Architektur und Programmierung von Grafik- und Koprozessoren

C++ Wiederholung

Stefan Zellmann

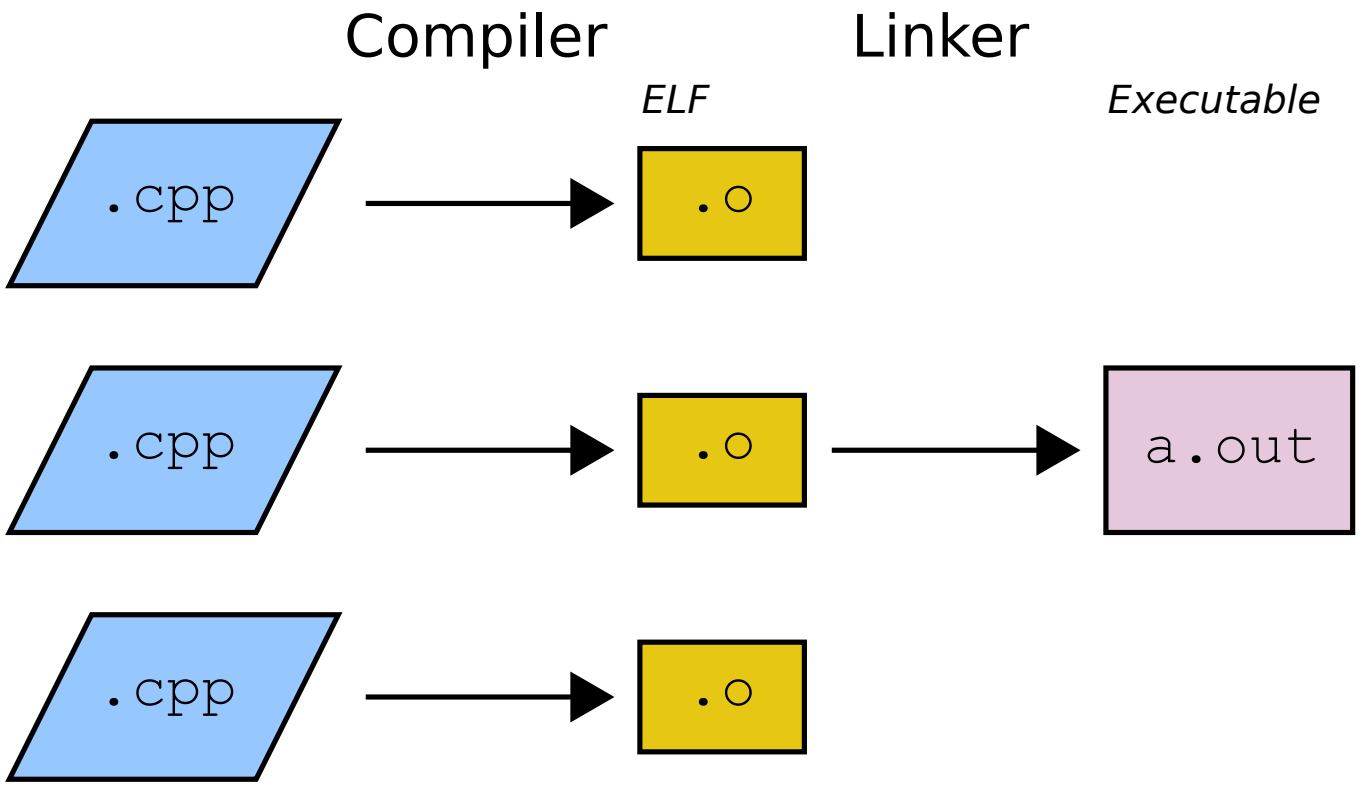
Lehrstuhl für Informatik, Universität zu Köln

