technische universität dortmund

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2020/21

Kapitel 9: Elementare Datenstrukturen

M.Sc. Roman Kalkreuth
Lehrstuhl für Algorithm Engineering (LS11)
Fakultät für Informatik

Inhalt

- Definition: Abstrakter Datentyp (ADT)
- ADT Stapel
- ADT Schlange
- ADT Liste
- ADT Binärer Suchbaum
- ADT Graph
- Exkurse:
  - Einfache Dateibehandlung
  - C++-Strings

Definition:

Abstrakter Datentyp (ADT) ist ein Tripel (T, F, A), wobei

- T eine nicht-leere Menge von **Datenobjekten**,
- F eine Menge von **Operationen**,
- A eine nicht-leere Menge von **Axiomen**, die die Bedeutung der Operationen erklären.

Abstrakt?

- Datenobjekte brauchen keine konkrete Darstellung (Verallgemeinerung).
- Die **Wirkung** der Operationen wird beschrieben, nicht deren algorithmische Ausprägung.

→ **„WAS, nicht WIE!“**

Beispiel: ADT bool

F: **Operationen**

true :	→ bool
false :	→ bool
not : bool	→ bool
and : bool x bool	→ bool
or : bool x bool	→ bool

} Festlegung, **welche Methoden** es gibt

A: **Axiome**

not(false)	= true
not(true)	= false
and(false, false)	= false
and(false, true)	= false
and(true, false)	= false
and(true, true)	= true
or(x, y)	= not(and(not(x), not(y)))

} Festlegung, **was** die Methoden bewirken

Eigenschaften

- Wenn man einen ADT kennt, dann kann man ihn **überall verwenden**.
- Implementierung der Funktionen für Benutzer nicht von Bedeutung.
- **Trennung von Spezifikation und Implementierung**
- Ermöglicht späteren Austausch der Implementierung, ohne dass sich der Ablauf anderer Programme, die ihn benutzen, ändert!

Nur Operationen geben Zugriff auf Daten.

→ Stichwort: **Information Hiding**

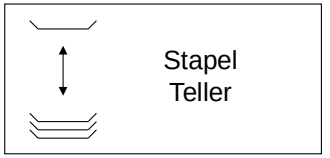
Lineare Datenstrukturen: Keller bzw. **Stapel** (*engl. stack*)

create	:		→ Stapel
push	:	Stapel x T	→ Stapel
pop	:	Stapel	→ Stapel
top	:	Stapel	→ T
empty	:	Stapel	→ bool

Aufräumen:
Kiste in den Keller, **oben** auf Haufen.

Etwas aus Keller holen:
Zuerst **oberste** Kiste, weil oben auf Haufen.

empty(create) = true
empty(push(k, x)) = false
pop(push(k, x)) = k
top(push(k, x)) = x



LIFO:
Last in, first out.

Klassendefinition: (Version 1)

```
template<typename T>
class Stapel {
public:
  Stapel();          // Konstruktor
  void push(T &x);   // Element auf den Stapel legen
  void pop();        // oberstes Element entfernen
  T top();           // oberstes Element ansehen
  bool empty();      // Stapel leer?
private:
  static unsigned int const maxSize = 100;
  int sz;            // Stapelzeiger
  T data[maxSize];   // Speichervorrat für Nutzdaten
};
```

Alternative: anonymer enum („*the enum trick*“)

```
  enum { maxSize = 100 };
```


Implementierung: (Version 1)

```
template<typename T>
Stapel<T>::Stapel() {
  sz = -1;
}
```

```
template<typename T>
void Stapel<T>::push(T &x) {
  data[++sz] = x;
}
template<typename T>
void Stapel<T>::pop() {
  sz--;
}
template<typename T>
T Stapel<T>::top() {
  return data[sz];
}
template<typename T>
bool Stapel<T>::empty() {
  return (sz == -1);
}
```

Idee:
unzulässiger Arrayindex -1 kennzeichnet leeren Stapel

Problem: Arraygrenzen!

Wann können Probleme auftreten?

