# 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*:

```
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;
```

# 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;
}
```

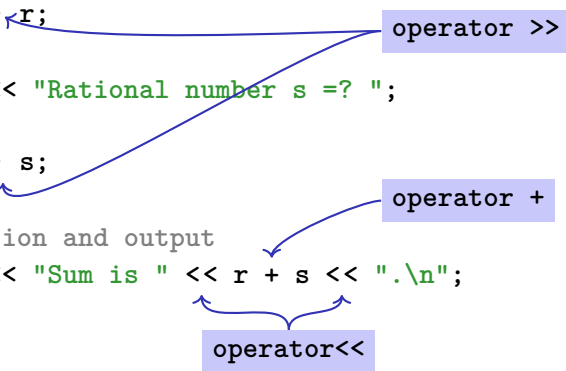
liest `r` aus dem Eingabestrom
und gibt diesen als L-Wert zurück.

# 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 <<`, …)

# Invarianten und Repräsentation

- Wollen für eine Datenstruktur Invarianten garantieren, ohne den Benutzercode mit Asserts zu übersähen.

  Beispiel 1: Für jedes `Rational r` gilt stets $r.d \neq 0$.
  Beispiel 2: Jedes `Rational r` ist stets gekürzt.

- Liefern dem Benutzer das „was” und nicht das „wie”.

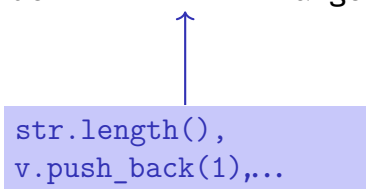
  `Vector v`: `v.size()`, `v[3]`

- Die interne Darstellung sollte einfach anzupassen sein, ohne dass Benutzercode neu geschrieben werden muss.

  `Complex`: Polarkoordinaten vs. kartesische Koordinaten

# Idee der Datenkapselung (Information Hiding)

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



# Klassen

- sind das Konzept zur Datenkapselung in $\mathrm{C}{+}{+}$
- 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
};
```

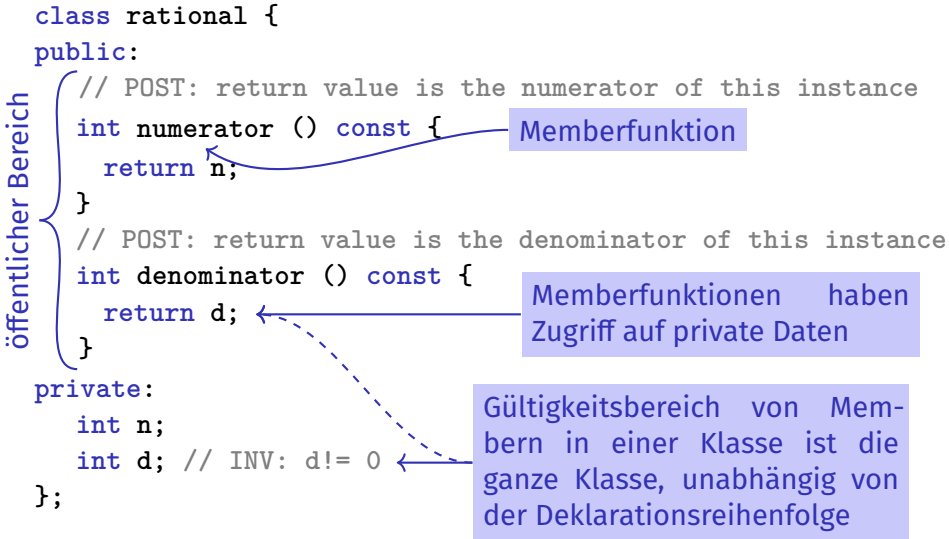
Gute Nachricht: `r.d = 0` aus Versehen geht nicht mehr

Schlechte Nachricht: wir können gar nichts mehr machen …

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
```

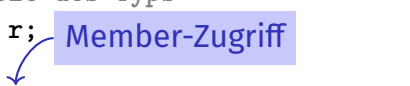
# Memberfunktionen: Deklaration



# Memberfunktionen: Aufruf

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

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



# `const` und Memberfunktionen

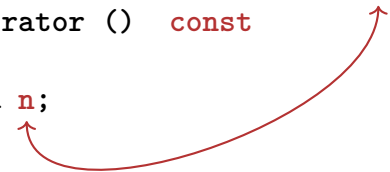
```
class rational {
public:
  int numerator () const
  { return n; }
  void set_numerator (int N)
  { n = N;}
...
}
```

```
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!

# 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)

# 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);
```

# 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 = rational(2,3); // r = 2/3
```

Initialisierung der Membervariablen

Funktionsrumpf.

# Konstruktoren: Aufruf

- direkt

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

- indirekt (Kopie)

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

# Der Default-Konstruktor

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

Leere Argumentliste

⇒ Es gibt keine uninitialisierten Variablen vom Typ rational mehr!