SS2018

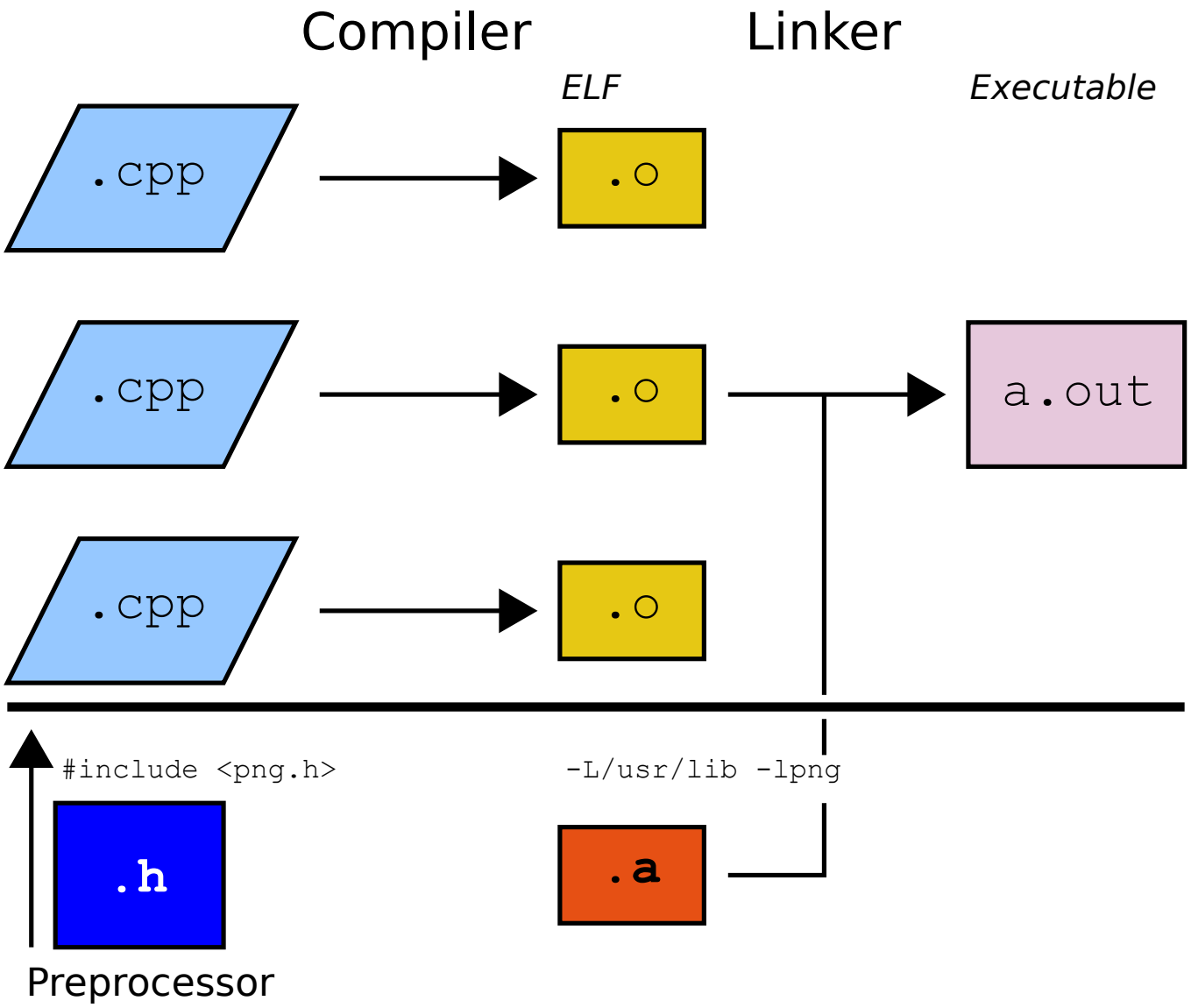
C++

- **Kompilierte** Programmiersprache.
- Ausgelegt auf hohe **Laufzeit-Performance**.
  - "As opposed to": hohe Performance beim Kompilieren, hohe Entwicklerproduktivität, etc.
- Superset von **ANSI-C**. Unix: "Betriebssystem mit C-Compiler".
- Standardisiert (aktuell: ISO/IEC 14882:2017(E)) ("C++17").
  - C++11 Standard hat nach vielen Jahren grundlegende Neuerungen mit sich gebracht. C++14 und C++17 eher Inkremente.
  - Geplant: jeder C++11/17/23/.. Standard "große" Änderungen, jeder C++14/20/26 inkrementelle Änderungen.
- Streng typisierte Sprache.
- Wir verwenden Features von C++11. NVIDIA CUDA Compiler unterstützt neuere Standards nicht oder nicht vollständig.