Bei **pop**, falls Stapel leer ist:

→ Stapelzeiger wird -2, anschließendes **push** versucht auf **data[-1]** zu schreiben

Bei **top**, falls Stapel leer ist:

→ es wird undefinierter Wert von **data[-1]** zurückgegeben

Bei **push**, falls Stapel voll ist:

→ es wird versucht auf **data[maxSize]** zu schreiben (erlaubt: 0 bis maxSize – 1)

⇒ **diese Fälle müssen abgefangen werden, Fehlermeldung**

```
void error(char const *info) {
  cerr << info << endl;
  exit(1);
}
```

gibt Fehlermeldung **info** aus und bricht das Programm durch **exit(1)** **sofort** ab und liefert den Wert des Arguments (hier: 1) an das Betriebssystem zurück

Klassendefinition: (Version 2; Ergänzungen in **rot**)

```
template<typename T>
class Stapel {
public:
  Stapel();          // Konstruktor
  void push(T &x);   // Element auf den Stapel legen
  void pop();        // oberstes Element entfernen
  T top();           // oberstes Element ansehen
  bool empty();      // Stapel leer?
  bool full();       // Stapel voll?
private:
  static unsigned int const maxSize = 100;
  int sz;            // Stapelzeiger
  T data[maxSize];   // Speichervorat für Nutzdaten
  void error(char const *info); // Fehlermeldung + Abbruch
};
```


Implementierung: (Version 2, Änderungen und Zusätze in **rot**)

```
template<typename T>
Stapel<T>::Stapel() {
  sz = -1;
}
template<typename T>
void Stapel<T>::push(T &x) {
  if (full()) error("voll");
  data[++sz] = x;
}
template<typename T>
void Stapel<T>::pop() {
  if (empty()) error("leer");
  sz--;
}
```

```
template<typename T>
T Stapel<T>::top() {
  if (empty()) error("leer");
  return data[sz];
}
template<typename T>
bool Stapel<T>::empty() {
  return (sz == -1);
}
template<typename T>
bool Stapel<T>::full() {
  return (sz == maxSize - 1);
}
```

```
template<typename T>
void Stapel<T>::error(char const * info) {
  std::cerr << info << std::endl;
  exit(1);
}
```

← **private Methode**: kann nur innerhalb der Klasse aufgerufen werden

Erster Test ...

```
#include <iostream>
#include "Stapel.h"
using namespace std;

int main() {
  Stapel<int> s;
  for (int i = 0; i < 100; i++) s.push(i);
  cout << s.top() << endl;
  for (int i = 0; i <  90; i++) s.pop();
  while (!s.empty()) {
    cout << s.top() << endl;
    s.pop();
  }
  return 0;
}
```

Ausgabe:

```
99
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
```

Lineare Datenstrukturen: Schlange (*engl. queue*)

FIFO:
First in, first out.

create : → Schlange
enq : Schlange x T → Schlange
deq : Schlange → Schlange
front : Schlange → T
empty : Schlange → bool

Schlange an der Supermarktkasse:

Wenn Einkauf fertig, dann **hinten** anstellen. Der nächste Kunde an der Kasse steht ganz **vorne** in der Schlange.

empty(create) = true
empty(enq(s, x)) = false
deq(enq(s, x)) = empty(s) ? s : enq(deq(s), x)
front(enq(s, x)) = empty(s) ? x : front(s)

Eingehende Aufträge werden „geparkt“, und dann nach und nach in der Reihenfolge des Eingangs abgearbeitet.

Klassendefinition: (Version 1; schon mit Fehlerbehandlung)

```
template<typename T>
class Schlange {
public:
  Schlange();           // Konstruktor
  void enq(T &x);       // Element anhängen
  void deq();           // erstes Element entfernen
  T front();            // erstes Element ansehen
  bool empty();         // Schlange leer?
  bool full();          // Schlange voll?
private:
  static unsigned int const maxSize = 100;
  int ez;               // Endezeiger
  T data[maxSize];      // Array für Nutzdaten
  void error(char const *info);  // Fehlermeldung
};
```


Implementierung: (Version 1; Fehler bei Arraygrenzen werden abgefangen)

```
template<typename T>
Schlange<T>::Schlange() : ez(-1) {
}
template<typename T>
void Schlange<T>::enq(T &x) {
  if (full()) error("voll");
  data[++ez] = x;
}
template<typename T>
void Schlange<T>::deq() {
  if (empty()) error("leer");
  for (int i = 0; i < ez; i++)
    data[i] = data[i+1];
  ez--;
}
```

```
template<typename T>
T Schlange<T>::front() {
  if (empty()) error("leer");
  return data[0];
}
template<typename T>
bool Schlange<T>::empty() {
  return (ez == -1);
}
template<typename T>
bool Schlange<T>::full() {
  return (ez == maxSize - 1);
}
```

```
template<typename T>
void Schlange<T>::error(char const *info) {
  std::cerr << info << std::endl;
  exit(1);
}
```

