C++20 Ranges und Constrained Algorithms

Felix Racz, Tim Wende

1. Juni 2022

Inhalt

Ranges

A *range* is something that can be iterated over.

Constrained Algorithm

A *constrained algorithm* is an algorithm that takes ranges.

Ranges in anderen Programmiersprachen

- **Java:**

```
IntStream.range(0, 10)
         .filter(x -> w%2 == 1)
         .map(x -> x*x)
```

Ranges in anderen Programmiersprachen

- **Java:**

```
IntStream.range(0, 10)
         .filter(x -> w%2 == 1)
         .map(x -> x*x)
```

- **Python:**

```
map(lambda x: x*x,
    filter(lambda x: x%2 == 1,
        range(10)
    )
)
```

Vorwissen

Iteratoren

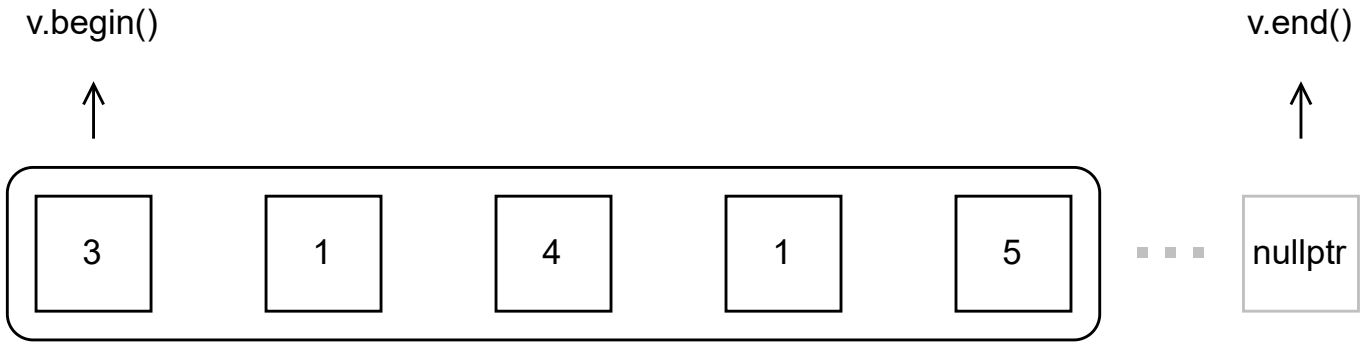
Der Begriff *Iterator* stammt aus dem Bereich der Softwareentwicklung und bezeichnet einen Zeiger, mit dem die Elemente einer Menge durchlaufen werden können (z. B. eine Liste, ein Vector etc.).

Iteratoren - Beispiel (Code)

```cpp
std::vector<int> v{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };

// std::vector<int>::iterator
for (auto it = v.begin(); it != v.end(); ++it)
    std::cout << *it << ", ";

std::cout << std::endl;

// 3, 1, 4, 5, 1, ...,
```

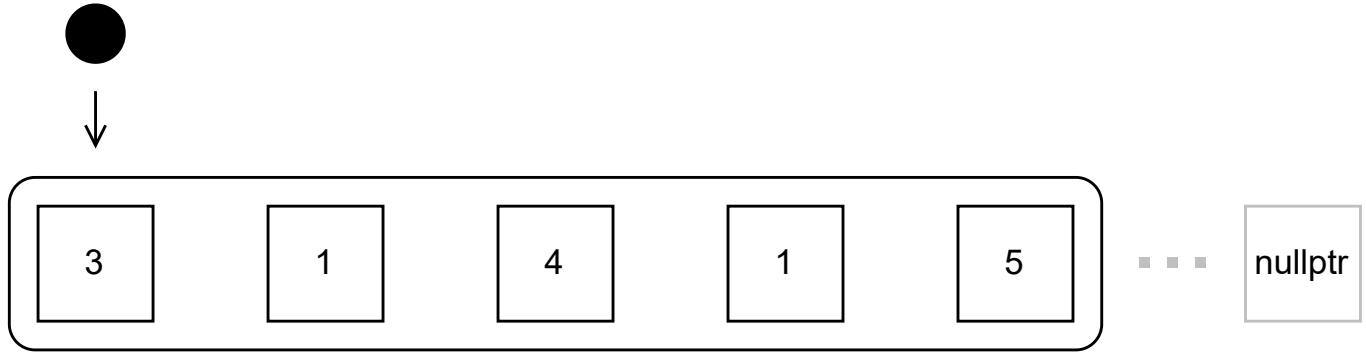
Iteratoren - Beispiel (Graphisch)

```
auto it = v.begin();
```



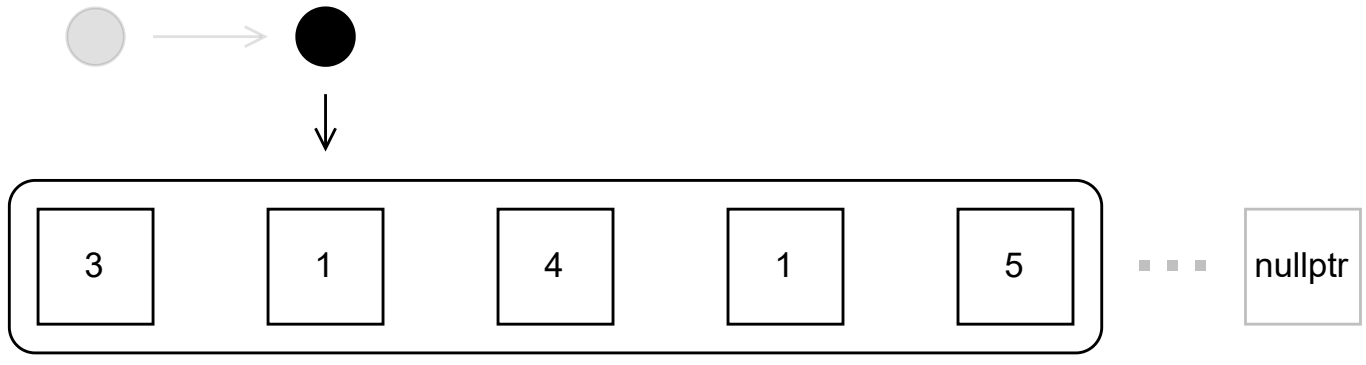
Iteratoren - Beispiel (Graphisch)

```
std::cout << *it << ", ";
```



