19. Klassen

Funktions- und Operatorüberladung, Datenkapselung, Klassen, Memberfunktionen, Konstruktoren

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*:

```
operator op
```

- 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;
```

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;
}
```

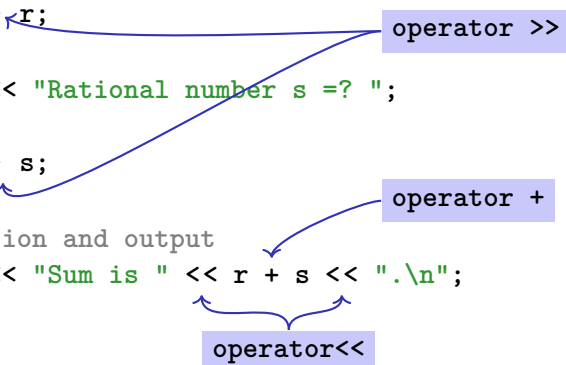
liest **r** aus dem Eingabestrom
und gibt diesen als L-Wert zurück.

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";
```



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`.

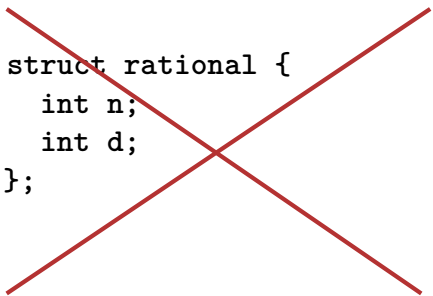
- Ausgabe als `double`-Wert $(\frac{3}{5} \to 0.6)$

```
// 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 {
  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;
};
```

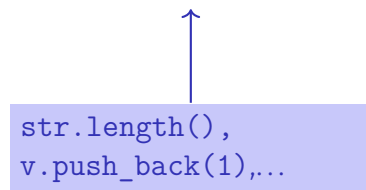
Wir sind schuld!

- 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.



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

Datenkapselung: `public` / `private`

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

Gute Nachricht: `r.d = 0` aus Versehen geht nicht mehr

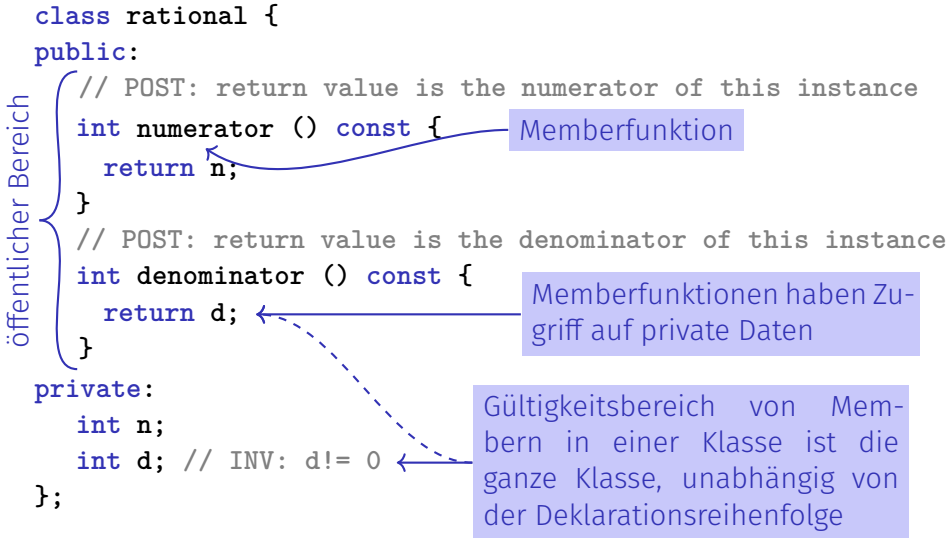
Schlechte Nachricht: Der Kunde kann nun gar nichts mehr machen …

…und wir auch nicht
(kein `operator+`,…)

Anwendungscode:

```
rational r;
r.n = 1;      // error: n is private
r.d = 2;      // error: d is private
int i = r.n; // error: n is private
```

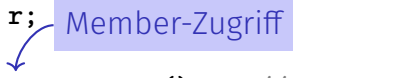
Memberfunktionen: Deklaration



Memberfunktionen: Aufruf

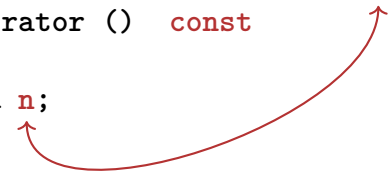
```
// Definition des Typs
class rational {
    ...
};
...
// Variable des Typs
rational r;

int n = r.numerator();   // Zaehler
int d = r.denominator(); // Nenner
```



Memberfunktionen: Definition

```
// POST: returns  numerator of this instance
int numerator ()  const
{
  return n;
}
```



- Eine Memberfunktion wird *für* einen Ausdruck der Klasse aufgerufen. In der Funktion: `this` ist der Name dieses *impliziten Arguments*. **`this`** selbst ist ein Zeiger darauf.
- Das *const* bezieht sich auf die Instanz **`this`**, verspricht also, dass das implizite Argument nicht im Wert verändert wird.
- **`n`** ist Abkürzung in der Memberfunktion für **`this->n`** (genaue Erklärung von „**`->`**“ nächste Woche)

`const` und Memberfunktionen

```
class rational {
public:
  int numerator () const
  { return n; }
  void set_numerator (int N)
  { n = N;}
...
}
```

```
rational x;
x.set_numerator(10); // ok;
const rational y = x;
int n = y.numerator(); // ok;
y.set_numerator(10); // error;
```

Das **`const`** an einer Memberfunktion liefert das Versprechen, dass eine Instanz nicht über diese Funktion verändert wird.
`const` Objekte dürfen nur **`const`** Memberfunktionen aufrufen!

This rational vs. dieser Bruch

So wäre es **in etwa** ...

```
class rational {
    int n;
    ...
public:
    int numerator () const
    {
        return this->n;
    }
};

rational r;
...
std::cout << r.numerator();
```

... ohne Memberfunktionen

```
struct bruch {
    int n;
    ...
};

int numerator (const bruch& dieser)
{
    return dieser.n;
}

bruch r;
..
std::cout << numerator(r);
```

Member-Definition: In-Class vs. Out-of-Class

```
class rational {
    int n;
    ...
public:
    int numerator () const
    {
        return n;
    }
    ....
};
```

- Keine Trennung zwischen Deklaration und Definition (schlecht für Bibliotheken)

```
class rational {
    int n;
    ...
public:
    int numerator () const;
    ...
};

int rational::numerator () const
{
  return n;
}
```

- So geht's auch.

Konstruktoren

- sind spezielle *Memberfunktionen* einer Klasse, die den Namen der Klasse tragen.
- können wie Funktionen überladen werden, also in der Klasse mehrfach, aber mit verschiedener *Signatur* vorkommen.
- werden bei der Variablendeklaration wie eine Funktion aufgerufen. Der Compiler sucht die „naheliegendste“ passende Funktion aus.
- wird kein passender Konstruktor gefunden, so gibt der Compiler eine *Fehlermeldung* aus.

Initialisierung? Konstruktoren!

```
class rational
{
public:
    rational (int num, int den)
        : n (num), d (den)
    {
        assert (den != 0);
    }
...
};
...
rational r (2,3); // r = 2/3
```

Initialisierung der Membervariablen

Funktionsrumpf.

Konstruktoren: Aufruf

- direkt

```
rational r (1,2); \small // initialisiert r mit 1/2
```

- indirekt (Kopie)

```
rational r = rational (1,2);
```

Initialisierung “rational = int”?

