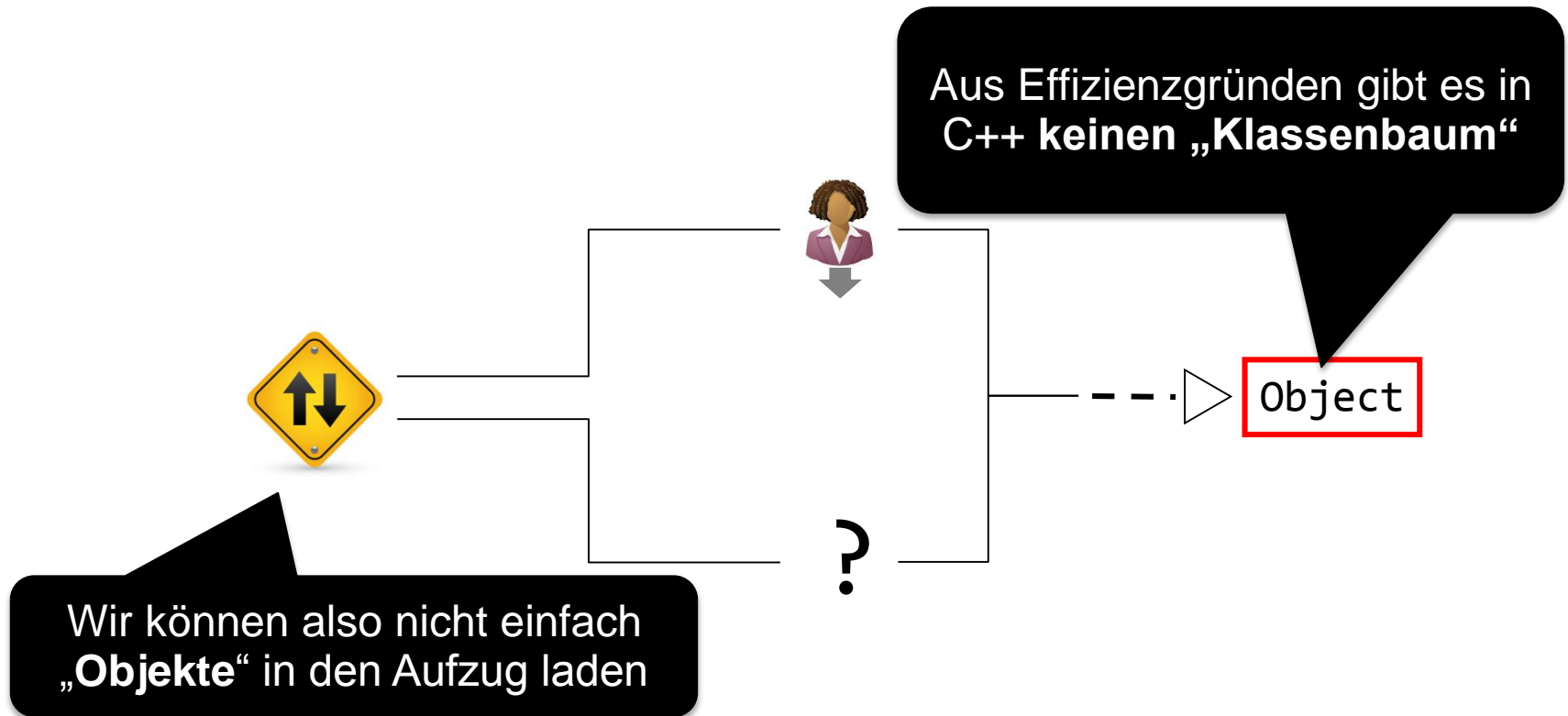
TEMPLATES



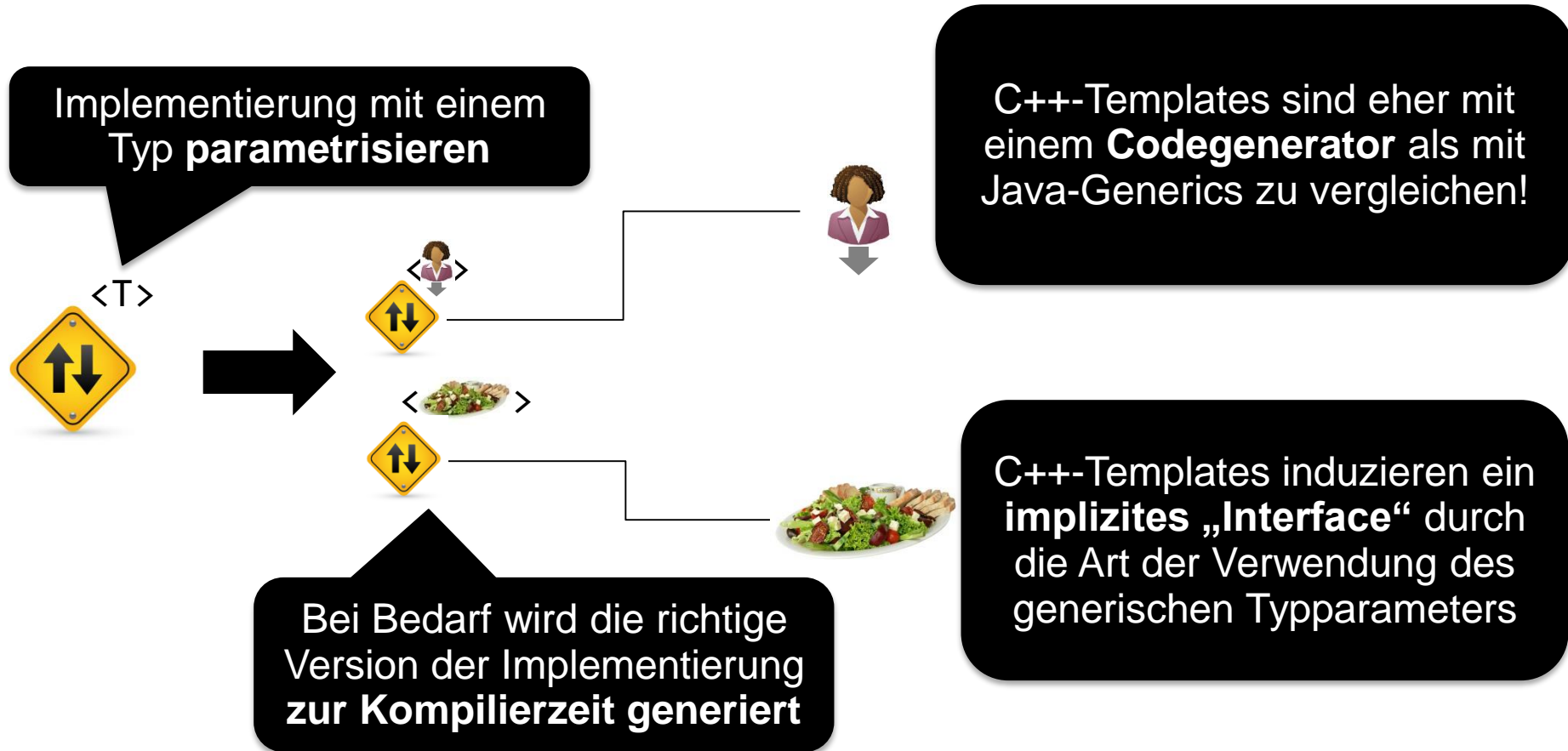
Templates: Motivation



Templates: Motivation



Templates: Idee



Intermezzo

Wieso ist „Object“ teuer?

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

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;
};
```

Gewicht von Gerichten wird
pauschal mit 1.5kg abgerundet

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

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

    inline double getWeight() const {
        return 1.5;
    }

private:
    const string name;
};
```

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;
    }
}
```

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

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

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