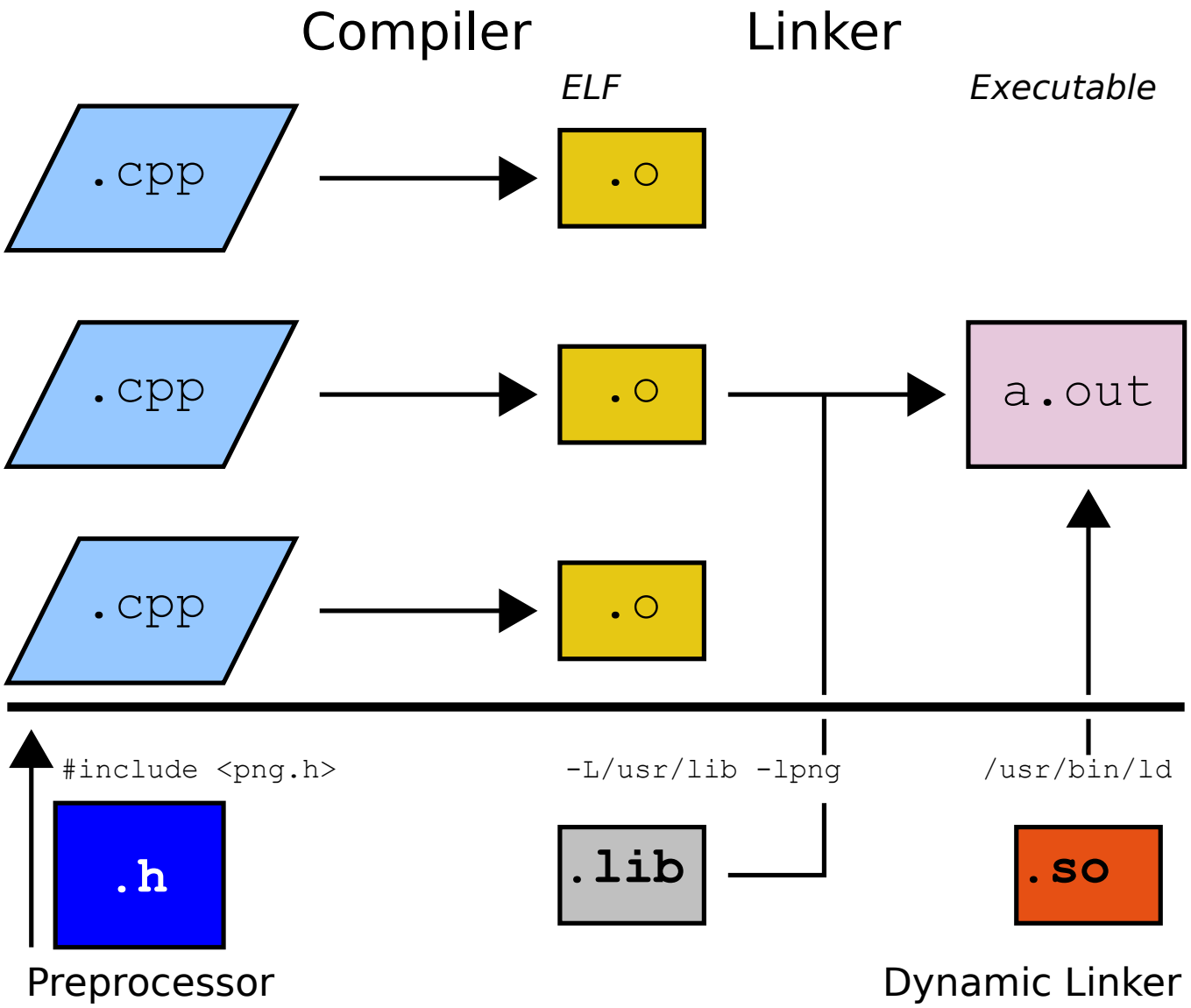
Kompilieren und Linken eines Ausführbares Programms



Statisches Linken



Dynamisches Linken



Basiskonstrukte

Einsprungspunkt für ausführbare Dateien

```
int main(int argc, char** argv){
    return 0;
}
```

Basiskonstrukte

Statements: `<command>* ;`

Funktionen: `<return_type> name (<param_list>) {<body>}`

Seit C++11 auch:
`auto name (<param_list>) -> <return_type> {<body>}`

Basiskonstrukte

Kontrollstrukturen

```
// Comments
/* Comments */

if (condition) { }  else if { } else {}

while (condition) {}

do { } while (condition);

for (long l = 0; l < 1000; ++l) {}

label:
goto label;

switch (i) {
case 0: break;
case 1: break;
default: break;
}
```

Basiskonstrukte

Programmstruktur: namespaces

```
// ANSI-C
struct myType {};

// C++
namespace my {
    struct Type {};
}

void useLikeC()   { myType mt; }

void useLikeCpp() {
    my::Type mt;
    {   using my::Type;
        Type mt; }
    {   using namespace my;
        Type mt; }
}
```

Niemals: `using namespace X;` in Header! *Namespace pollution*.