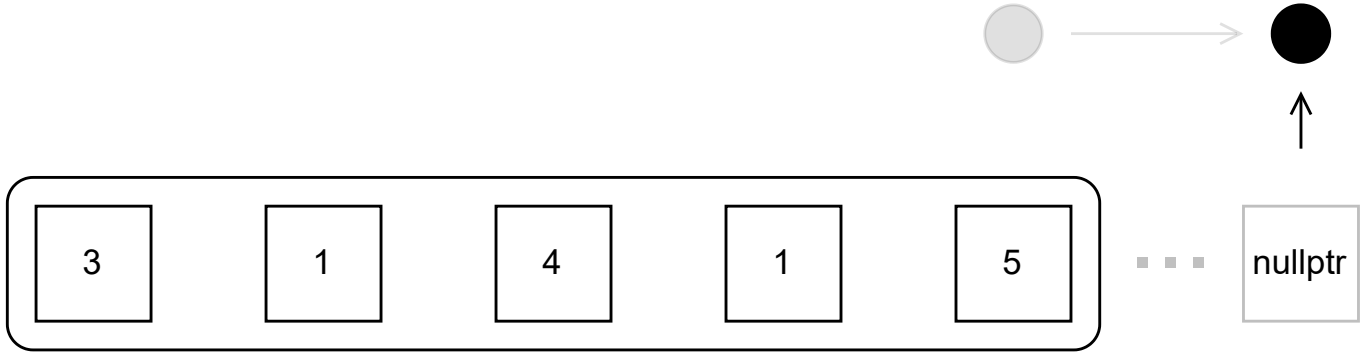
Iteratoren - Beispiel (Graphisch)

```
++it;
```



Iteratoren - Beispiel (Graphisch)

```
it == v.end();
```



Concepts

Concepts allow us to control the instantiation of templates by testing syntactic conditions.

It is a compile-time predicate which is true if the given type(s) meet the requirements.

Concepts - Beispiel

```
template <typename T>
    requires string_convertible<T>
std::string convert(const T& t) { return t.to_string(); }
```

Motivation

Schlechte Fehlermeldungen

```
std::list<int> list{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };
std::sort(list.begin(), list.end());
```

Zu lange Fehlermeldungen

```
In file included from error_messages.cpp:2:
In file included from /usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
error: invalid operands to binary expression ('std::_List_iterator<int>
                                  std::__lg(__last - __first) * 2,
                                            ~~~~~~ ^ ~~~~~~~
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
        std::__sort(__first, __last, __gnu_cxx::__ops::__iter_less_iter
            ^
error_messages.cpp:8:10: note: in instantiation of function template sp
    std::sort(list.begin(), list.end());
            ^

/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
    operator-(const move_iterator<_IteratorL>& __x,
    ^
```

Zu lange Fehlermeldungen

```
In file included from error_messages.cpp:2:
In file included from /usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
error: invalid operands to binary expression ('std::_List_iterator<int>
                                    std::__lg(__last - __first) * 2,
                                              ~~~~~~ ^ ~~~~~~~
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
        std::__sort(__first, __last, __gnu_cxx::__ops::__iter_less_iter
            ^
error_messages.cpp:8:10: note: in instantiation of function template sp
    std::sort(list.begin(), list.end());
            ^


/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
    operator-(const move_iterator<_IteratorL>& __x,
    ^
```

Zu lange Fehlermeldungen

```
In file included from error_messages.cpp:2:
In file included from /usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
        if (__last - __first > int(_S_threshold))
            ~~~~~~ ^ ~~~~~~~
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
            std::__final_insertion_sort(__first, __last, __comp);
                ^
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
        std::__sort(__first, __last, __gnu_cxx::__ops::__iter_less_iter
            ^
error_messages.cpp:8:10: note: in instantiation of function template sp
    std::sort(list.begin(), list.end());
            ^
```

Zu lange Fehlermeldungen

```
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
    operator-(const reverse_iterator<_IteratorL>& __x,
    ^
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
    operator-(const move_iterator<_IteratorL>& __x,
    ^
2 errors generated.
```

Bessere Fehlermeldungen

```
std::list<int> list{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };
std::ranges::sort(list.begin(), list.end());
```

Bessere Fehlermeldungen

```
error_messages.cpp:8:5:
error: no matching function for call
to object of type 'const std::ranges::__sort_fn'
    std::ranges::sort(list.begin(), list.end());
    ^~~~~~~~~~~~~~~~
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
      operator()(_Iter __first, _Sent __last,
      ^
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
note: because 'std::_List_iterator<int>' does not satisfy
'random_access_iterator'
    template<random_access_iterator _Iter, sentinel_for<_Iter> _Sent,
             ^
[...]
```

Bessere Fehlermeldungen

```
error_messages.cpp:8:5:
error: no matching function for call
to object of type 'const std::ranges::__sort_fn'
    std::ranges::sort(list.begin(), list.end());
    ^~~~~~~~~~~~~~~~~
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
      operator()(_Iter __first, _Sent __last,
      ^
/usr/bin/../lib/gcc/x86_64-linux-gnu/11/../../../../include/c++/11/bits
note: because 'std::_List_iterator<int>' does not satisfy
'random_access_iterator'
    template<random_access_iterator _Iter, sentinel_for<_Iter> _Sent,
             ^
[...]
```

Unübersichtlicher Code

```
std::vector<int> v{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };

std::find(v.begin(), v.end(), 5);
std::sort(v.begin(), v.end());
```

Unübersichtlicher Code

```
std::vector<int> v{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };

std::ranges::find(v, 5);
std::ranges::sort(v);
```

Unübersichtlicher Code - Implementierung

1. `std::ranges::sort(v);`

Unübersichtlicher Code - Implementierung

1. `std::ranges::sort(v);`
2. `struct sort_fn {...}`

Unübersichtlicher Code - Implementierung

1. `std::ranges::sort(v);`
2. `struct sort_fn {...}`
3.
```
std::ranges::sort(
    std::ranges::begin(v),
    std::ranges::end(v)
);
```

Unübersichtlicher Code - Implementierung

1. `std::ranges::sort(v);`
2. `struct sort_fn {...}`
3. ```
   std::ranges::sort(
       std::ranges::begin(v),
       std::ranges::end(v)
   );
   ```
4. `std::ranges::sort(v.begin(), v.end());`
   ```

Unübersichtlicher Code - Implementierung

1. `std::ranges::sort(v);`
2. `struct sort_fn {...}`
3. ```
   std::ranges::sort(
       std::ranges::begin(v),
       std::ranges::end(v)
   );
   ```
4. `std::ranges::sort(v.begin(), v.end());`
5. `std::sort(v.begin(), v.end());`
   ```

(Compiler-) Geschwindigkeitsoptimierung

```cpp
std::vector<int> v{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };

std::find(
    v.begin(), // iterator -> v[0]
    v.end(),   // iterator -> nullptr
    5          // ist immer im vector enthalten
);
```

(Compiler-) Geschwindigkeitsoptimierung - Implementierung

```
std::vector<int>::iterator find(
    std::vector<int>::iterator first,
    std::vector<int>::iterator last,
    const int&                 val
) {
    for (; first != last; ++first)
        if (*first == val) break;

    return first;
}
```

Sentinel

A *sentinel* is some type that is `equality_comparable_with` its corresponding iterator, which denotes the end of the range.

