# 18. Structs und Klassen I

Rationale Zahlen, Struct-Definition, Funktions- und Operatorüberladung, Const-Referenzen, Datenkapselung



## Rechnen mit rationalen Zahlen

- Rationale Zahlen ($\mathbb{Q}$) sind von der Form $\frac{n}{d}$ mit $n$ und $d$ in $\mathbb{Z}$
- C++hat keinen „eingebauten” Typ für rationale Zahlen

**Ziel**

Wir bauen uns selbst einen C++-Typ für rationale Zahlen! ☺



## Vision

So könnte (wird) es aussehen

```
// input
std::cout << "Rational number r =? ";
rational r;
std::cin >> r;
std::cout << "Rational number s =? ";
rational s;
std::cin >> s;

// computation and output
std::cout << "Sum is " << r + s << ".\n";
```



## Ein erstes Struct

*Invariante:* spezifiziert gültige Wertkombinationen (informell).

```
struct rational {
  int n;
  int d; // INV: d != 0
};
```

Member-Variable (**n**umerator)

Member-Variable (**d**enominator)

- `struct` definiert einen neuen *Typ*
- Formaler Wertebereich: *kartesisches Produkt* der Wertebereiche existierender Typen
- Echter Wertebereich: `rational` $\subsetneq$ `int` $\times$ `int`.

## Zugriff auf Member-Variablen

```
struct rational {
    int n;
    int d; // INV: d != 0
};

rational add (rational a, rational b)
{
    rational result;
    result.n = a.n * b.d + a.d * b.n;
    result.d = a.d * b.d;
    return result;
}
```

$$\frac{r_n}{r_d} := \frac{a_n}{a_d} + \frac{b_n}{b_d} = \frac{a_n \cdot b_d + a_d \cdot b_n}{a_d \cdot b_d}$$



## Ein erstes Struct: Funktionalität

Ein `struct` definiert einen *Typ*, keine *Variable*!

```
// new type rational
struct rational {
   int n;
   int d; // INV: d != 0
};

// POST: return value is the sum of a and b
rational add (const rational a, const rational b)
{
  rational result;
  result.n =  a.n * b.d +  a.d * b.n;
  result.d = a.d * b.d;
  return result;
}
```

Bedeutung: jedes Objekt des neuen Typs ist durch zwei Objekte vom Typ `int` repräsentiert, die die Namen `n` und `d` tragen.

*Member-Zugriff* auf die `int`-Objekte von `a`.



## Eingabe

```
// Input r
rational r;
std::cout << "Rational number r:\n";
std::cout << " numerator =? ";
std::cin >> r.n;
std::cout << " denominator =? ";
std::cin >> r.d;

// Input s the same way
rational s;
...
```

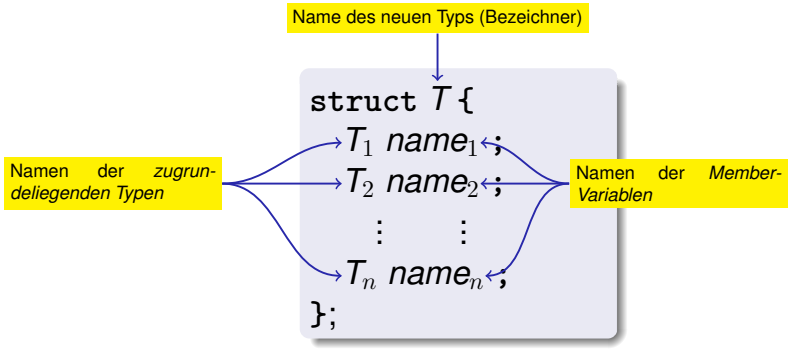


## Vision in Reichweite ...

```
// computation
const rational t = add (r, s);

// output
std::cout << "Sum is " << t.n << "/" << t.d << ".\n";
```

## Struct-Definitionen




Wertebereich von $T$: $T_1 \times T_2 \times \ldots \times T_n$



## Struct-Definitionen: Beispiele

```
struct rational_vector_3 {
  rational x;
  rational y;
  rational z;
};
```

Zugrundeliegende Typen können fundamentale aber auch benutzerdefinierte Typen sein.