Basiskonstrukte

Programmstruktur: Typen

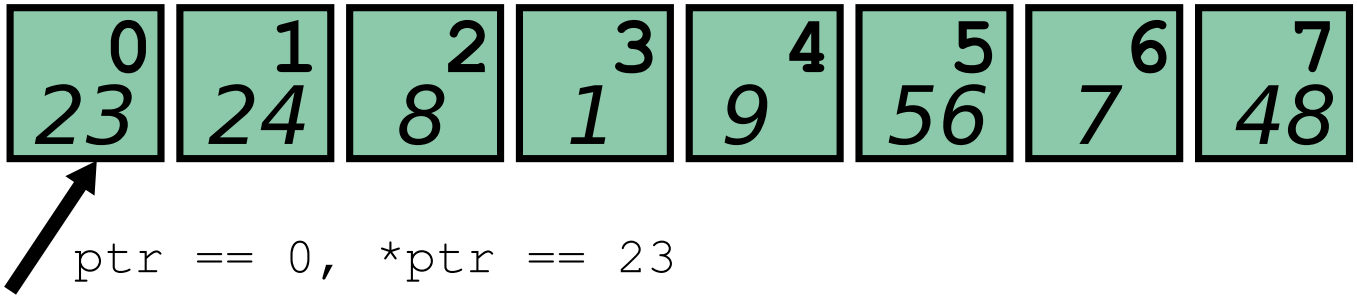
```
struct type1 {
    int a, b, c;
private:
    int d_, e_, f_;
};

class type2 {
public:
    type2() {}
   ~type2() {}
private:
    int a, b, c;
};

union u {
    float f;
    unsigned u;
};
```

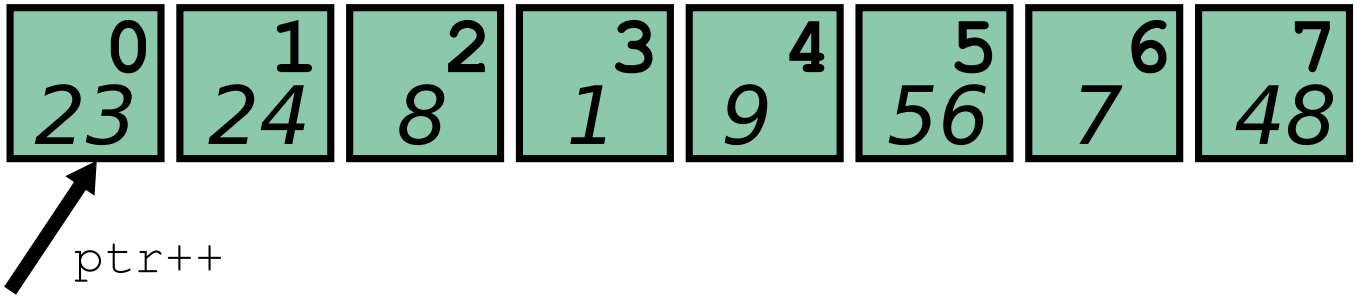
Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



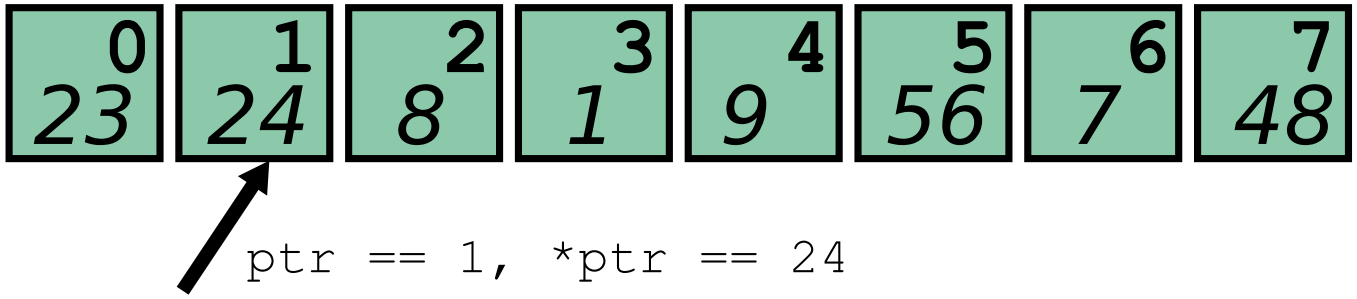
Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



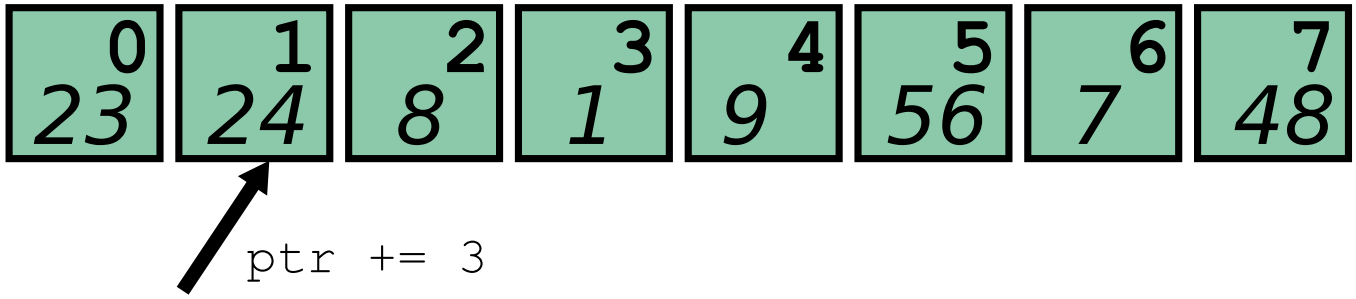
Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