```
    transportedObjects.push_back(object);
}

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

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



Function Templates: Syntax am Beispiel



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

Defaulttyp *Person* wird
verwendet

```
int main(int 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, dishes + 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

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

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



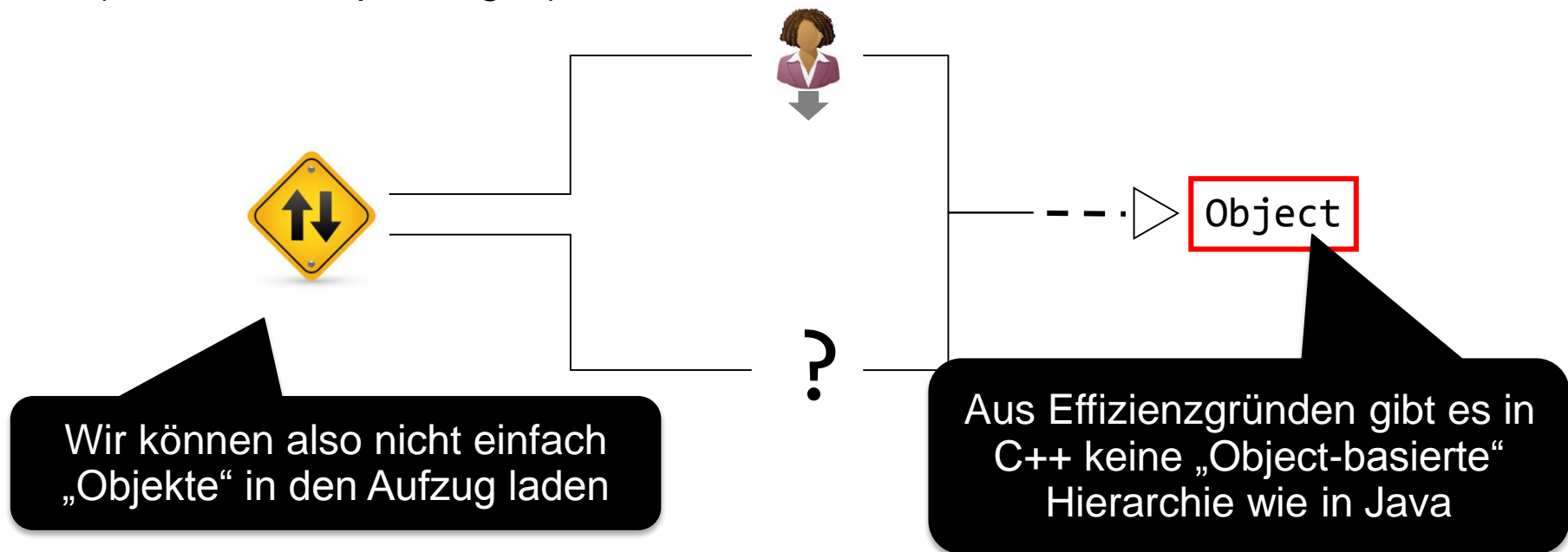


MEHRFACHVERERBUNG



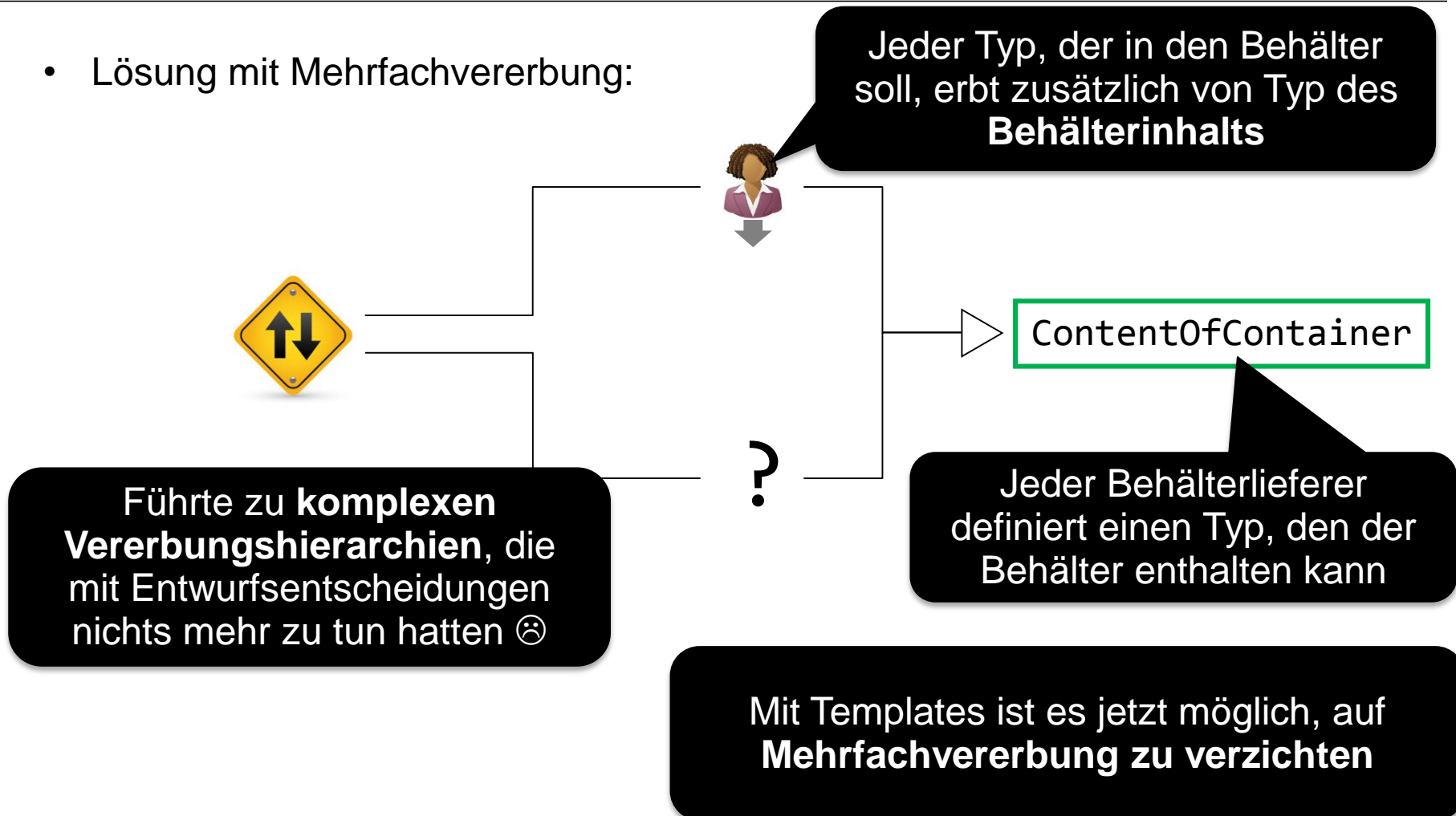
Mehrfachvererbung: Historie

- Ursprünglich als Lösung für Containerproblem (bevor es Templates gab)



Mehrfachvererbung: Nicht mehr so relevant!