Für diese Beispiel benötigen wir den `unreachable_sentinel`.

(Compiler-) Geschwindigkeitsoptimierung

```cpp
std::vector<int> v{ 3, 1, 4, 1, 5, ... };

std::ranges::find(
    v.begin(), // iterator -> v[0]
    std::ranges::unreachable_sentinel, // == it -> false
    5          // ist immer im vector enthalten
);
```

(Compiler-) Geschwindigkeitsoptimierung - Implementierung

```
std::vector<int>::iterator find(
    std::vector<int>::iterator          first,
    std::ranges::unreachable_sentinel_t last,
    const int&                          val
) {
    // first == last -> false
    for (; first != last; ++first)
        if (*first == val) break;

    return first;
}
```

(Compiler-) Geschwindigkeitsoptimierung - Implementierung

```
std::vector<int>::iterator find(
    std::vector<int>::iterator          first,
    std::ranges::unreachable_sentinel_t last,
    const int&                          val
) {
    // first == last -> false
    for (; true; ++first)
        if (*first == val) break;

    return first;
}
```

(Compiler-) Geschwindigkeitsoptimierung

Mit dem bekannten Iterator `.end()` wird jedes Element des Vectors 2 mal „angefasst“:

- `first != last`
- `*first == val`

Durch Sentinals verringern wir diese Zugriffe um die Hälfte, haben jedoch Probleme, wenn `val` nicht im Vector enthalten ist.

- `*first == val`

Anwendung

Constrained Algorithms <algorithm>

- `std::ranges::find()`
  - ➔ `std::find()`

Constrained Algorithms <algorithm>

- `std::ranges::find()`
  - ➔ `std::find()`
- `std::ranges::sort()`
  - ➔ `std::sort()`

Constrained Algorithms <algorithm>

- `std::ranges::find()`
  - ➔ `std::find()`
- `std::ranges::sort()`
  - ➔ `std::sort()`
- `std::ranges::equal()`
  - ➔ `std::equal()`

Constrained Algorithms <algorithm>

- `std::ranges::find()`
  - → `std::find()`
- `std::ranges::sort()`
  - → `std::sort()`
- `std::ranges::equal()`
  - → `std::equal()`
- `std::ranges::move()`
  - → `std::move()`

Constrained Algorithms <algorithm>

- `std::ranges::find()`
  - → `std::find()`
- `std::ranges::sort()`
  - → `std::sort()`
- `std::ranges::equal()`
  - → `std::equal()`
- `std::ranges::move()`
  - → `std::move()`
- `std::ranges::minmax_element()`
  - → `std::minmax_element()`

Constrained Algorithms <numeric>

C++23

Projection

A *projection* is a unary callable which may ne passed to most algorithms.

Projections modify the view of the data that the algorithms sees.

Projection - Beispiel

```
struct Pokemon {
    int id;
    std::string name;
    ...
}
struct PokedexEintrag {
    int pokemon_id;
    std::string beschreibung;
}

std::vector<Pokemon> pokemon;
std::vector<PokedexEintrag> pokedex;
```

Projection - Beispiel

Aufgabe:
Finden Sie heraus, ob jedes Pokémon einen PokédexEintrag hat

Projection - Beispiel

Erster Ansatz:

1. **Sortiere alle Pokémon (nach `id`)**

Projection - Beispiel

Erster Ansatz:

1. **Sortiere alle Pokémon (nach `id`)**
2. **Sortiere alle PokédexEinträge (nach `pokemon_id`)**

Projection - Beispiel

Erster Ansatz:

1. **Sortiere alle Pokémon (nach `id`)**
2. **Sortiere alle PokédexEinträge (nach `pokemon_id`)**
3. **Gehe von oben alle Einträge durch. Sobald die eine Liste die andere „überholt“, gib `false` zurück.**

Projection - Beispiel

Erster Ansatz:

1. **Sortiere alle Pokémon (nach `id`)**
2. **Sortiere alle PokédexEinträge (nach `pokemon_id`)**
3. **Gehe von oben alle Einträge durch. Sobald die eine Liste die andere „überholt“, gib `false` zurück.**
4. **Wenn wir am Ende der Listen sind, gib `true` zurück**

Projection - Beispiel

```
std::sort(pokemon.begin(), pokemon.end(),
    [] (const Pokemon& p1, const Pokemon& p2) {
        return p1.id <= p2.id;
    });

std::sort(pokedex.begin(), pokedex.end(),
    [] (const PokedexEintrag& e1,
        const PokedexEintrag& e2) {
        return e1.pokemon_id <= e2.pokemon_id;
    });
```

Projection - Beispiel

```
std::equal(
    pokemon.begin(), pokemon.end(),
    pokedex.begin(), pokedex.end(),
    [] (const Pokemon& p, const PokedexEintrag& e) {
        return p.id == e.pokemon_id;
    });
```

Projection - Beispiel

Zweiter Ansatz:

- **Erweitere Iteratoren durch Ranges**
  - ➔ Ersetze `.begin()` bzw. `.end()`

Projection - Beispiel

```
std::ranges::sort(pokemon,
    [] (const Pokemon& p1, const Pokemon& p2) {
        return p1.id <= p2.id;
    });

std::ranges::sort(pokedex,
    [] (const PokedexEintrag& e1,
        const PokedexEintrag& e2) {
        return e1.pokemon_id <= e2.pokemon_id;
    });
```

Projection - Beispiel

```
std::ranges::equal(pokemon, pokedex,
    [] (const Pokemon& p, const PokedexEintrag& e) {
        return p.id == e.pokemon_id;
    });
```

Projection - Beispiel

Dritter Ansatz:

- **Erweitere Ranges durch Projection**
  - ➔ Reduziere jedes Pokémon auf einen `int`
  - ➔ Reduziere analog jeden PokédexEintrag auf einen `int`
  - ➔ Überlasse dem Compiler den Umgang mit diesen primitiven Datentypen

