17. 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

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

```
// 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

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

Ein erstes Struct

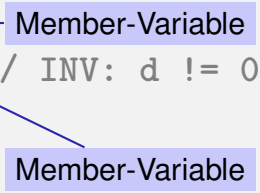
```
struct rational {
  int n;
  int d; // INV: d != 0
};
```

Member-Variable (**n**umerator)

Member-Variable (**d**enominator)

Ein erstes Struct

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



- `struct` definiert einen neuen *Typ*

Ein erstes Struct

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

Member-Variable

Member-Variable

- `struct` definiert einen neuen *Typ*
- Formaler Wertebereich: *kartesisches Produkt* der Wertebereiche existierender Typen

Ein erstes Struct

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

Member-Variable

Member-Variable

- `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;
}
```

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

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: 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: Initialisierung und Zuweisung

```
rational s;
```

Member-Variablen uninitialisiert (wird sich bald ändern)

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

rational u = t;

t = u;

rational v = add (u,t);
```

Structs: Initialisierung und Zuweisung

```
rational s;

rational t = {1,5}; ⟵

rational u = t;

t = u;

rational v = add (u,t);
```

Memberweise Initialisierung:
`t.n = 1, t.d = 5`

Structs: Initialisierung und Zuweisung

```
rational s;

rational t = {1,5};

rational u = t;
t = u;

rational v = add (u,t);
```

⟵ Memberweise Kopie

Structs: Initialisierung und Zuweisung

```
rational s;

rational t = {1,5};

rational u = t;

t = u;
```

⟵ Memberweise Kopie

```
rational v = add (u,t);
```

Structs: Initialisierung und Zuweisung

```
rational s;

rational t = {1,5};

rational u = t;

t = u;

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?

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,...

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. $\frac{2}{3} \neq \frac{4}{6}$

Benutzerdefinierte Operatoren

Statt

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

würden wir lieber

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

schreiben.

Benutzerdefinierte Operatoren

Statt

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

würden wir lieber

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

schreiben.

Das geht mit *Operator-Überladung*.

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"

```
std::cout << sq (3);
std::cout << sq (1.414);
std::cout << pow (2);
std::cout << pow (3,3);
```

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”

```
std::cout << sq (3);
std::cout << sq (1.414);
std::cout << pow (2);
std::cout << pow (3,3);
```

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”

```
std::cout << sq (3);
std::cout << sq (1.414);
std::cout << pow (2);
std::cout << pow (3,3);
```

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”

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

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”

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

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”

```
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);
```

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”

```
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

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

```
operatorop
```

`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;
```

`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

`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 = operator+ (r, s);
```

Äquivalent, aber unpraktisch: funktionale Notation

Unäres Minus

Nur ein Argument:

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

Vergleichsoperatoren

können auch definiert werden, so dass sie das “Richtige” machen:

Vergleichsoperatoren

können auch definiert werden, so dass sie das “Richtige” machen:

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

Vergleichsoperatoren

können auch definiert werden, so dass sie das “Richtige” machen:

```
// 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 +=

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

Operator +=

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

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

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;
}
```

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;
}
```

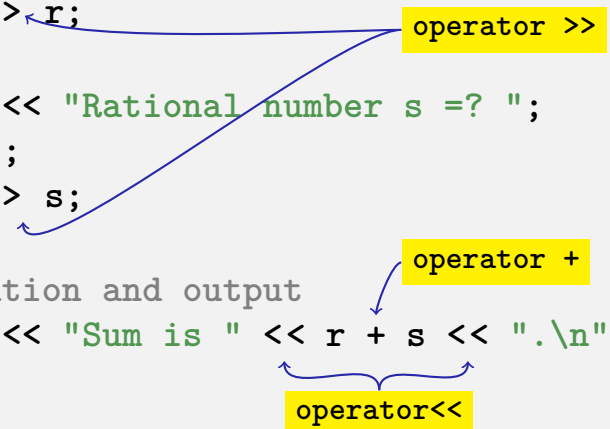
liest `r` aus dem Eingabestrom
und gibt diesen als L-Wert zurück.

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";
```

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";
```



Zur Erinnerung: Grosse Objekte ...

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

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];
}
```

Zur Erinnerung: Grosse Objekte ...

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

Call by value: mehr als 256k werden kopiert!

```
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];
}
```

... übergibt man als Const-Referenz

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

Call by reference: nur eine Adresse wird kopiert.

```
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];
}
```

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

Gedankenexperiment

Die drei Kernaufgaben der ETH:

- Forschung
- Lehre

Gedankenexperiment

Die drei Kernaufgaben der ETH:

- Forschung
- Lehre
- Technologietransfer

Gedankenexperiment

Die drei Kernaufgaben der ETH:

- Forschung
- Lehre
- Technologietransfer

Wir gründen die Startup-Firma RAT PACK®!

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

“Buying RAT PACK® has been a game-changing move to put us on the forefront of cutting-edge technology in social media engineering.”

B. Labla, CEO

Der Kunde ist zufrieden

. . . und programmiert fleissig mit `rational`.

Der Kunde ist zufrieden

. . . und programmiert fleissig mit `rational`.

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

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;
}
```

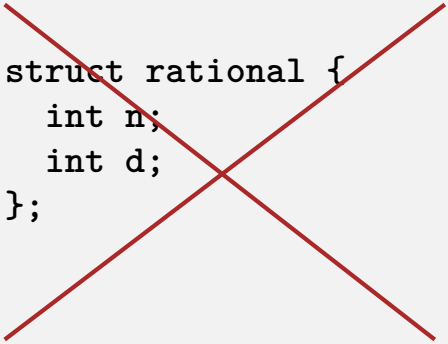
Der Kunde will mehr

“Können wir rationale Zahlen mit erweitertem Wertebereich bekommen?”

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!

Neue Version von RAT PACK®

Nichts geht mehr!

- Was ist denn das Problem?

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!

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.

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;
}
```

Schuldanalyse

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

Korrekt mit...

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

Schuldanalyse

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

Korrekt mit...

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

...aber nicht mit

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

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`)

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.

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.

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.

Idee der Datenkapselung (Information Hiding)

- Ein Typ ist durch *Wertebereich* und *Funktionalität* eindeutig definiert.
- Die Repräsentation soll nicht sichtbar sein.

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.

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++

Klassen

- sind das Konzept zur Datenkapselung in C++
- sind eine Variante von Structs

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.

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