- Lösung mit Mehrfachvererbung:



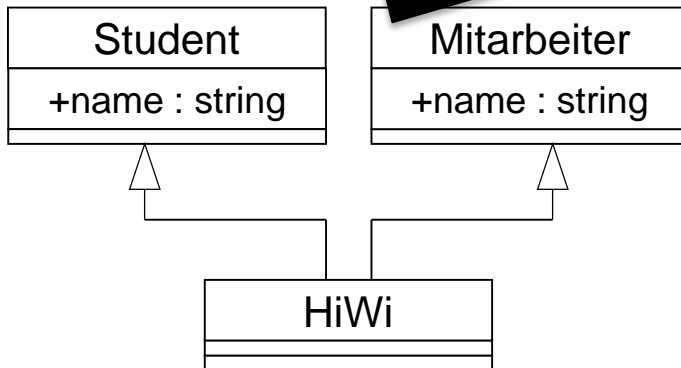
Mehrfachvererbung: Schnittstellenvererbung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

pur virtuell ~ abstract in Java

Wenn weitere Oberklassen *pur virtuell* sind
(enthalten nur *pur virtuelle* Methoden), dann ist
Mehrfachvererbung überhaupt kein Problem



Dies entspricht der Verwendung
von **Interfaces** in Java!

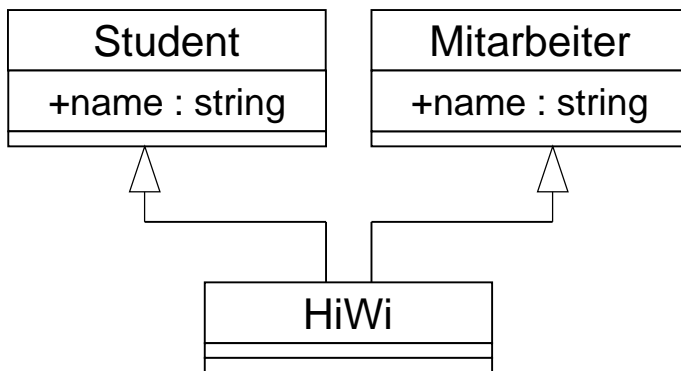
Wird aber von mehreren Oberklassen
wirklich Implementierung geerbt, so kann
das zu Problemen führen...



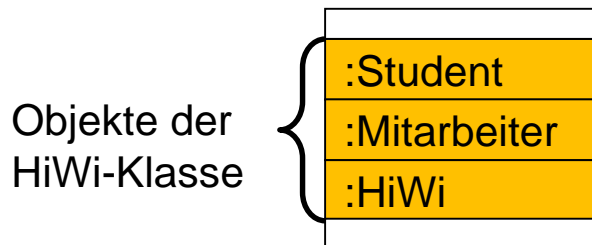
Implementierungsvererbung: Konflikte

▪ Mehrfachvererbung kann zu Mehrdeutigkeit führen

Attribute und Methoden einer Oberklasse sind Bestandteil der Unterklasse (außer private-Elemente)



Speicher