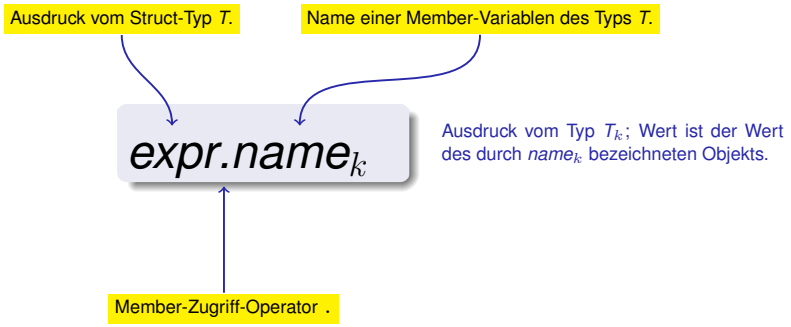
## Struct-Definitionen: Beispiele

```
struct extended_int {
  // represents value if is_positive==true
  // and -value otherwise
  unsigned int value;
  bool is_positive;
};
```

Die zugrundeliegenden Typen können natürlich auch verschieden sein.



## Structs: Member-Zugriff



## Structs: Initialisierung und Zuweisung

Default-Initialisierung:

```
rational t;
```

- Member-Variablen von `t` werden default-initialisiert
- für Member-Variablen fundamentaler Typen passiert dabei nichts (Wert undefiniert)



## Structs: Initialisierung und Zuweisung

Initialisierung:

```
rational t = {5, 1};
```

- Member-Variablen von `t` werden mit den Werten der Liste, entsprechend der Deklarationsreihenfolge, initialisiert.



## Structs: Initialisierung und Zuweisung

Zuweisung:

```
rational s;
...
rational t = s;
```

- Den Member-Variablen von `t` werden die Werte der Member-Variablen von `s` zugewiesen.



## Structs: Initialisierung und Zuweisung

```
t.n      = add (r, s).n ;
t.d             .d
```

Initialisierung:

```
rational t = add (r, s);
```

- `t` wird mit dem Wert von `add(r, s)` initialisiert

## Structs: Initialisierung und Zuweisung

Zuweisung:

```
rational t;
t = add (r, s);
```

- `t` wird default-initialisiert
- Der Wert von `add (r, s)` wird `t` zugewiesen



## Structs: Initialisierung und Zuweisung

```
rational s;
```
← Member-Variablen uninitialisiert (wird sich bald ändern)

```
rational t = {1,5};
```
← *Memberweise* Initialisierung: `t.n = 1, t.d = 5`

```
rational u = t;
```
← Memberweise Kopie

```
t = u;
```
← Memberweise Kopie

```
rational v = add (u,t);
```
← Memberweise Kopie



## Structs vergleichen?

Für jeden fundamentalen Typ (`int`, `double`, ...) gibt es die Vergleichsoperatoren `==` und `!=` , aber nicht für Structs! Warum?

- Memberweiser Vergleich ergibt im allgemeinen keinen Sinn,...
- ...denn dann wäre z.B. $\frac{2}{3} \neq \frac{4}{6}$



## Structs als Funktionsargumente

```
void increment(rational dest, const rational src)
{
    dest = add (dest, src); // veraendert nur lokale Kopie
}
```

Call by Value !

```
rational a;
rational b;
a.d = 1; a.n = 2;
b = a;
increment (b, a); // kein Effekt!
std::cout << b.n << "/" << b.d; // 1 / 2
```

## Structs als Funktionsargumente

```
void increment(rational & dest, const rational src)
{
    dest = add (dest, src);
}
```

Call by Reference

```
rational a;
rational b;
a.d = 1; a.n = 2;
b = a;
increment (b, a);
std::cout << b.n << "/" << b.d; // 2 / 2
```



## Benutzerdefinierte Operatoren

Statt

```
rational t = add(r, s);
```

würden wir lieber

```
rational t = r + s;
```

schreiben.

Das geht mit *Operator-Überladung*.



## Überladen von Funktionen

- Funktionen sind durch Ihren Namen im Gültigkeitsbereich ansprechbar
- Es ist sogar möglich, mehrere Funktionen des gleichen Namens zu definieren und zu deklarieren
- Die „richtige” Version wird aufgrund der *Signatur* der Funktion ausgewählt



## Funktionsüberladung

- Eine Funktion ist bestimmt durch Namen, Typen, Anzahl und Reihenfolge der Argumente

```
double sq (double x) { ... }          // f1
int sq (int x) { ... }                // f2
int pow (int b, int e) { ... }        // f3
int pow (int e) { return pow (2,e); } // f4
```

- Der Compiler wählt bei einem Funktionsaufruf automatisch die Funktion, welche „am besten passt” (wir vertiefen das nicht)

```
std::cout << sq (3);     // Compiler wählt f2
std::cout << sq (1.414); // Compiler wählt f1
std::cout << pow (2);    // Compiler wählt f4
std::cout << pow (3,3);  // Compiler wählt f3
```