# 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)

# Objektinitialisierung in C++

- Aus technischen und historischen Gründen gibt es in C++ verschiedene Formen der Objektinitialisierung, die sich in Syntax und Semantik unterscheiden. Die Initialisierung eines neuen Objekts $t$ vom Typ $T$ kann daher potenziell wie folgt erfolgen:
  - $T\ t$`(...);`
  - $T\ t$`{...};`
  - $T\ t$ `=` $T$`(...);`
  - $T\ t$ `=` $T$`{...};`
  - $T\ t$ `= {...};`
- Wichtig: Bei allen Formen handelt es sich um Initialisierungen, nicht um Zuweisungen und $T\ t$ `= ...;` ist nicht äquivalent zu $T\ t$`;` $t$ `= ...;`
- Die Varianten mit = sind mit dynamischer Speicherallokation (`new`) kombinierbar
- Bei Interesse können Sie hier mehr erfahren:
  - `https://en.cppreference.com/w/cpp/language/initialization`
  - `https://isocpp.org/wiki/faq/cpp11-language#uniform-init`
  - `https://github.com/isocpp/CppCoreGuidelines/blob/master/CppCoreGuidelines.md#Res-list`
  - `https://quuxplusone.github.io/blog/2019/02/18/knightmare-of-initialization`

# Objektinitialisierung in diesem Kurs: Hintergrund

- Ziel dieses Kurses ist nicht, Sie zu C++-Experten auszubilden, sondern Ihnen Programmiergrundlagen zu vermitteln, die allgemein relevant sind und sich – möglichst direkt – auf andere Sprachen übertragen lassen
- Wir verwenden daher drei Syntaxvarianten, jede in einer bestimmten Situation
- Dabei haben wir uns von folgenden, nicht immer gleichzeitig erreichbaren Zielen leiten lassen:

1. Übertragbarkeit: Die Syntax sollte derer anderer populärer Sprachen, z.B. Python, Java, Go, JavaScript, möglichst ähneln
2. Einheitlichkeit: Je weniger Syntaxen verwendet werden, desto geringer das Potenzial für Verwirrung
3. Stabilität: Kleine Änderungen (z.B. Hinzufügen eines expliziten Konstruktors) sollte keine unerwarteten Probleme nachsichziehen (z.B. weil der Compiler nun bestimmte Konstruktoren nicht mehr erstellt)
4. Zweckmässigkeit: Bestimmte Formen sind, in manchen Situationen, besonders intuitiv & praktisch
5. Idiomatisch: Der resultierende Code sollte realistischer C++-Code sein

# Objektinitialisierung in diesem Kurs: Konventionen

1. Für primitive Datentypen (`int`, `bool`, `double`, ...) und Initialisierung mittels Literalen verwenden wir *Copy Initialisation*. Beispiele:

```
int i = 5;
std::string s = "I am literally a string, folks!";
```

2. Für die komponentenweise Initialisierung von Containern (z.B. `vector`; demnächst mehr) und simplen Datentypen mit ausschliesslich öffentlichen Membervariablen (z.B. `struct rational` auf Folie 506) nutzen wir *List Initialisation* bzw. *Aggregate Initialisation*. Beispiele:

```
std::vector<char> vowels = {'A', 'E', 'I', 'O', 'U'};
rational half = {1, 2};
```

# Objektinitialisierung in diesem Kurs: Konventionen

3. In den verbleibenden Fällen, z.B. für `struct rational` mit privaten Membervariablen auf Folie 554, nutzen wir *Copy Initialisation* mittels expliziter Konstruktoraufrufe in Funktionsaufrufsyntax. Beispiele:

```
rational half = rational(1,2);
std::vector<int> empty = std::vector<int>(7, 0); // vector with seven zeroes

// 'auto' fits in nicely, and avoids having to repeat types
auto half = rational(1,2);
auto empty = std::vector<int>(7, 0);
```

# Objektinitialisierung in diesem Kurs: Konventionen

4. Ausnahme: Initialisierung von Membervariablen in Konstruktordefinitionen (*member initialiser lists*). Beispiel:

```
class rational {
    ...
    rational(int n, int d): num(n), den(d) {...}
}
```

Keine der hier erlaubten Syntaxformen – $t$`(...)` und $t$`{...}` – ist ideal und wir haben uns daher relativ beliebig für die runden Klammern entschieden.

# Objektinitialisierung: Abschluss

Keine Panik!

- Sie müssen weder die Gründe für, noch die Unterschiede zwischen den einzelnen Initialisierungsformen kennen
- Auch die Namen der unterschiedlichen Initialisierungsformen müssen Sie nicht kennen
- Es reicht, wenn Sie Objektinitialisierung auf dem Niveau der Vorlesungsbeispiele und Übungsaufgaben verstehen
- Sie müssen sich nicht an unsere Konventionen halten und dürfen andere Formen der Objektinitialisierung nutzen

# 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!

# Initialisierung “rational = int”?

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

# Benutzerdefinierte Konversionen

sind definiert durch Konstruktoren mit genau einem Argument.

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

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

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

# Benutzerdefinierte Konversionen

Wie kann man implizite Konversion von `rational` nach `double` realisieren?

- Problem: `double` ist kein Struct (keine Klasse), wir können dem Typ keinen Konstruktor „verpassen“ (gilt auch für alle anderen Zieltypen, die nicht „uns“ gehören)
- Lösung: wir bringen unserem Typ `rational` die Konversion nach `double` bei (als Member-Funktion):

```
struct rational{
    ...
    operator double ()
    {
        return double (n)/d;
    }
};

rational a(1,2);
double b = a;  // implizite Konversion
```

impliziter Rückgabetyp `double`

# 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.