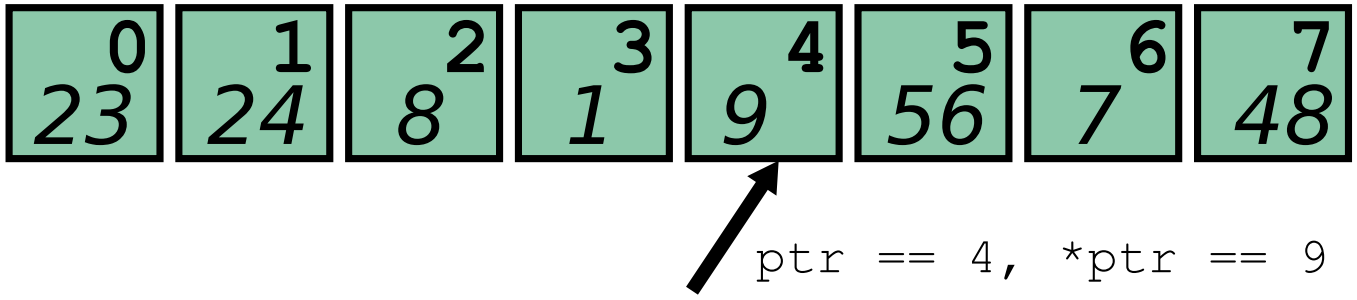
Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



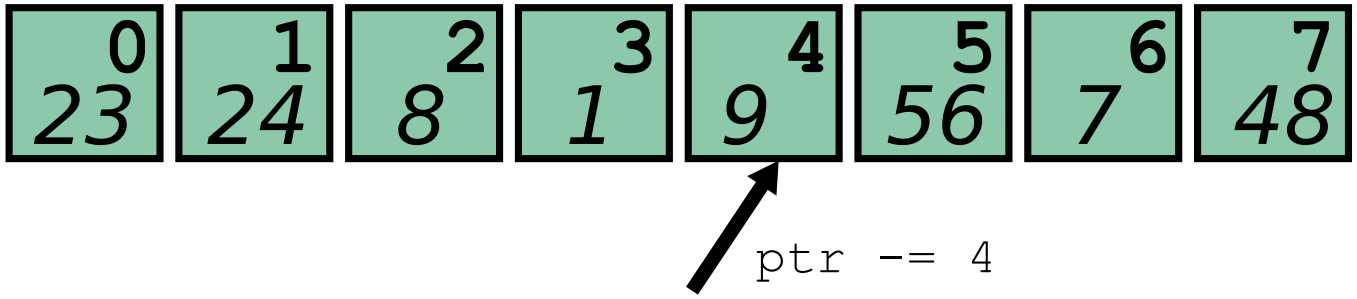
Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



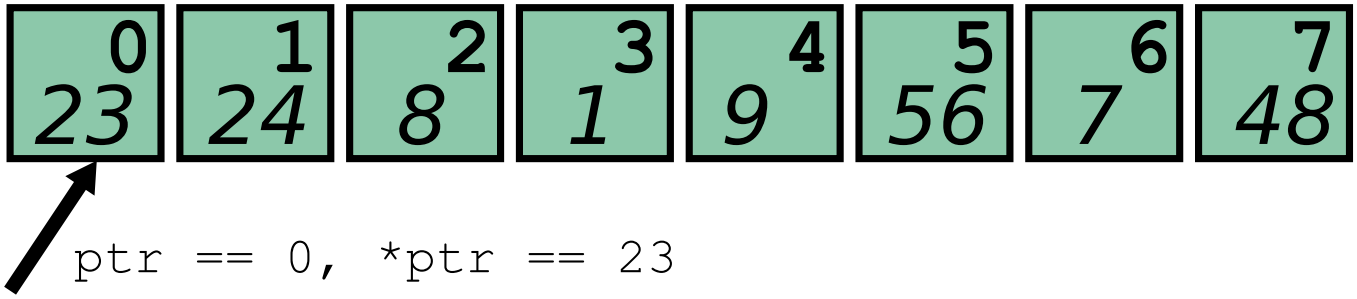
Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



Basiskonstrukte

Zeiger: Abstraktionstyp für linearen Speicher.



Basiskonstrukte

Zeiger

Initialisiere Zeiger. `Type* pointer = &data_array[0];`
(Achtung: Operator & hat drei verschiedene Bedeutungen in C++ (Adressoperator, Referenzoperator, bitweises Und)).