← **private Methode**:
kann nur innerhalb der Klasse aufgerufen werden

Erster Test ...

```
#include <iostream>
#include "Schlange.h"
using namespace std;

int main() {
  Schlange<int> s;

  for (int i = 0; i < 100; i++) s.enq(i);
  cout << s.front() << endl;
  for (int i = 0; i < 90; i++) s.deq();
  while (!s.empty()) {
    cout << s.front() << endl;
    s.deq();
  }
  return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
```

Benutzer des (abstrakten) Datentyps **`Schlange`** wird feststellen, dass

1. fast alle Operationen schnell sind, aber
2. die Operation **deq** vergleichsweise langsam ist.

Laufzeit / Effizienz der Operation **deq**

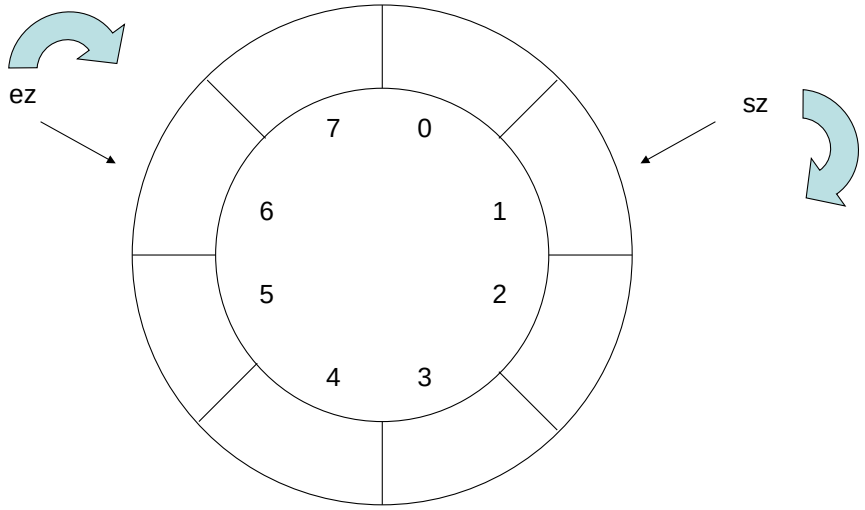
```
template<typename T>
void Schlange<T>::deq() {
  if (empty()) error("leer");
  for (int i = 0; i < ez; i++)
    data[i] = data[i+1];
  ez--;
}
```

ez = Anzahl Elemente in Schlange

Insgesamt **ez** Datenverschiebungen

Worst case: (**maxSize** – 1) mal

Idee: Array zum Kreis machen; zusätzlich Anfang/Start markieren (sz)



Implementierung: (Version 2; mit Ringspeicher)

```
template<typename T>
class Schlange {
public:
  Schlange();
  void enq(T &x);
  void deq();
  T front();
  bool empty();
  bool full();
private:
  static unsigned int const maxSize = 100;
  int ez;           // Endezeiger
  int sz;           // Startzeiger
  T data[maxSize];
  void error(char const *info);
};
```


Implementierung: (Version 2; mit Ringspeicher)

```
template<typename T> Schlange<T>::Schlange() {
  sz = 0;
  ez = -1;
}
template<typename T> T Schlange<T>::front() {
  if (empty()) error("leer");
  return data[sz];
}
template<typename T> bool Schlange<T>::empty() {
  return (ez == -1);
}
template<typename T> bool Schlange<T>::full() {
  if (empty()) return false;
  return ((ez + 1) % maxSize) == sz;
}
```

Implementierung: (Version 2; mit Ringspeicher)

```
template<typename T>
void Schlange<T>::enq(T &x) {
  if (full()) error("full");
  ez = (ez + 1) % maxSize;
  data[ez] = x;
}
```

Laufzeit:

unabhängig von Größe der Schlange

```
template<typename T>
void Schlange<T>::deq() {
  if (empty()) error("leer");
  if (sz == ez) { sz = 0; ez = -1; }
  else sz = (sz + 1) % maxSize;
}
```

Laufzeit:

unabhängig von Größe der Schlange

Unbefriedigend bei der Implementierung:

Maximale festgelegte Größe des Stapels bzw. der Schlange

→ Liegt an der unterliegenden Datenstruktur Array:

Array ist **statisch**, d.h.
Größe wird **zur Übersetzungszeit festgelegt**
und ist während der Laufzeit des Programms **nicht veränderbar**.