```
class Student { public: string name; };
class Mitarbeiter { public: string name };
```

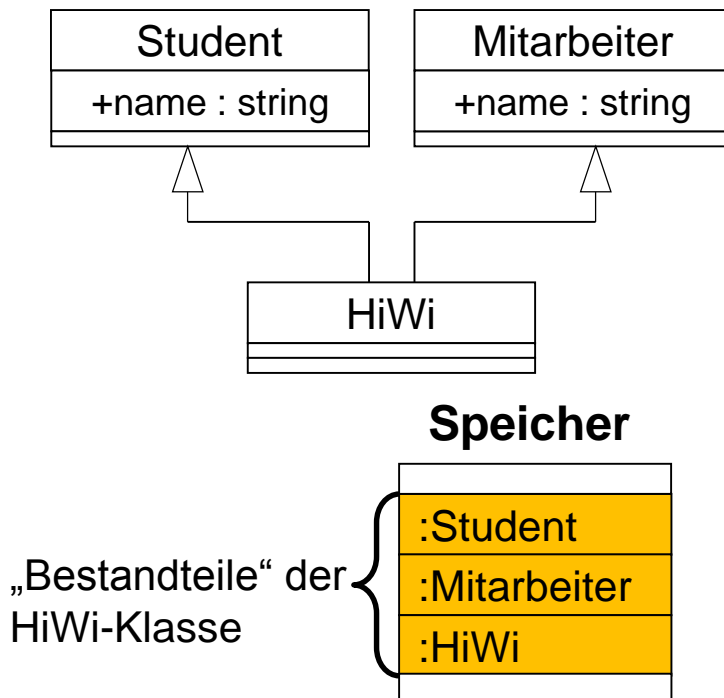
```
class HiWi : public Student, public Mitarbeiter
{ ... }
```