Springe:
`pointer += 4;`

Sprung vor den Anfang des Arrays:
`pointer -= 5;`
Aus Sicht der Sprache legal (Compiler). Zur Laufzeit (bestenfalls): Memory Access Violation (Betriebssystem); womöglich: Zugriff auf beliebigen Programmspeicher (Sicherheitslücke).

Dereferenzierung:
`Type t = *pointer;`
Achtung, auch Operator * hat mehrere Bedeutungen.

C++ und Ressourcen

C++ spezifiziert keine *Garbage Collection* (der Standard schließt sie nicht explizit aus, aber es gibt keine Implementierungen, die mir bekannt sind). Daher müssen alle Ressourcen, die reserviert werden, wieder freigegeben werden, z. B.

```
// Dynamisches Array
int* ptr1 = new int[5];
delete[] ptr1;

// Datei Handle
FILE* fp = fopen("/home/user/filename", "rw");
fclose(fp);

// Netzwerk Socket
int sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
close(sockfd);
```

C++ und Ressourcen

Ressourcenallokation $\Rightarrow$ (i. d. R.) *System Calls*:

- Reserviere Speicherbereich mit `malloc` oder `new` $\Rightarrow$ Betriebssystem gibt Zeiger auf Speicher zurück (oder `throw bad_alloc`).
- Öffne Datei: Dateisystemoperation erfordert Kommunikation mit Betriebssystem.
- ...

System Calls: API des Betriebssystemkernels. User Mode Library Funktionen wie `fopen` oder `new` leiten an Kernel Mode System Calls (z. B. `open`, `brk`) weiter (oder erweitern sie).

Unix: verschiedene Man-Page Sektionen für Library Funktionen (3) und System Calls (2):

```
man 3 fopen
man 2 open
```

C++ und Ressourcen

Ressource Acquisition is Initialization (RAII)

```
struct File {
    File(char const* fn)
        : fp(fopen(fn, "rw"))
    {
    }

   ~File()
    {
        fclose(fp);
    }

    FILE* fp;
};

void openFile() {
    // Stack variable, dtor is automatically
    // called when variable goes out of scope
    File f("/home/user/myfile");
}
```

C++ und Ressourcen

- Nutzen Sie RAII!
- Eingebaute, “deterministische” Garbage Collection. Destruktor wird garantiert aufgerufen, selbst wenn der Funktionsstack wegen Exceptions abgebaut wird.
- Prüfen Sie immer erst, ob es für Ihre Anwendung eine STL (oder Boost etc.) Template Klasse gibt (im Beispiel: `std::fstream`).

C++ und Ressourcen

STL RAII Klassen:

```
// Dynamic arrays
#include <vector>
std::vector<int> v1(3); v1.push_back(4);
v1[2] = 23;

// Smart pointers
#include <memory>
std::shared_ptr<int> sp = nullptr;
std::unique_ptr<int> up = nullptr;

// File handling
#include <fstream>
std::ofstream file("/home/user/myfile");
file << "text";
```

- Viele andere Beispiele!
- Vorsicht mit `std::shared_ptr`, sehr schwergewichtig.

Fundamentaltypen

Booleans, Characters, sonst.

```
void; std::nullptr_t;
bool; char;
```

Integer Typen

```
short; int; long; long long; // + unsigned etc.
```

Datenmodelle, z. B. LP64 (64-bit Unix,Linux, Mac): `long` & `pointer` 64-bit, LLP64 (Win64): `long` 32-bit, `pointer` 64-bit.

Floating-Point Typen

```
float; double; long double;
```

Typeigenschaft

```
static_assert(std::is_fundamental<T>::value == true);
```

Zusammengesetzte Typen

Typ ist eines von: `Array`, `Funktion`, `Zeiger auf Objekt`, `Zeiger auf Funktion`, `Zeiger auf Member`, `Referenz`, `Klasse`, `Union` oder `Enumeration`.

Typeigenschaft

```
static_assert(std::is_compound<T>::value == true);
```

Typkategorien

Wichtige:

- **trivial** - `std::is_trivial`
- **POD** - `std::is_pod`

Triviale Typen

Trivialer Default Konstruktor

```
// Generated
struct type1 { int i; };
// Defaulted:
struct type2 {
    type2() = default;
    int i;
}
// Not trival:
struct type2 {
    type2() {}
    int i;
}
```

Trivial kopierbar

```
type1 a, b, c;
b = a; memcpy(&c, &b, sizeof(b));
```

Typeigenschaft

```
static_assert(std::is_trivial<T>::value == true);
```

POD Typen

"Plain Old Data Types"

Standard Layout Ist bitweise kompabitel mit einfachem ANSI-C Typen, insb. bzgl. Reihenfolge der Member Felder.

```
struct type1 { int i; };           // standard-layout
struct type2 : type1 { };          // standard-layout
struct type3 : type2 { };          // standard-layout
struct type4 : type2, type3 { }; // kein standard-layout
```

Typeigenschaft

```
static_assert(std::is_pod<T>::value == true);
```

Einfache Typen (Trivial, POD)

- Zeichnen sich insb. dadurch aus, dass sie mit einfachem `memcpy` im Speicher bewegt werden können.
- Keine virtuelle Vererbung $\Rightarrow$ keine erst zur Laufzeit bekannten Konstrukte.
- Einfache Typen besser für Optimizer. In inneren Schleifen sollten einfache Typen oder Varianten verwendet werden.

