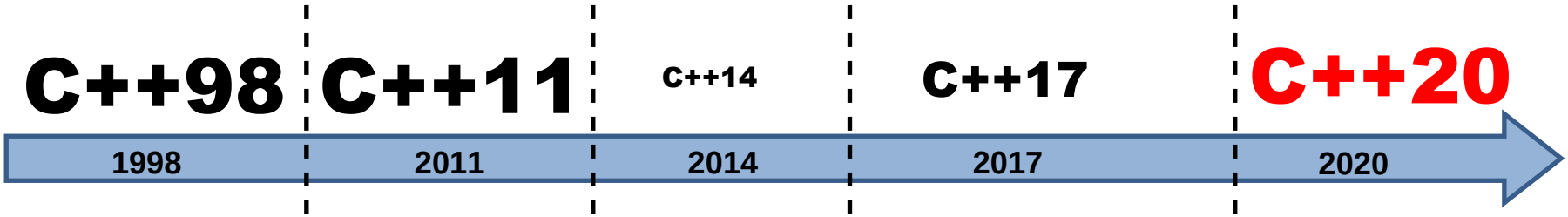

C++20
Rainer Grimm
Training, Coaching und Technologieberatung
www.ModernesCpp.de

C++-Geschichte



1998

- Templates
- STL mit Containern und Algorithmen
- Strings
- I/O Streams

2011

- Move Semantik
- `auto` und `decltype`
- Lambda expressions
- `constexpr`
- Multithreading
- Smart Pointer
- Hashtabellen

2014

- Generic lambdas
- Generalized `constexpr` Funktionen

2017

- `std::string_view`
- Parallele Algorithmen der STL
- Filesystem Bibliothek
- `std::any`, `std::optional` und `std::variant`

2020

- Coroutinen
- Module
- Concepts
- Ranges Bibliothek

Die großen Vier

- Coroutinen
- Module
- Concepts
- Ranges Bibliothek

Coroutinen

Coroutinen sind verallgemeinerte Funktionen, die ihre Ausführung unterbrechen und wieder aufnehmen können und dabei ihren Zustand speichern.

- Typische Einsatzgebiete
  - Kooperative Tasks
  - Eventschleifen
  - Unendliche Datenströme
  - Pipelines

Coroutinen

Design Principles (James McNellis)

- **Scalable**, to billions of concurrent Coroutinen
- **Efficient**: Suspend/resume operations comparable in cost to function call overhead
- **Open-Ended**: Library designers can develop Coroutinen libraries
- **Seamless Interaction** with existing facilities with no overhead.
- **Usable** in environments where exceptions are forbidden or not available.

Coroutinen

	Funktion	Coroutine
`invoke`	`func(args)`	`func(args)`
`return`	`return statement`	`co_return statement`
`suspend`		`co_await expression` `co_yield expression`
`resume`		`coroutine_handle<>::resume()`

Eine Funktion ist eine Coroutine, falls sie einen Aufruf `co_return`, `co_await`, `co_yield` oder eine Range-basierte for-Schleife `co_await` enthält.

Coroutinen: Generatoren

```
Generator<int> getNext(int start = 0, int step = 1) {
    auto value = start;
    for (int i = 0;; ++i){
        co_yield value;
        value += step;
    }
}
auto gen = getNext(-10);
for (int i= 1; i <= 20; ++i) std::cout << gen.next() << " ";
auto gen2 = getNext(0, 5);
while (true) std::cout << gen2.next() << " ";
```

-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 ...

Coroutinen: Warten statt blockieren

Blockieren

```
Acceptor ac{443};

while (true) {
  Socket so= ac.accept(); // block
  auto req= so.read();    // block
  auto resp= handleRequest(req);
  so.write(resp);         // block
}
```

Warten

```
Acceptor ac{443};

while (true) {
  Socket so= co_await ac.accept();
  auto req= co_await so.read();
  auto resp= handleRequest(req);
  co_await so.write(resp);
}
```

Die großen Vier

- Coroutinen
- Module
- Concepts
- Ranges Bibliothek

Die großen Vier

- Coroutinen
- **Module**
- Concepts
- Ranges Bibliothek

Module

Modul

```
// module declaration
export module math;

// exported function
export int add(int fir, int sec) {
    return fir + sec;
}
```

Client

```
// imported module

import math;

int main(){

   add(2000, 20);

}
```

Vorteile von Modulen

- Ein Modul wird nur einmal importiert. Dieser Prozess ist buchstäblich umsonst.
- Es stellt keinen Unterschied dar, in welcher Reihenfolge Module importiert werden.
- Identische Namen mit Modulen sind sehr unwahrscheinlich.
- Module erlauben es, die logische Struktur des Codes auszudrücken.
  - Module erlauben das explizite Exportieren von Namen
  - Module lassen sich einfach in neue Module verpacken

Module Interface Unit

```
export module math;

export int add(int fir, int sec);
```

Die Module Interface Unit

- Enthält die exportierende Moduldeklaration: `export module math1`
- Namen können nur in der Module Interface Unit exportiert werden
- Namen, die nicht exportiert werden, sind außerhalb des Moduls nicht sichtbar

- Ein Modul kann nur eine Module Interface Unit besitzen.