## Operator-Überladung (Operator Overloading)

- Operatoren sind spezielle Funktionen und können auch überladen werden
- Name des Operators *op*:

```
operatorop
```

- Wir wissen schon, dass z.B. `operator+` für verschiedene Typen existiert



## `rational` addieren, bisher

```
// POST: return value is the sum of a and b
rational add (rational a, rational b)
{
    rational result;
    result.n = a.n * b.d + a.d * b.n;
    result.d = a.d * b.d;
    return result;
}
...
const rational t = add (r, s);
```



## `rational` addieren, neu

```
// POST: return value is the sum of a and b
rational operator+ (rational a, rational b)
{
    rational result;
    result.n = a.n * b.d + a.d * b.n;
    result.d = a.d * b.d;
    return result;
}
...
const rational t = r + s;
```

Infix-Notation



## Andere binäre Operatoren für rationale Zahlen

```
// POST: return value is difference of a and b
rational operator- (rational a, rational b);

// POST: return value is the product of a and b
rational operator* (rational a, rational b);

// POST: return value is the quotient of a and b
// PRE: b != 0
rational operator/ (rational a, rational b);
```

## Unäres Minus

Hat gleiches Symbol wie binäres Minus, aber nur ein Argument:

```
// POST: return value is -a
rational operator- (rational a)
{
    a.n = -a.n;
    return a;
}
```



## Vergleichsoperatoren

Sind für Structs nicht eingebaut, können aber definiert werden:

```
// POST: returns true iff a == b
bool operator== (rational a, rational b)
{
    return a.n * b.d == a.d * b.n;
}
```

$$\frac{2}{3} = \frac{4}{6} \quad \checkmark$$



## Arithmetische Zuweisungen

Wir wollen z.B. schreiben

```
rational r;
r.n = 1; r.d = 2;                    // 1/2

rational s;
s.n = 1; s.d = 3;                    // 1/3

r += s;
std::cout << r.n << "/" << r.d;      // 5/6
```



## Operator+= Erster Versuch

```
rational operator+= (rational a, rational b)
{
    a.n = a.n * b.d + a.d * b.n;
    a.d *= b.d;
    return a;
}
```

Das funktioniert nicht! Warum?

- Der Ausdruck `r += s` hat zwar den gewünschten Wert, weil die Aufrufargumente R-Werte sind (call by value!) jedoch nicht den gewünschten Effekt der Veränderung von `r`.
- Das Resultat von `r += s` stellt zudem entgegen der Konvention von C++ keinen L-Wert dar.

## Operator +=

```
rational& operator+= (rational& a, rational b)
{
    a.n = a.n * b.d + a.d * b.n;
    a.d *= b.d;
    return a;
}
```

*Das* funktioniert!

- Der L-Wert `a` wird um den Wert von `b` erhöht und als L-Wert zurückgegeben.

`r += s;` hat nun den gewünschten Effekt.



## Ein-/Ausgabeoperatoren

können auch überladen werden.

- Bisher:

```
std::cout << "Sum is "
          << t.n << "/" << t.d << "\n";
```

- Neu (gewünscht):

```
std::cout << "Sum is "
          << t << "\n";
```



## Ein-/Ausgabeoperatoren

können auch überladen werden wie folgt:

```
// POST: r has been written to out
std::ostream& operator<< (std::ostream& out,
                          rational r)
{
    return out << r.n << "/" << r.d;
}
```

schreibt `r` auf den Ausgabestrom
und gibt diesen als L-Wert zurück



## Eingabe

```
// PRE: in starts with a rational number
// of the form "n/d"
// POST: r has been read from in
std::istream& operator>> (std::istream& in,
                          rational& r)
{
    char c; // separating character '/'
    return in >> r.n >> c >> r.d;
}
```

liest `r` aus dem Eingabestrom
und gibt diesen als L-Wert zurück.

## Ziel erreicht!

```
// input
std::cout << "Rational number r =? ";
rational r;
std::cin >> r;

std::cout << "Rational number s =? ";
rational s;
std::cin >> s;

// computation and output
std::cout << "Sum is " << r + s << ".\n";
```

operator >>

operator +

operator<<



## Zur Erinnerung: Grosse Objekte ...

```
struct SimulatedCPU {
    unsigned int pc;
    int stack[16];
    unsigned int stackPosition;
    unsigned int memory[65536];
};

void outputState (SimulatedCPU p) {
    std::cout << "pc=" << p.pc;
    std::cout << ", stack: ";
    for (unsigned int i = p.stackPosition; i != 0; --i)
        std::cout << p.stack[i-1];
}
```

Call by value: mehr als 256k werden kopiert!