Smart Pointer und Referenzzählen

Prinzip sehr einfach (konkrete Implementierung nicht..). Copy Konstruktor zählt ref-count hoch, Destruktor zählt ref-count runter, löscht wenn ref-count 0.

Smart Pointer und Referenzzählen

```
struct smart_ptr {
  smart_ptr(Object* o) : obj_(o), cnt_(new int) {
    *cnt_ = 1;
  }
  smart_ptr(smart_ptr& rhs) : obj_(rhs.obj_)
                            , cnt_(rhs.cnt_) {
    *cnt_++;
  }
 ~smart_ptr() {
    if (--(*cnt_) == 0) {
      delete obj_;
      delete cnt_;
    }
  }
  // Interface
  Object& operator*() { return *obj_; }
  Object* operator->() { return obj_; }
  // Data
  Object* obj_;
  int*    cnt_;
};
```

Smart Pointer und Referenzzählen

Ownership

Problem: wem gehört der Speicher. Bei dem Smart Pointer von oben geht man davon aus, dass Ownership geteilt wird (daher Referenzzählung). Tatsächliche Implementierungen (z. B. `std::shared_ptr`, `boost::shared_ptr`) recht schwergewichtig (insb. wegen Thread Safety).

Wenn klar ist, dass Datum, auf das gezeigt wird, nie geteilt wird, verwende exklusiven Smart Pointer (z. B. `std::unique_ptr`). Dieser implementiert RAII, aber keine Verweiszählung $\Rightarrow$ kaum Verwaltungs-Overhead.

Generische Programmierung

```
// returns any linear container (e.g. std::vector)
auto container = generate_some_numbers();
// sort any linear container
std::sort(container.begin(), container.end());
```

`std::sort` ist ein *Algorithmus*, d. h. (im Sinne von C++) eine Funktion, die für verschiedene Eingabetypen *templatisiert* ist (insb.: die beiden Parameter `first` und `last` erfüllen das `RandomAccessIterator` *Konzept*).

Generische Programmierung

```
template <typename T>
struct generic_type {
    T data;
};

template <typename T>
void generic_func(T param) {
}

int main() {
    generic_type<int> gti;
    using concrete_type = generic_type<double>;
    concrete_type ctd;

    generic_func(gti.data); // Instantiate with int
    generic_func(ctd.data); // Instantiate with double
}
```

Generische Programmierung

STL und Boost stellen eine Vielzahl von Template Klassen und Funktionen bereit:

```
std::vector<int>;
std::list<double>;
std::map<int, char>;
boost::bimap<int, std::string>;
boost::circular_buffer<double>;
//...
```

Generische Programmierung

STL und Boost stellen eine Vielzahl von Template Klassen und Funktionen bereit:

```
template <typename InputIt, typename T>
std::find(InputIt first, InputIt last, T value);
template <typename InputIt, typename T, typename Pred>
std::find_if(InputIt first, InputIt, Pred pred);

template <typename RandomIt>
std::sort(RandomIt first, RandomIt last);
template <typename RandomIt, typename Compare>
std::sort(RandomIt first, RandomIt last, Compare comp);

//...
std::accumulate(..);
std::rotate(..);
std::partition(..);
```

Generische Programmierung

Concepts

Konzepte (engl./gebräuchlicher: Concepts) legen fest, welche Typen mit welchem Algorithmus etc. kompatibel sind.

Beispielsweise **EqualityComparable**: für den Typen ist die Funktion `operator==()` überladen, das Ergebnis von `operator==()` ist *implizit* nach `bool` konvertierbar.

Generische Programmierung erlaubt *Compile Zeit Polymorphismus* - also das Erweitern von Template Library Algorithmen durch überschreiben für eigene Typen - ohne Laufzeit Overhead (aber ggf. höhere Compile Zeiten und Code Komplexität).