Projection - Beispiel

```
std::ranges::sort(pokemon, std::ranges::less{},
    [] (const Pokemon& p) { return p.id; });

std::ranges::sort(pokedex, std::ranges::less{},
    [] (const PokedexEintrag& e) { return e.pokemon_id; });

std::ranges::equal(pokemon, pokedex,
    std::ranges::equal_to{},
    [] (const Pokemon& p) { return p.id; }
    [] (const PokedexEintrag& e) { return e.pokemon_id; }
);
```

Projection - Beispiel

Finaler Ansatz:

- **Ersetze „getter“-Lambdas durch die direkten Attribute**

Projection - Beispiel

```
std::ranges::sort(pokemon, std::ranges::less{},
    &Pokemon::id);

std::ranges::sort(pokedex, std::ranges::less{},
    &PokedexEintrag::pokemon_id);

std::ranges::equal(pokemon, pokedex,
    std::ranges::equal_to{},
    &Pokemon::id, &PokedexEintrag::pokemon_id);
```

Projection - Beispiel

✨ **Finaler Ansatz:** ✨

Projection - Beispiel

```
std::ranges::sort(pokemon, {},
    &Pokemon::id);

std::ranges::sort(pokedex, {},
    &PokedexEintrag::pokemon_id);

std::ranges::equal(pokemon, pokedex, {},
    &Pokemon::id, &PokedexEintrag::pokemon_id);
```

Projection - Beispiel

Zusammengefasst:

```
// stl
std::sort(pokemon.begin(), pokemon.end(),
    [] (const Pokemon& p1, const Pokemon& p2) {
        return p1.id <= p2.id;
    });

// ranges
std::ranges::sort(pokemon, {}, &Pokemon::id);
```

Range Concepts <ranges>

- `std::ranges::input_range`
  - → `std::cin`

Range Concepts <ranges>

- `std::ranges::input_range`
  - → `std::cin`
- `std::ranges::bidirectional_range`
  - → `std::list`

Range Concepts <ranges>

- `std::ranges::input_range`
  - ➔ `std::cin`
- `std::ranges::bidirectional_range`
  - ➔ `std::list`
- `std::ranges::random_access_range`
  - ➔ `std::unordered_map`

Range Concepts <ranges>

- `std::ranges::input_range`
  - → `std::cin`
- `std::ranges::bidirectional_range`
  - → `std::list`
- `std::ranges::random_access_range`
  - → `std::unordered_map`
- `std::ranges::sized_range`
  - → `std::vector`

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**
- **Es gibt den alias `std::views`**

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**
- **Es gibt den alias `std::views`**
- **Was kennzeichnet Views aus?**

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**
- **Es gibt den alias `std::views`**
- **Was kennzeichnet Views aus?**
  - ➔ lazy evaluation

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**
- **Es gibt den alias `std::views`**
- **Was kennzeichnet Views aus?**
  - ➔ lazy evaluation
  - ➔ besitzen Inhalt nicht, referenzieren nur

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**
- **Es gibt den alias `std::views`**
- **Was kennzeichnet Views aus?**
  - ➔ lazy evaluation
  - ➔ besitzen Inhalt nicht, referenzieren nur
  - ➔ constant time copy and move

Views

- **Views leben in `std::ranges::views`**
- **Es gibt den alias `std::views`**
- **Was kennzeichnet Views aus?**
  - ➔ lazy evaluation
  - ➔ besitzen Inhalt nicht, referenzieren nur
  - ➔ constant time copy and move
  - ➔ einfach und effizient kombinierbar

Views - Beispiel

Aufgabe:
Berechnen Sie für alle Pokémon des Typs Feuer den BMI

$$\text{bmi} = \frac{\text{gewicht}}{\text{groesse}^2}$$

Klassisch

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto vec = get_pokemon();
std::vector<double> bmis{};

for (const Pokemon& p : vec) {
    if (p.primaer_typ == "Feuer" || p.sekundaer_typ = "Feuer") {
        double bmi = p.gewicht / (p.groesse * p.groesse);
        bmis.push_back(bmi);
    }
}
```

Alte STL

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto vec = get_pokemon();
std::vector<double> bmis;
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};
auto bmi = [](const Pokemon &p) {
    return (p.gewicht / (p.groesse * p.groesse));
};
```

Alte STL

```
std::copy_if(
    vec.begin(), vec.end(),
    std::back_inserter(feuer_pokemon),
    hat_typ_feuer);
std::transform(
    feuer_pokemon.begin(), feuer_pokemon.end(),
    std::back_inserter(bmis),
    bmi);
```

Mit Ranges

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto vec = get_pokemon();
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ == "Feuer";
};
auto bmi = [](const Pokemon &p) {
    return (p.gewicht / (p.groesse * p.groesse));
};

auto view = transform(filter(vec, hat_typ_feuer), bmi);
```

Mit Ranges und Pipes

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto vec = get_pokemon();
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};
auto bmi = [](const Pokemon &p) {
    return (p.gewicht / (p.groesse * p.groesse));
};

auto view = vec | filter(hat_typ_feuer) | transform(bmi);
```

Mit Ranges und Pipes

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto vec = get_pokemon();
auto view = vec
| filter([](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
})
| transform([](const Pokemon &p) {
    return (p.gewicht / (p.groesse * p.groesse));
});
```

Dangling Iterator

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};

auto pokemon = get_pokemon();
auto it = min_element(
    pokemon, {},
    &Pokemon::groesse
);

std::cout << *it << std::enl;
```

Dangling Iterator

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};

auto it = min_element(
    get_pokemon(), {},
    &Pokemon::groesse
);
std::cout << *it << std::enl;
```

Dangling Iterator

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};

auto it = min_element(
    get_pokemon(), {},
    &Pokemon::groesse
);
std::cout << *it << std::enl;
//error: no match for ‘operator*’
//(operand type is ‘std::ranges::dangling’)
```

Dangling View

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};

auto pokemon = get_pokemon();
auto view = views::filter(pokemon, hat_typ_feuer);
for(const Pokemon& p : view) {
    std::cout << p << std::endl;
}
```

Dangling View

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};

auto view = views::filter(get_pokemon(), hat_typ_feuer);
for(const Pokemon& p : view)
    std::cout << p << std::endl;
```

Dangling View

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};

auto view = views::filter(get_pokemon(), hat_typ_feuer);
for(const Pokemon& p : view)
    std::cout << p << std::endl;
//note: candidate: ‘template<class _Range, class _Pred>
//requires (viewable_range<_Range>)
```

Dangling View

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};
auto get_feuer_pokemon(const std::vector<Pokemon>& p) {
    return p | views::filter(hat_typ_feuer);
}

auto view = get_feuer_pokemon(get_pokemon())
for(const Pokemon& p : view)
    std::cout << p << std::endl;
```