```
HiWi* h = new HiWi();
h->name = "Christian";
```

Namenskonflikt!
Keine eindeutige
Zuweisung ...

Implementierungsvererbung: Konflikte

- **Auflösung der Mehrdeutigkeit durch Verwendung des vollständigen Namens (Scope-Operator)**



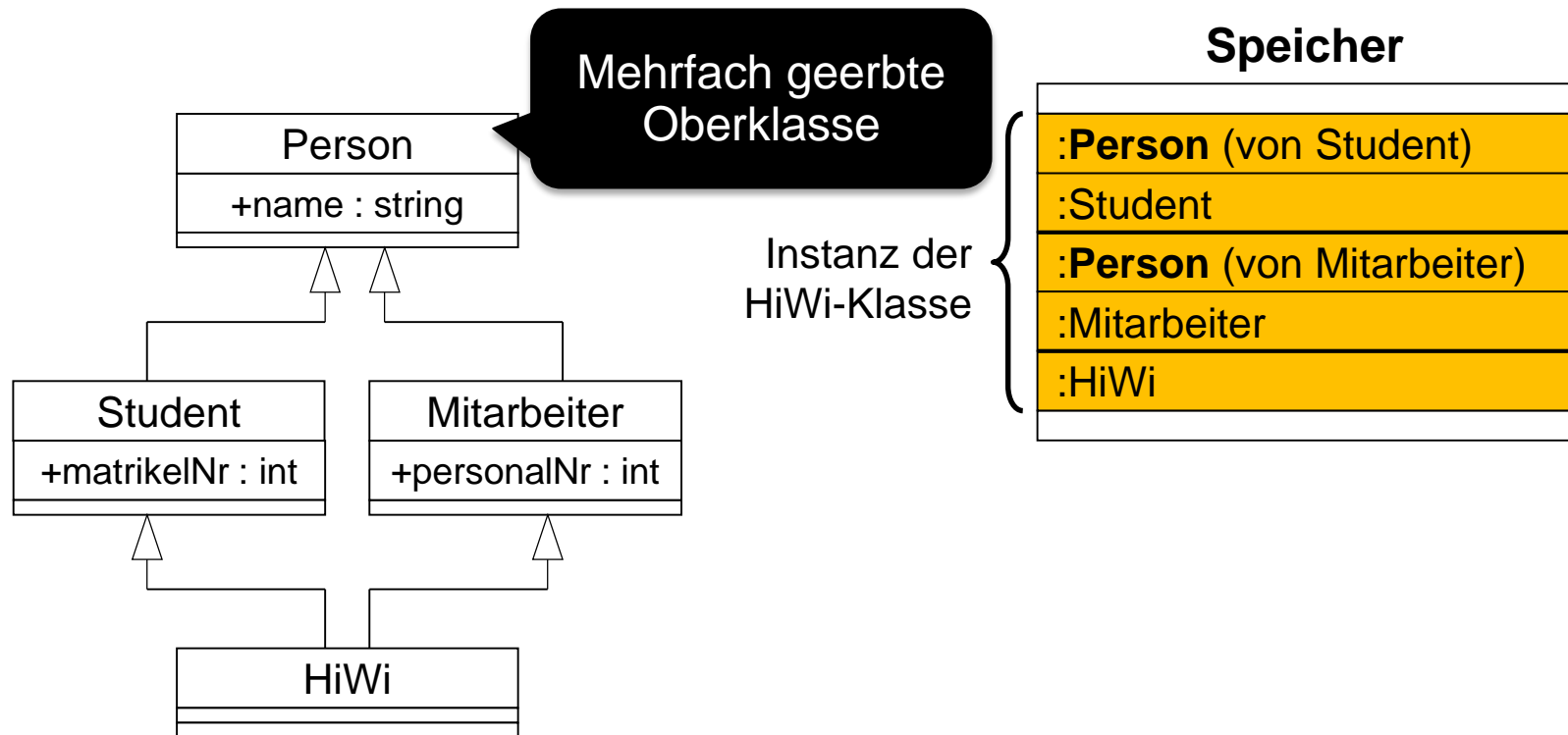
```
class Student { public: string name; };  
class Mitarbeiter { public: string name };
```