Generische Programmierung – Patterns

Iterator Pattern

```
template <typename Container>
void iterate(Container cont) {
    for (auto it = cont.begin(); it != cont.end(); ++it) {
        std::cout << *it << '\n';
    }
}

int main() {
    std::vector<int> v({1,2,3,4,5});
    iterate(v);

    std::list<double> l({1.0,2.0,3.0});
    iterate(l);
}
```

Generische Programmierung – Patterns

Iterator Pattern Häufig wird generisch über eine *range* iteriert. Dann gilt (STL, Boost, andere):

`range := [container.begin..container.end)`

Der `end` (manchmal `last` Iterator zeigt also auf das (ungültige) Element direkt nach dem letzten Elemet.

Beim iterieren prüft man auf *Ungleichheit* (`it != end` anstatt `it < end`), um Datenstrukturen zu unterstützen, über die nicht sequentiell iteriert wird.

Zeiger erfüllen das `RandomAccessIterator` Konzept.

Generische Programmierung – Patterns

Type Traits (Typeigenschaften)

```
struct my_type { };

template <typename T>
struct is_my_type {
    static constexpr bool value = false; };

template <>
struct is_my_type<my_type> {
    static constexpr bool value = true; };

template <typename T>
void func(T) {
    std::cout << is_my_type<T>::value << '\n'; }

int main() {
    func(int{});
    func(my_type{});
}
```

Generische Programmierung – Patterns

SFINAE *(Substitution failure is not an Error)*

```
template <typename T>
void func(T x)
{
    std::cout << x.pretty_sure_this_member_doesnt_exist;
}

void func(int i)
{
    std::cout << i;
}

int main()
{
    func(23);
}
```

Generische Programmierung – Patterns

SFINAE *(Substitution failure is not an Error)*

```
template <typename I,
    typename = typename std::enable_if<
            std::is_integral<I>::value>::type
    >
void func(I)
{
}

int main()
{
    func(23);
    func(std::vector<int>()); // Error!
}
```

Lambda Funktionen

```
void func() {
    // Simple
    auto mul = [](int i, int j) { return i * j; };
    mul(23, 32);

    // Algorithm
    struct record { int key; std::string value; }
    std::vector<record> records;
    std::sort(records.begin(), records.end(),
        [](record a, record b)
        { return a.key < b.key; });

    // Parallel algorithm
    parallel_for(range.begin(), range.end(), [](index i)
        {
            // Parallel logic
        });
}
```

Lambda Funktionen

```
void func() {
    int a, b;
    std::vector<int> c;

    // Capture by value
    auto do_it1 = [a,b,c]() { a = 23; // a is copy
        c.push_back(0); // c is copy!
    };

    // Capture c by reference
    auto do_it2 = [a,b,&c]() { /* .. */ };

    // Capture everything by value
    auto do_it3 = [=]() { std::cout << a << '\n' };

    // Capture everything by reference
    auto do_it4 = [&]() { c.push_back(23); }
}
```

Lambda Funktionen

Lambda Funktionen sind Funktionsobjekte. Ihr Typ ist Compiler-spezifisch, jedoch sind sie implizit nach `std::function<>` konvertierbar. Sie erleichtern Situationen, in denen man vor C++11 Helferklassen hätte schreiben müssen.

Move Semantik und Return Value Optimization

C++11 Konstrukt. Prinzip: anstatt copy-by-value oder referenzieren eines großen Objekts, *verschiebe* es einfach in einen anderen Scope (im ursprünglichen Scope wird es ungültig).

Wahrscheinlich grßter Nutzen beim Kopieren von Funktionsrückgabewerten:

```
struct BIG {
    char data[0xFFFF];
};
BIG tmp = make_BIG();
```

Alte C++ Compiler legen hier *zwei* Temporaries an! Es gibt aber keine Situation, in der man an die Temporaries gelangen kann, deshalb optimieren Compiler (auch $<$ C++11) dies mit Move Semantics (sog. Return Value Optimization).

Move Semantik und Return Value Optimization

```
struct BIG {
    char data[0xFFFF];
};

void func(BIG big) { // Copy 2^16 bytes
}

void func(BIG& big) { // Reference
}

BIG func() {
    return BIG{}; // Since C++11: move semantics
}

BIG soon_no_longer_required;
BIG big = std::move(soon_no_longer_required);
// 1st variable is now also no longer *valid*
```

Tutorials

Bitte schauen Sie sich die “richtigen” Tutorials an! Viele Tutorials vermitteln C++ im Stil anderer Sprachen wie C oder Java.
“Richtige” Tutorials sind z. B.

Channel9 Lectures: Stephan T. Lavavej - Core C++
`https://channel9.msdn.com/Series/C9-Lectures-Stephan-T-Lavavej-Core-C-`

Jason Turner: C++ Weekly (YouTube Channel)

Sehr unterhaltsames Tutorial:
CppCon 2016: Jason Turner, ”Rich Code for Tiny Computers: A Simple Commodore 64 Game in C++17”.
(YouTube)