Module Implementation Unit

```
module math;

int add(int fir, int sec){
    return fir + sec;
}
```

Die Module Implementation Unit

- enthält die nicht-exportierende Moduldeklaration: `module math;`.

- Ein Modul kann mehr als eine Module Implementation Unit besitzen.

Struktur eines Moduls

```
module;                              // global module fragment

#include <headers for libraries not modularized so far>

export module math;                  // module declaration

import <importing of other modules>

<non-exported declarations>  // names with only visibility
                             // inside the module

export namespace math {

    <exported declarations>  // exported names

}
```

Die großen Vier

- Coroutinen
- Module
- **Concepts**
- Ranges Bibliothek

Vorteile der Concepts

- Drückt Anforderungen an die Template-Parameter durch das Interface aus
- Unterstützt das Überladen von Funktionen und die Spezialisierung von Klassen-Templates
- Erzeugt deutlich verständlichere Fehlermeldungen
- Lassen sich als Platzhalter für generischen Code verwenden
- Erlauben das Überladen
- Lassen sich für Klassen-Templates, Funktions-Template und Methoden von Klassen-Templates anwenden

Funktionen

- Requires clause

```
template<typename T>
requires std::integral<T>
T gcd(T a, T b);
```

- Abschließende requires clause

```
template<typename T>
T gcd(T a, T b) requires std::integral<T>;
```

- Eingeschränkte Template-Parameter

```
template<std::integral T>
T gcd(T a, T b);
```

- Abbreviated Function Templates Syntax

```
T gcd(std::integral auto a, std::integral auto b);
```

Klassen

```
template<std::regular T>
class MyVector{};

MyVector<int> v1;   // OK
MyVector<int&> v2; // ERROR: int& is not regular
```

➡ Eine Referenz ist nicht regulär.

Methoden

```
template <typename T>
struct MyVector{
    void push_back(const T&) requires std::copyable<T> {}
};
```

➡ Der Typ-Parameter `T` muss kopierbar sein.

Spezialisierung

```
template <typename T>
struct Vector {};

template <std::regular Reg>
struct Vector<Reg> {};

Vector<int> v1;  // std::regular Reg
Vector<int&> v2; // typename T
```

`Vector<int&>` verwendet den uneingeschränkten Template-Parameter.

`Vector<int>` verwendet den eingeschränkten Template-Parameter.

Mehrere Anforderungen

```
template<typename Iter, typename Val>
    requires std::input_iterator<Iter>  &&
             std::equality_comparable<Value_type<Iter>, Val>
Iter find(Iter b, Iter e, Val v) {
...
```

- `find` fordert für den Iterator `Iter` und für seinen Vergleich mit `Val`
  - Der Iterator muss ein Input-Iterator sein
  - Der Iterator muss ich mit dem Element `Val` auf Gleichheit vergleichen lassen

Platzhalter: `auto`

C++20

- `auto`: Uneingeschränkte Platzhalter (unconstrained placeholder)
- Concept: Eingeschränkte Platzhalter (constrained placeholder)

⇨ Die Verwendung von Platzhaltern erzeugt Templates.

Eingeschränkt und uneingeschränkt

```
#include <concepts>
#include <iostream>
#include <vector>

std::integral auto getInteg(
                int val) {
  return val;
}
```

```
int main(){
  std::vector<int> vec{1, 2, 3};
  for (std::integral auto i: vec) {
    std::cout << i << " ";
  }
  std::integral auto b = true;
  std::cout << b << std::endl;

  std::integral auto i = getInteg(10);
  std::cout << i << std::endl;

  auto i1 = getInteg(10);
  std::cout << i1 << std::endl;
}
```

Syntactic Sugar

Klassisch

```
template<typename T>
requires std::integral<T>
T gcd(T a, T b){
    if( b == 0 ) return a;
    else return gcd(b, a % b);
}

template<std::integral T>
T gcd2(T a, T b){
    if( b == 0 ) return a;
    else return gcd(b, a % b);
}
```

Abbreviated Function Templates

```
std::integral auto gcd3(
            std::integral auto a,
            std::integral auto b) {
    if( b == 0 ) return a;
    else return gcd(b, a % b);
}

auto gcd4(auto a, auto b){
    if( b == 0 ) return a;
    else return gcd(b, a % b);
}
```

Syntactic Sugar

```
int main(){

  std::cout << std::endl;
  std::cout << "gcd(100, 10)=  " <<  gcd(100, 10)  << std::endl;
  std::cout << "gcd1(100, 10)= " <<  gcd1(100, 10)  << std::endl;
  std::cout << "gcd2(100, 10)= " <<  gcd2(100, 10)  << std::endl;
  std::cout << "gcd3(100, 10)= " <<  gcd3(100, 10)  << std::endl;
  std::cout << "gcd4(100, 10)= " <<  gcd4(100, 10)  << std::endl;
  std::cout << std::endl;

}
```

```
gcd(100, 10)=  10
gcd1(100, 10)= 10
gcd2(100, 10)= 10
gcd3(100, 10)= 10
gcd4(100, 10)= 10
```