```
class HiWi : public Student, public Mitarbeiter  
{ ... }
```

```
HiWi* h = new HiWi();  
h->Student::name = "Christian";  
h->Mitarbeiter::name = "Mark";
```

Scope-Operator

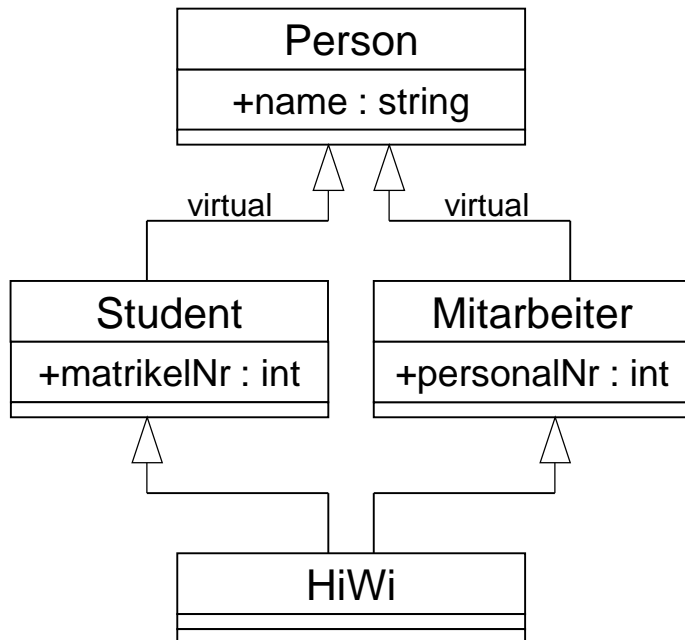
- Mehrfach geerbte Oberklassen führen auch zur unnötigen Bindung von Speicher





▪ Lösung: Mehrfach geerbte Oberklassen nur einmal einbinden

Schlüsselwort **virtual** ermöglicht virtuelle Oberklassen / Vererbung



```
class Person { public: string name; };
class Student : virtual public Person { ... };
class Mitarbeiter : virtual public Person { ... };