## ... übergibt man als Const-Referenz

```
struct SimulatedCPU {
    unsigned int pc;
    int stack[16];
    unsigned int stackPosition;
    unsigned int memory[65536];
};

void outputState (const SimulatedCPU& p) {
    std::cout << "pc=" << p.pc;
    std::cout << ", stack: ";
    for (int i = p.stackPosition; i != 0; --i)
        std::cout << p.stack[i-1];
}
```

Call by reference: nur eine Adresse wird kopiert.



## Ein neuer Typ mit Funktionalität...

```
struct rational {
    int n;
    int d; // INV: d != 0
};

// POST: return value is the sum of a and b
rational operator+ (rational a, rational b)
{
    rational result;
    result.n = a.n * b.d + a.d * b.n;
    result.d = a.d * b.d;
    return result;
}
...
```

## . . . gehört in eine Bibliothek!

`rational.h:`

- Definition des Structs `rational`
- Funktionsdeklarationen

`rational.cpp:`

- Arithmetische Operatoren (`operator+`, `operator+=`, ...)
- Relationale Operatoren (`operator==`, `operator>`, ...)
- Ein-/Ausgabe (`operator >>`, `operator <<`, ...)



## Gedankenexperiment

Die drei Kernaufgaben der ETH:

- Forschung
- Lehre
- Technologietransfer

Wir gründen die Startup-Firma RAT PACK®!

- Verkauf der `rational`-Bibliothek an Kunden
- Weiterentwicklung nach Kundenwünschen



## Der Kunde ist zufrieden

. . . und programmiert fleissig mit `rational`.

- Ausgabe als `double`-Wert $(\frac{3}{5} \to 0.6)$

```
// POST: double approximation of r
double to_double (rational r)
{
  double result = r.n;
  return result / r.d;
}
```



## Der Kunde will mehr

"Können wir rationale Zahlen mit erweitertem Wertebereich bekommen?"

- Klar, kein Problem, z.B.:

```
struct rational {
  int n;
  int d;
};
```

$\Rightarrow$

```
struct rational {
  unsigned int n;
  unsigned int d;
  bool is_positive;
};
```

## Neue Version von RAT PACK®

*Nichts geht mehr!*

- Was ist denn das Problem?

*$-\frac{3}{5}$ ist jetzt manchmal $0.6$, das kann doch nicht sein!*

- Daran ist wohl Ihre Konversion nach `double` schuld, denn unsere Bibliothek ist korrekt.

*Bisher funktionierte es aber, also ist die neue Version schuld!*



## Schuldanalyse

```
// POST: double approximation of r
double to_double (rational r){
  double result = r.n;
  return result / r.d;
}
```

`r.is_positive` und `result.is_positive` kommen nicht vor.

Korrekt mit...

```
struct rational {
  int n;
  int d;
};
```

...aber nicht mit

```
struct rational {
  unsigned int n;
  unsigned int d;
  bool is_positive;
};
```



## Wir sind schuld!

- Kunde sieht und benutzt unsere Repräsentation rationaler Zahlen (zu Beginn `r.n, r.d`)
- Ändern wir sie (`r.n, r.d, r.is_positive`), funktionieren Kunden-Programme nicht mehr.
- Kein Kunde ist bereit, bei jeder neuen Version der Bibliothek seine Programme anzupassen.

$\Rightarrow$ RAT PACK® ist Geschichte...



## Idee der Datenkapselung (Information Hiding)

- Ein Typ ist durch *Wertebereich* und *Funktionalität* eindeutig definiert.
- Die Repräsentation soll nicht sichtbar sein.
- $\Rightarrow$ Dem Kunden wird keine Repräsentation, sondern Funktionalität angeboten.

`str.length(), v.push_back(1),...`

## Klassen

- sind das Konzept zur Datenkapselung in C++
- sind eine Variante von Structs
- gibt es in vielen objektorientierten Programmiersprachen



## Datenkapselung: `public` / `private`

```
class rational {
  int n;
  int d; // INV: d != 0
};
```

Wird statt `struct` verwendet, wenn überhaupt etwas "versteckt" werden soll.

*Einziger* Unterschied:

- `struct`: standardmässig wird *nichts* versteckt
- `class` : standardmässig wird *alles* versteckt