Dangling View

```
std::vector<Pokemon> get_pokemon() {...};
auto hat_typ_feuer = [](const Pokemon &p) {
    return p.primaer_typ == "Feuer"
        || p.sekundaer_typ = "Feuer";
};
auto get_feuer_pokemon(const std::vector<Pokemon>& p) {
    return p | views::filter(hat_typ_feuer);
}

auto view = get_feuer_pokemon(get_pokemon())
for(const Pokemon& p : view)
    std::cout << p << std::endl;
//segfault
```

Dangling View

```
std::string s{" Das Ist Ein Langer String. "};
auto s_view(const std::string& s) {
    [...]
    return std::string_view{s};
}
std::string_view sv = s_view(s);
auto view = sv
            | filter([](char c) { return c!= ' '; });
for (char c : view) {
    std::cout << c;
} //"DasIstEinLangerString"
```

Dangling View

```
std::string s{" Das Ist Ein Langer String. "};
auto s_view(const std::string& s) {
    [...]
    return std::string_view{s};
}
auto view = s_view(s)
            | filter([](char c) { return c!= ' '; });
for (char c : view) {
    std::cout << c;
} //"DasIstEinLangerString"
```

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

Alles was eine `std::ranges::viewable_range` ist!

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

Alles was eine `std::ranges::viewable_range` ist!

- **lvalue reference (alles mit einem Namen)**

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

Alles was eine `std::ranges::viewable_range` ist!

- **lvalue reference (alles mit einem Namen)**
- `std::borrowed_range`

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

Alles was eine `std::ranges::viewable_range` ist!

- **lvalue reference (alles mit einem Namen)**
- `std::borrowed_range`
  - ➔ Alle views

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

Alles was eine `std::ranges::viewable_range` ist!

- **lvalue reference (alles mit einem Namen)**
- `std::borrowed_range`
  - ➔ Alle views
  - ➔ Typen mit `std::enable_borrowed_range<T>` true

`std::ranges::viewable_range`

Was kann man einem Range adaptor alles übergeben?

Alles was eine `std::ranges::viewable_range` ist!

- **lvalue reference (alles mit einem Namen)**
- `std::borrowed_range`
  - ➔ Alle views
  - ➔ Typen mit `std::enable_borrowed_range<T>` true
    - ➔ `std::span`, `std::string_view`

Performance

```
std::vector<long long> eager_transform(
    const std::vector<long long> &vec) {
    std::vector<long long> result;
    for (long long i : vec) {
        if (i % 2 == 0){
            result.push_back(i * i);
        }
    }
    return result;
}
```

Performance

```
auto lazy_transform(
    const std::vector<long long> &vec) {
        auto is_even = [](long long i){
            return i % 2 == 0;
        };
        auto square = [](long long i){
            return i * i;
        };
        return vec | filter(is_even) | transform(square);
    }
```

Performance

```
long long do_something(auto &vec, int n) {
    long long sum = 0;
    for (auto i : vec){
        sum += i; n--;
        if (n < 0)
            break;
    }
    return sum;
}
```

Performance

```cpp
int main() {
    std::vector<int> v = get_vektor(100000);
    auto v1 = eager_transform(v); // 3018µs
    auto v2 = lazy_transform(v);  //    0µs
    do_something(v1, 100000);     //  425µs
    do_something(v2, 100000);     // 8293µs
    do_something(v1, 10000);      //  114µs
    do_something(v2, 10000);      // 1352µs
}
```

Eigene View

```
template <std::ranges::input_range R>
        requires std::ranges::viewable_range<R>
    class view_convert : public std::ranges::view_base {
    private:
        R r;

        struct iterator_type : std::ranges::iterator_t<R>
```

Eigene View - Iterator I

```
struct iterator_type : std::ranges::iterator_t<R> {
    using base = std::ranges::iterator_t<R>;
    iterator_type() = default;
    iterator_type(base const &b) : base{b} {}

    iterator_type &operator++() {
        ++static_cast<base &>(*this);
        return (*this);
    }
```

Eigene View - Iterator II

```
    int operator*() const {
        auto original = *static_cast<base>(*this);
        return original*10;
    }

    int operator[](size_t n) const
    requires std::ranges::random_access_range<R> {
        auto original = (static_cast<base>(*this))[n];
        return original*10;
    }

};
```

Eigene View I

```
public:
    view_convert(R &&r) : r{std::forward<R>(r)} {}

    iterator_type begin() const {
        return std::begin(r);
    }

    iterator_type end() const {
        return std::end(r);
    }
```

Eigene View II

```
    int operator[](size_t n) const
    requires std::ranges::random_access_range<R>{
        return begin()[n];
    }
};
```

Eigene View - Adaptor I

```
template <typename R>
view_convert(R &&) -> view_convert<R>;

struct convert_view_fn
{
    template <typename R>
    auto operator()(R &&r) const
    {
        return view_convert{std::forward<R>(r)};
    }
```

Eigene View - Adaptor II

```
    template <typename R>
    friend auto operator|(R &&r, convert_view_fn const &)
    {
        return view_convert{std::forward<R>(r)};
    }
};

namespace view
{
    convert_view_fn convert;
}
```

Eigene View - Beispiel I

```cpp
std::vector<int> vec{1, 3, 5, 7, 9};
auto view = vec | view::convert;
std::cout << view[2] << std::endl; //50
for (auto i : view) {
    std::cout << i << ", ";
}
std::cout << std::endl; // 10, 30, 50, 70, 90,
```

Aufgaben

Aufgaben

https://github.com/tmwnd/adv_cpp_example.git

pokemon.hpp

```cpp
struct Pokemon;      // id, name, primaer_typ, ...
struct Entwicklung; // pokemon_id, level

std::vector<Pokemon> get_pokemon();
std::map<int, Entwicklung> get_entwicklung();
```

pokemon_ranges_q.cpp

Aufgabe:
Überführen Sie die gegebenen STL Algorithmen in Ranges

pokemon_ranges_q.cpp

Aufgabe:
Überführen Sie die gegebenen STL Algorithmen in Ranges

a) **Kopieren Sie alle Starter Pokémon (inkl. Entwicklungen) in einen neuen Vector**

pokemon_ranges_q.cpp

Aufgabe:
Überführen Sie die gegebenen STL Algorithmen in Ranges

a) **Kopieren Sie alle Starter Pokémon (inkl. Entwicklungen) in einen neuen Vector**
b) **Sortieren Sie diese nun nach Typ**

pokemon_ranges_q.cpp

Aufgabe:
Überführen Sie die gegebenen STL Algorithmen in Ranges

a) **Kopieren Sie alle Starter Pokémon (inkl. Entwicklungen) in einen neuen Vector**
b) **Sortieren Sie diese nun nach Typ**
c) **Finden Sie in dem Vector nun das „beste“ Pokémon**

pokemon_ranges_q.cpp

Aufgabe:
Überführen Sie die gegebenen STL Algorithmen in Ranges

a) **Kopieren Sie alle Starter Pokémon (inkl. Entwicklungen) in einen neuen Vector**
b) **Sortieren Sie diese nun nach Typ**
c) **Finden Sie in dem Vector nun das „beste“ Pokémon**
d) **Zuletzt geben Sie das Pokémon mit der kleinsten und größten ID aus**

pokemon_ranges_q.cpp

Zusatzaufgaben:

pokemon_ranges_q.cpp

Zusatzaufgaben:

 **Kann man irgendwo projections benutzen?**

pokemon_ranges_q.cpp

Zusatzaufgaben:

- **Kann man irgendwo projections benutzen?**
- **Kann man überall projection benutzen?**

pokemon_ranges_q.cpp

Zusatzaufgaben:

- **Kann man irgendwo projections benutzen?**
- **Kann man überall projection benutzen?**
- **Wie sieht es mit der Performance aus?**

pokemon_ranges_q.cpp

```cpp
auto pokemon = get_pokemon();
```

pokemon_ranges_q.cpp

```cpp
auto filter_starter = [](const Pokemon& p) {
    return p.id <= 9;
};
auto sort_id = [](const Pokemon& p1, const Pokemon& p2) {
    return p1.id < p2.id;
};
```

pokemon_ranges_q.cpp

```
auto type_value = [](const Pokemon& p) {
    return p.primaer_typ * 100 + p.sekundaer_typ;
};
auto sort_type = [&type_value](const Pokemon& p1,
    const Pokemon& p2) {
    return type_value(p1) < type_value(p2);
};
auto find_best = [](const Pokemon& p) {
    return p.id == 4;
};
```

pokemon_ranges_q.cpp

Code!

pokemon_views_q.cpp

Aufgabe:
Errechnen Sie das durchschnittliche Entwicklungslevel aller Feuerpokemon

pokemon_views_q.cpp

Aufgabe:
Errechnen Sie das durchschnittliche Entwicklungslevel aller Feuerpokemon

a) **Erstellen Sie zuerst eine View die alle Pokémon mit Primärtyp Feuer enthält**

pokemon_views_q.cpp

Aufgabe:
Errechnen Sie das durchschnittliche Entwicklungslevel aller Feuerpokemon

a) **Erstellen Sie zuerst eine View die alle Pokémon mit Primärtyp Feuer enthält**
b) **Transformieren Sie die View sodass Sie zu jedem Pokémon das Entwicklungslevel erhalten**

pokemon_views_q.cpp

Aufgabe:
Errechnen Sie das durchschnittliche Entwicklungslevel aller Feuerpokemon

a) **Erstellen Sie zuerst eine View die alle Pokémon mit Primärtyp Feuer enthält**
b) **Transformieren Sie die View sodass Sie zu jedem Pokémon das Entwicklungslevel erhalten**
c) **Filtern sie nun alle Pokémon die sich nicht entwickeln**

pokemon_views_q.cpp

Aufgabe:
Errechnen Sie das durchschnittliche Entwicklungslevel aller Feuerpokemon

a) **Erstellen Sie zuerst eine View die alle Pokémon mit Primärtyp Feuer enthält**
b) **Transformieren Sie die View sodass Sie zu jedem Pokémon das Entwicklungslevel erhalten**
c) **Filtern sie nun alle Pokémon die sich nicht entwickeln**
d) **Addieren Sie nun alle Entwicklungslevel und dividieren durch die Anzahl der Pokémon**

pokemon_views_q.cpp

```
auto pokemon = get_pokemon();
auto entwicklungen = get_entwicklung();
```

pokemon_views_q.cpp

Code!

pokemon_evolve_q.cpp

Aufgabe:
Erstellen Sie nun eine View, welche alle gegebenen Pokémon eine Entwicklung „nach vorne“ bewegt

pokemon_evolve_q.cpp

Aufgabe:
Erstellen Sie nun eine View, welche alle gegebenen Pokémon eine Entwicklung „nach vorne“ bewegt

a) **Erstellen Sie ein data_member Struct in der View**

pokemon_evolve_q.cpp

Aufgabe:
Erstellen Sie nun eine View, welche alle gegebenen Pokémon eine Entwicklung „nach vorne“ bewegt

a) **Erstellen Sie ein data_member Struct in der View**
b) **Erstellen Sie die jeweiligen Operatoren für:**
   - ➔ die View
   - ➔ die fn

pokemon_evolve_q.cpp

Aufgabe:
Erstellen Sie nun eine View, welche alle gegebenen Pokémon eine Entwicklung „nach vorne“ bewegt

a) **Erstellen Sie ein data_member Struct in der View**
b) **Erstellen Sie die jeweiligen Operatoren für:**
   - ➔ die View
   - ➔ die fn
c) **Füllen Sie die Methoden begin() und end()**

pokemon_evolve_q.cpp

Aufgabe:
Erstellen Sie nun eine View, welche alle gegebenen Pokémon eine Entwicklung „nach vorne“ bewegt

a) **Erstellen Sie ein data_member Struct in der View**
b) **Erstellen Sie die jeweiligen Operatoren für:**
   - ➔ die View
   - ➔ die fn
c) **Füllen Sie die Methoden begin() und end()**
d) **Nutzen Sie die View mithilfe von Pipes**

pokemon_evolve_q.cpp

```
auto pokemon = get_pokemon();
auto entwicklungen = get_entwicklung();
```

Tipps

Schauen wir uns die gegebenen Daten an:

Pokemon

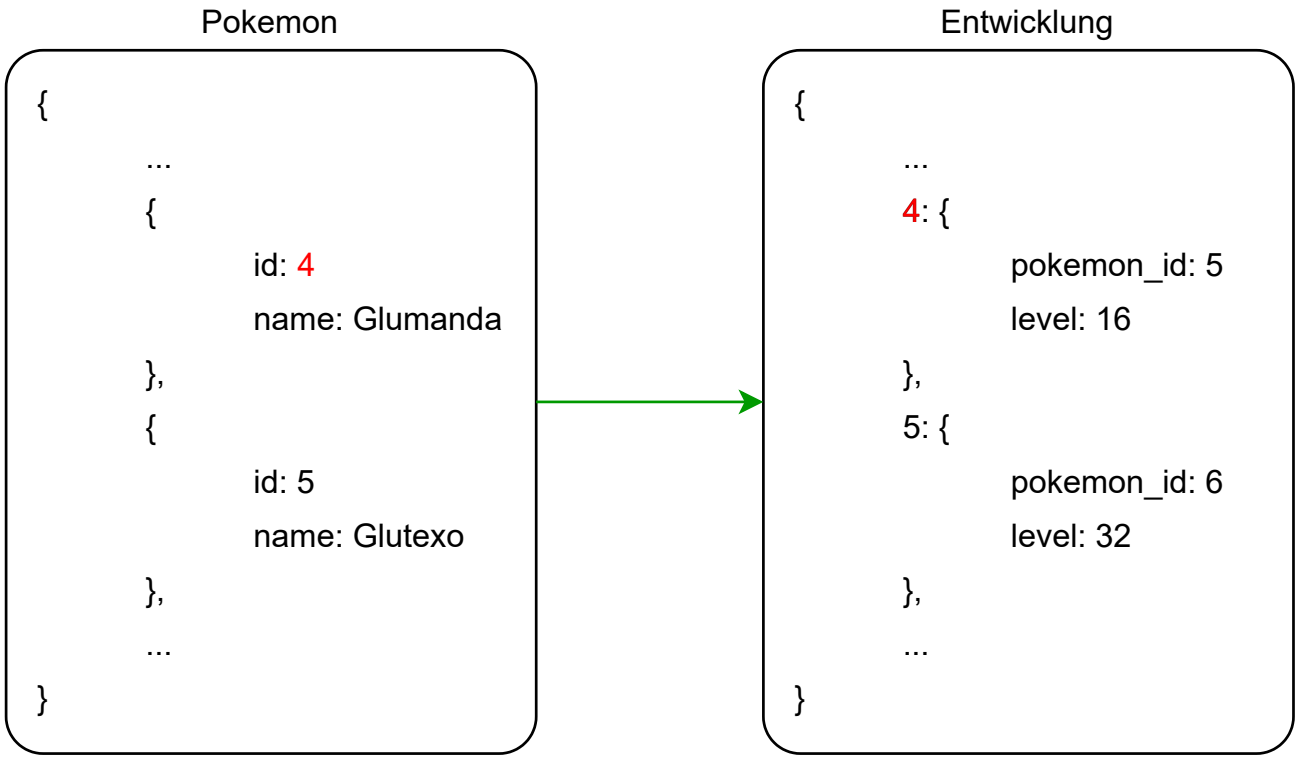
```
{
        ...
        {
                id: 4
                name: Glumanda
        },
        {
                id: 5
                name: Glutexo
        },
        ...
}
```

Entwicklung

```
{
        ...
        4: {
                pokemon_id: 5
                level: 16
        },
        5: {
                pokemon_id: 6
                level: 32
        },
        ...
}
```

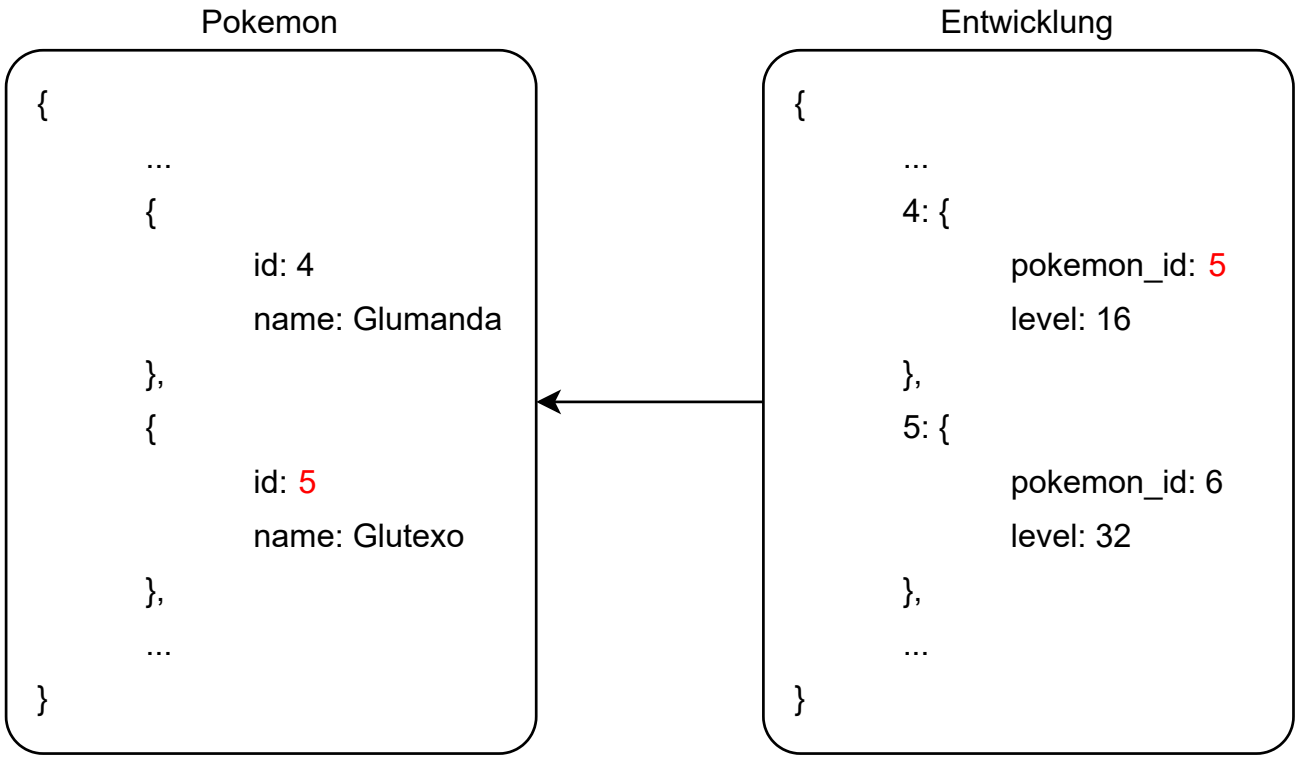
Tipps

Zuerst vergleichen wir die n-te `Pokemon.id` mit `Entwicklung.von`:



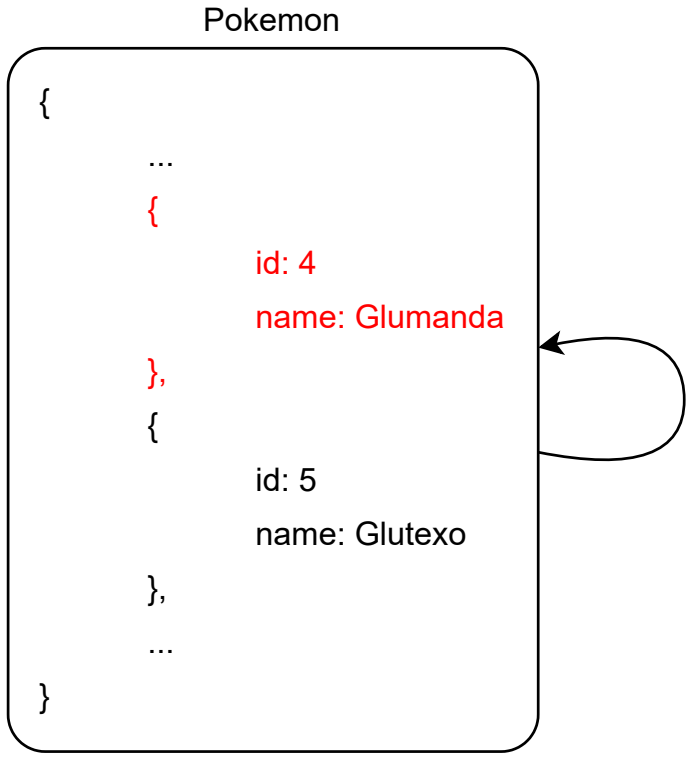
Tipps

Die erhaltene `Entwicklung.zu` finden wir in `Pokemon.id`:



Tipps

Nun überschreiben wir das n-te Pokémon mit seiner Entwicklung:



Tipps

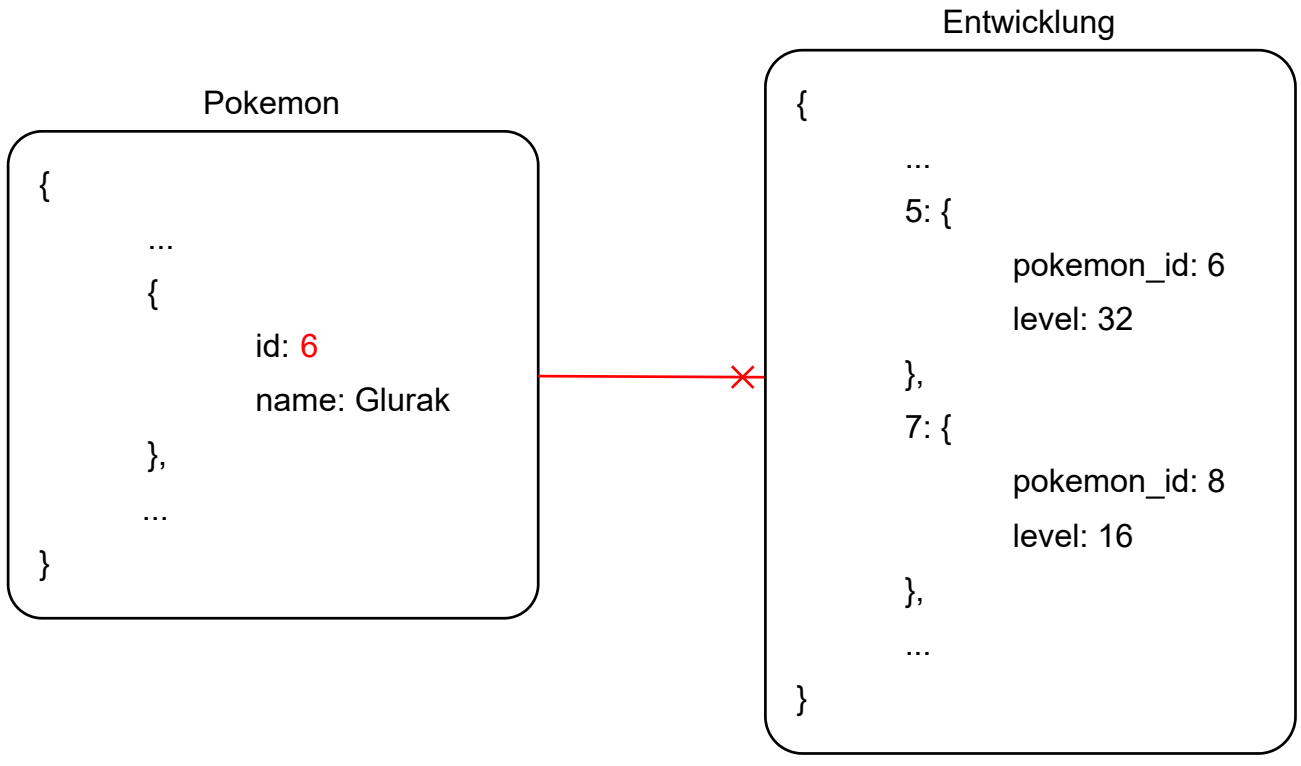
Und erhalten:

Pokemon

```
{
        ...
        {
                id: 5
                name: Glutexo
        },
        {
                id: 5
                name: Glutexo
        },
        ...
}
```

Tipps

Sollten wir das n-te Pokémon nicht finden:



Tipps

entfernen wir dieses aus unserer View:

Pokemon

```
{
        ...
        {
                id: 6
                name: Glurak
        },
        ...
}
```

pokemon_evolve_q.cpp

Code!

Quellen I

https://en.cppreference.com/
https://de.wikipedia.org/wiki/Iterator
https://hannes.hauswedell.net/post/2018/04/11/view1/
https://mariusbancila.ro/blog/2020/06/06/a-custom-cpp20-range-view/
https://hannes.hauswedell.net/post/2019/11/30/range_intro/
https://github.com/ericniebler/range-v3
https://www.heise.de/developer/artikel/C-20-Die-Ranges-Bibliothek-4661566.html
https://www.stackoverflow.com/
https://mariusbancila.ro/blog/2019/01/20/cpp-code-samples-before-and-after-ranges/
https://www.internalpointers.com/post/writing-custom-iterators-modern-cpp

Quellen II

https://paddel.xyz/
https://github.com/pblan/matse-spicker-db

cppcon:
https://www.youtube.com/watch?v=SYLgG7Q5Zws
https://www.youtube.com/watch?v=d_E-VLyUnzc
https://www.youtube.com/watch?v=vJ290qlAbbw

Felix Racz, Tim Wende –

RWTH Aachen University
Templergraben 55
52056 Aachen

https://www.github.com/tmwnd/adv_cpp_seminar