class HiWi : public Student, public Mitarbeiter { ... }

HiWi* h1 = new HiWi();
H1->name = „Max“; // eindeutig (nur 1x vorhanden)
```



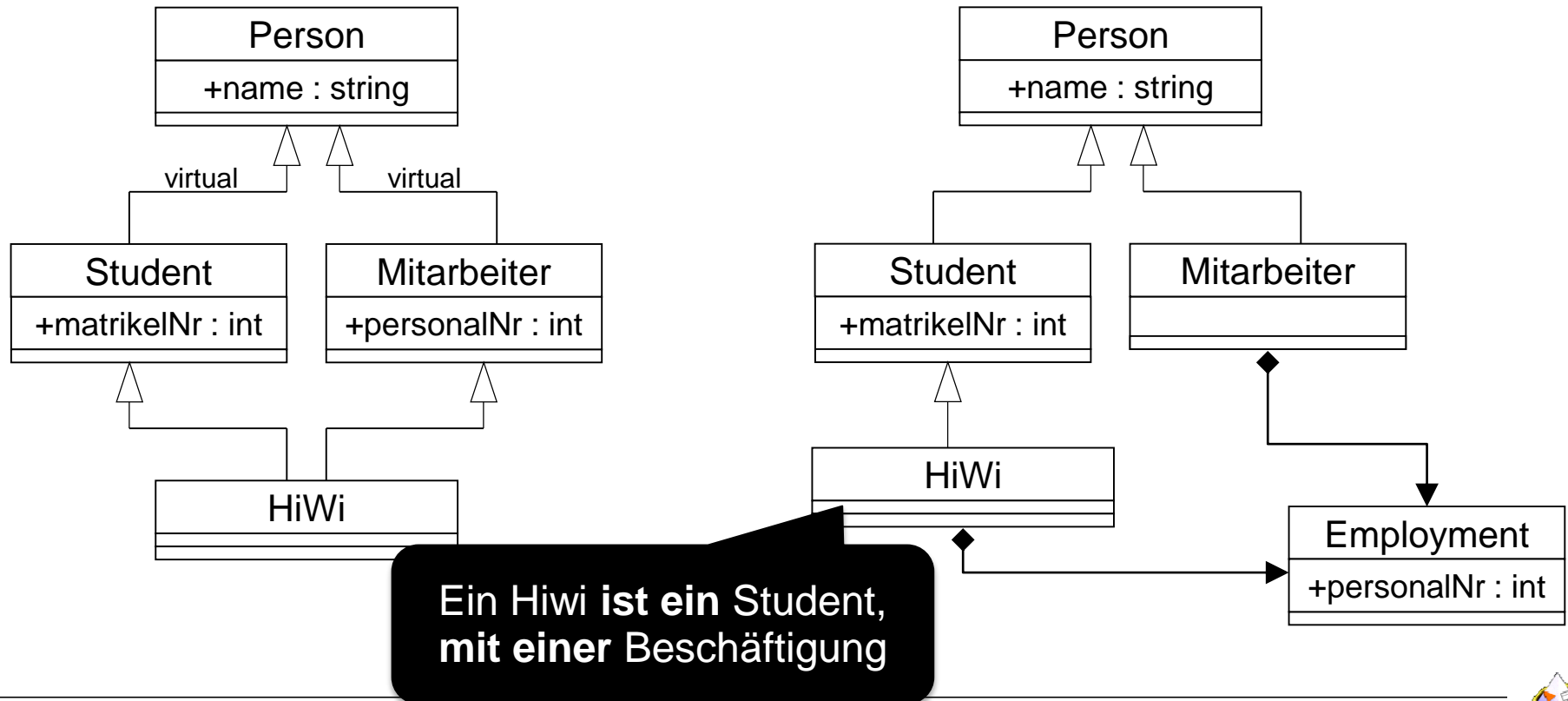
Implementierungsvererb.: Schlechtes Design?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

▪ Mehrfachvererbung kann auf „schlechtes“ Design hindeuten

Gemeinsamkeiten sollen explizit extrahiert bzw. das Design vereinfacht werden



Mehrfachvererbung: Mixins



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

```
template<
```

```
    class Logger,  
    class Security,  
    class OperatingSystem,  
    class Platform
```

Mixins werden als
Typparameter definiert

```
>
```

```
class System :
```

```
    public Logger,  
    public Security,  
    public OperatingSystem,  
    public Platform
```

```
{
```

```
};
```

Und „reingemischt“ mit
Mehrfachvererbung!





Mehrfachvererbung: Mixins

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?



Intermezzo

Also – Mehrfachvererbung: Ja oder nein?



Mehrfachvererbung: Ja oder Nein?

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: Motivation



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

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

Typ des **Rückgabewerts**

Liste der **Parametertypen**
der Funktionen, auf die
gezeigt werden soll

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

Zeigertyp, Klammern sind
notwendig um Rückgabebetyp und
Zeiger auseinanderzuhalten

Adresse der Funktion (hier
durch Instanziierung eines
Funktion-Templates)

Zeiger auf Methoden: Beispiel



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

Normale Methode
einer Klasse

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

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

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

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



Intermezzo

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 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
- **Syntax** und **Fehlermeldungen** vom Compiler sind aber recht gewöhnungsbedürftig!



STANDARD-BIBLIOTHEKEN IN C++



Überblick der Standard C++ Library

Viele Funktionen für
Stringmanipulation

`<strings>`

Flexible, erweiterbare IO

`<iostreams>`

Standard Template Library (STL):

Generische Algorithmen

Wir schauen uns **copy**
und **remove_copy_if**
als Beispiel an

Generische Behälter

Wir schauen uns
priority_queue
als Beispiel an

(Boost)

Nicht offiziell -
Viele erweiterte
Funktionalitäten



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

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;
```