Syntactic Sugar: Überladung

```
void overload(auto t){
  std::cout << "auto : " << t << std::endl;
}

void overload(std::integral auto t){
  std::cout << "Integral : " << t << std::endl;
}

void overload(long t){
  std::cout << "long : " << t << std::endl;
}
```

```
int main(){

  overload(3.14);
  overload(2010);
  overload(2020l);

}
```

```
File  Edit  View  Bookmarks
rainer@linux:~> overloading

auto : 3.14
Integral : 2010
long : 2020

rainer@linux:~>
rainer : bash
```

Das Concept `Ord`

Das Concept `Equal`

```
template<typename T>
concept Equal =
    requires(T a, T b) {
        { a == b } -> std::convertible_to<bool>;
        { a != b } -> std::convertible_to<bool>;
    };
```

Das Concept `Ord`

Das Concept `Ord`

```
template <typename T>
concept Ord =
    Equal<T> &&
    requires(T a, T b) {
        { a <= b } -> std::convertible_to<bool>;
        { a < b } -> std::convertible_to<bool>;
        { a > b } -> std::convertible_to<bool>;
        { a >= b } -> std::convertible_to<bool>;
    };
```

Das Concept `Ord`

```
bool areEqual(Equal auto a,
              Equal auto b){
  return a == b;
}

Ord getSmaller(Ord auto a,
               Ord auto b){
  return (a < b) ? a : b;
}
```

```
int main(){

  std::cout << areEqual(1, 5);

  std::cout << getSmaller(1, 5);

  std::unordered_set<int> set1{1, 2, 3};
  std::unordered_set<int> set2{5, 4, 3};

  std::cout << areEqual(set1, set2);

  // auto smallerSet= getSmaller(set1,
                                 set2);

}
```

Das Concept `Ord`

```
<source>:19:13: note: the required expression '(a <= b)' is invalid
   19 |         { a <= b } -> std::convertible_to<bool>;
      |           ~~^~~~
<source>:20:13: note: the required expression '(a < b)' is invalid
   20 |         { a < b } -> std::convertible_to<bool>;
      |           ~~^~~
<source>:21:13: note: the required expression '(a > b)' is invalid
   21 |         { a > b } -> std::convertible_to<bool>;
      |           ~~^~~
<source>:22:13: note: the required expression '(a >= b)' is invalid
   22 |         { a >= b } -> std::convertible_to<bool>;
      |           ~~^~~~
```

Die großen Vier

- Coroutinen
- Module
- Concepts
- **Ranges Bibliothek**

Die Ranges Bibliothek

Die Ranges Bibliothek bietet Algorithmen an,

- die direkt auf dem Container arbeiten.
- die Lazy evaluiert werden.
- die sich komponieren lassen.

Die Ranges Bibliothek erweitert C++20 um funktionale Pattern.

Direkt auf dem Container

```
std::array<int, 6> arr{3, 1, 4, 1, 5, 9};
std::ranges::reverse_view revRang{arr};
for (int i : revRange) std::cout << i << " ";  // 9 4 1 4 1 3
```

```
std::map<std::string, int> freqWord{ {"witch", 25},
      {"wizard", 33}, {"tale", 45}, {"dog", 4} };
auto names = std::views::keys(freqWord);
for (const auto& n : names){ std::cout << n << " "; };
  // dog tale witch wizard
```

Lazy evaluiert

```
#include <ranges>
#include <iostream>

int main(){
    for (int i : std::views::iota{1, 5}) {
        std::cout << i << ' ';          // 1 2 3 4 5
    }

    for (int i : std::views::iota(1) | std::view::take(5)) {
        std::cout << i << ' ';           // 1 2 3 4 5
    }
}
```

Funktionskomposition

```
#include <vector>
#include <ranges>
#include <iostream>

int main(){
    std::vector<int> ints{0, 1, 2, 3, 4, 5};
    auto even = [](int i){ return 0 == i % 2; };
    auto square = [](int i) { return i * i; };

    for (int i : ints | std::view::filter(even) |
                        std::view::transform(square)) {
        std::cout << i << ' ';              // 0 4 16
    }
}
```

Die großen Vier

Coroutinen

Asynchrone Programmierung

Module

Software-komponenten

Concepts

Semantische Kategorien

Ranges Bibliothek

Bedarfsaus-wertung und Funktions-komposition

Blogs

[www.grimm-jaud.de [De]](http://www.grimm-jaud.de)

[www.ModernesCpp.com [En]](http://www.ModernesCpp.com)

Rainer Grimm

Training, Coaching und Technologieberatung

www.ModernesCpp.de