```
class rational
{
public:
    rational (int num)
       : n (num), d (1)
    {}   ←——— Leerer Funktionsrumpf
...
};
...
rational r (2); // Explizite Initialisierung mit 2
rational s = 2; // Implizite Konversion
```

Der Default-Konstruktor

```
class rational
{
public:
    ...
    rational ()
       : n (0), d (1)
    {}
...
};
...
rational r;   // r = 0
```

Leere Argumentliste

⇒ Es gibt keine uninitialisierten Variablen vom Typ rational mehr!

Alternative: Default-Konstruktor löschen

```
class rational
{
public:
    ...
    rational () = delete;
...
};
...
rational r;   // error:  use of deleted function 'rational::rational()
```

$\Rightarrow$ Es gibt keine uninitialisierten Variablen vom Typ rational mehr!

Benutzerdefinierte Konversionen

sind definiert durch Konstruktoren mit genau *einem* Argument

```
rational (int num)
    : n (num), d (1)
  {}
```

Benutzerdefinierte Konversion von **int** nach **rational**. Damit wird **int** zu einem Typ, dessen Werte nach **rational** konvertierbar sind.

```
rational r = 2; // implizite Konversion
```

Der Default-Konstruktor

- wird automatisch aufgerufen bei Deklarationen der Form `rational r;`
- ist der eindeutige Konstruktor mit leerer Argumentliste (falls existent)
- muss existieren, wenn `rational r;` kompilieren soll
- wenn in einem Struct keine Konstruktoren definiert wurden, wird der Default-Konstruktor automatisch erzeugt (wegen der Sprache C)

RAT PACK® Reloaded ...

Kundenprogramm sieht nun so aus:

```
// POST: double approximation of r
double to_double (const rational r)
{
  double result = r.numerator();
  return result / r.denominator();
}
```

- Wir können die Memberfunktionen zusammen mit der Repräsentation anpassen. ✓

RAT PACK® Reloaded ...

vorher

```
class rational {
...
private:
  int n;
  int d;
};
```

```
int numerator () const
{
  return n;
}
```

---

nachher

```
class rational {
...
private:
  unsigned int n;
  unsigned int d;
  bool is_positive;
};
```

```
int numerator () const{
  if (is_positive)
    return n;
  else {
    int result = n;
    return -result;
  }
}
```

RAT PACK® Reloaded ?

```
class rational {
...
private:
  unsigned int n;
  unsigned int d;
  bool is_positive;
};
```

```
int numerator () const
{
  if (is_positive)
    return n;
  else {
    int result = n;
    return -result;
  }
}
```

- Wertebereich von Zähler und Nenner wieder wie vorher
- Dazu noch möglicher Überlauf

Datenkapselung noch unvollständig

Die Sicht des Kunden (`rational.h`):

```
class rational {
public:
   // POST: returns numerator of *this
   int numerator () const;
   ...
private:
  // none of my business
};
```

- Wir legen uns auf Zähler-/Nennertyp `int` fest.
- Lösung: Nicht nur Daten, auch Typen kapseln.

Fix: „Unser“ Typ `rational::integer`

Die Sicht des Kunden (`rational.h`):

```
public:
   using integer = long int; // might change
   // POST: returns numerator of *this
   integer numerator () const;
```

- Wir stellen einen eigenen Typ zur Verfügung!
- Festlegung nur auf **Funktionalität**, z.B.:
  - implizite Konversion `int` → `rational::integer`
  - Funktion `double to_double (rational::integer)`

RAT PACK® Revolutions

Endlich ein Kundenprogramm, das stabil bleibt:

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

Deklaration und Definition getrennt

```
class rational {
public:
   rational (int num, int denum);
   using integer = long int;
   integer numerator () const;
   ...
private:
 ...
};
```

rational.h

```
rational::rational (int num, int den):
    n (num), d (den) {}
rational::integer rational::numerator () const
{
    return n;
}
```

rational.cpp

Klassenname :: Membername