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

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

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

```
}
```

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; }
```

Funktion entscheidet
was ausgelassen wird

```
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
}
```

Funktionszeiger oder
Funktionsobjekt übergeben

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



Generische Behälter: *priority_queue*



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

Typ vom Inhalt der
Warteschlange

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

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

Standard Funktionsobjekt

```
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  
}
```

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



Intermezzo

Ist das hier wirklich lesbarer als eine Schleife?

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

Was ist denn daran „schön“?

Was ist der Vorteil von „intelligenten Behältern“?



Standard Template Library: Fazit

- 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!

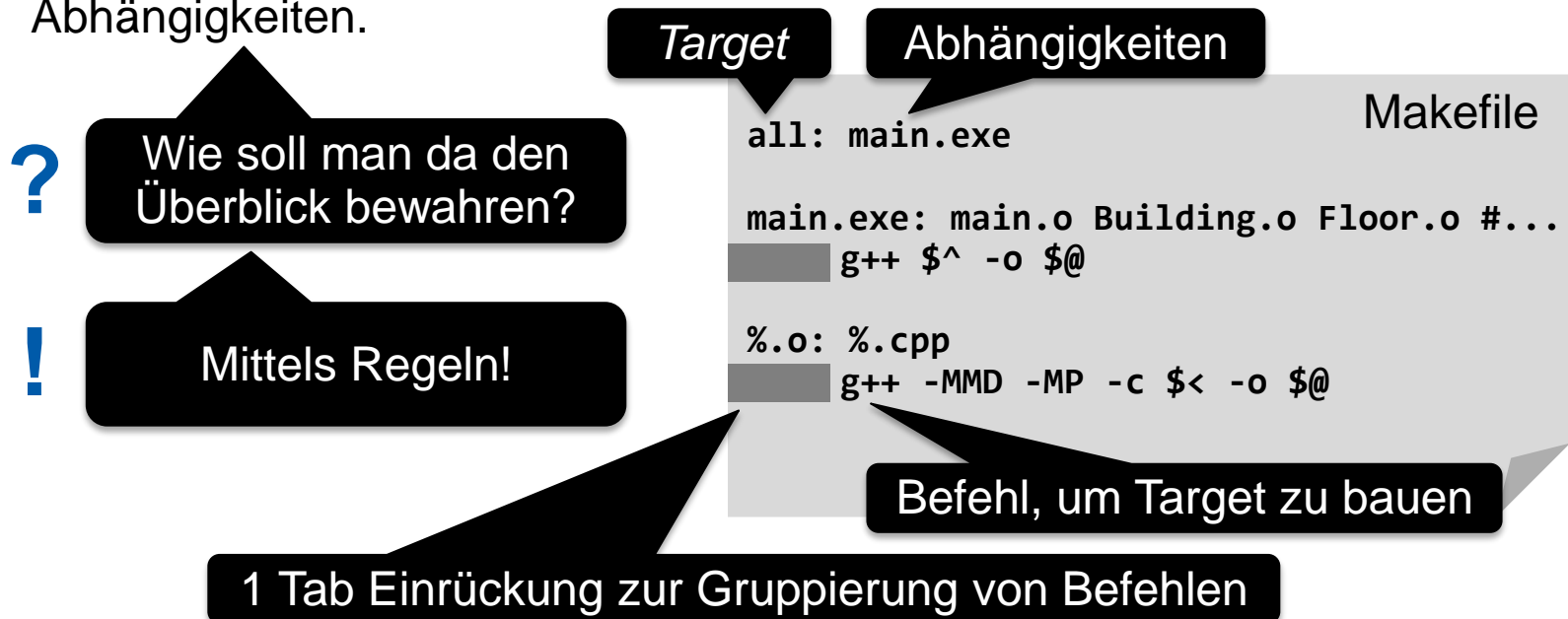


MAKEFILES



Makefiles: Motivation

- 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

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

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

```
all: main.exe
```

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

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

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

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

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

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

Administrative Regel

```
-include $(deps)
```

Include-Dependencies (später)



Makefiles: Ablauf



```
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 linkern.

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

```
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
```



- 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 (letzterer von Qt)
 - **Ant, Maven, Ivy, Gradle**: ... eher für Java gedacht