Schön wären **dynamische** Datenstrukturen, d.h.
Größe wird **zur Übersetzungszeit nicht festgelegt**
und ist während der Laufzeit des Programms **veränderbar**.

⇒ **Dynamischer Speicher!** (Stichwort: **`new`** / **`delete`**)

Lineare Datenstrukturen: Schlange (*engl. queue*)

create	:		→ Schlange
enq	:	Schlange x T	→ Schlange
deq	:	Schlange	→ Schlange
front	:	Schlange	→ T
empty	:	Schlange	→ bool

create	:	erzeugt leere Schlange
enq	:	hängt Element ans Ende der Schlange
deq	:	entfernt Kopf der Schlange
front	:	gibt im Kopf der Schlange gespeichertes Element zurück
empty	:	prüft, ob Schlange leer ist

→ Implementierung mit statischem Speicher ersetzen durch dynamischen Speicher

Bauplan:

Datentyp ***`Variable`** = **`new`** Datentyp; (Erzeugen)

`delete` Variable; (Löschen)

Bauplan für Arrays:

Datentyp ***`Variable`** = **`new`** Datentyp**`[`**Anzahl**`]`**; (Erzeugen)

`delete[]` Variable; (Löschen)

Achtung:

Dynamisch erzeugte Objekte müssen auch wieder gelöscht werden, keine automatische Speicherbereinigung!

Vorüberlegungen für ADT Schlange mit dynamischem Speicher:

Wir können bei der Realisierung der Schlange
statt statischem (Array) nun **dynamischen Speicher** verwenden …

Ansatz: **`new int[oldsize+1]`** … bringt uns das weiter?

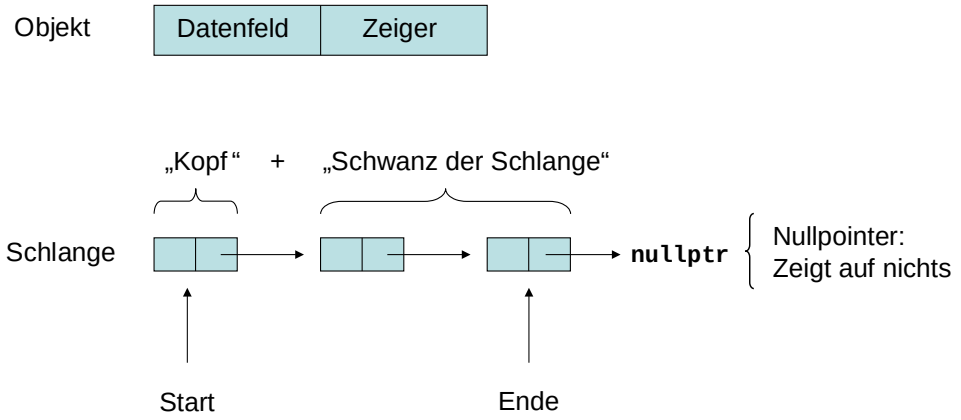
→ Größe kann zwar zur Laufzeit angegeben werden, ist aber dann fixiert!

Falls maximale Größe erreicht, könnte man

1. größeres Array anlegen
2. Arraywerte ins größere Array **kopieren** und
3. kleineres Array löschen.

} **ineffizient!**

Vorüberlegungen für ADT Schlange mit dynamischem Speicher:



Klassendefinition: (Version 3; mit dynamischem Speicher)

```
template<typename T>
class Schlange {
public:
  Schlange();                 // Konstruktor
  void enq(T &x);
  void deq();
  T front();
  bool empty();
  void clear();               // löscht alle Einträge
  ~Schlange();                // Destruktor
private:
  struct Objekt {             // interner Datentyp
    Objekt *tail;             // Zeiger auf Schlangenschwanz
    T      data;              // Datenfeld
  } *sz, *ez;                 // Zeiger auf Start + Ende
  void error(char const *info); // für Fehlermeldungen
};
```


Implementierung: (Version 3)

```
template<typename T>
Schlange<T>::Schlange() {
  ez = sz = nullptr;
}
template<typename T>
T Schlange<T>::front() {
  if (empty()) error("leer");
  return sz->data;
}
template<typename T>
bool Schlange<T>::empty() {
  return (ez == nullptr);
}
template<typename T>
void Schlange<T>::clear() {
  while (!empty()) deq();
}
```

`nullptr` ist der Nullzeiger!

```
template<typename T>
Schlange<T>::~Schlange() {
  clear();
}
template<typename T>
void Schlange<T>::error(
    char const *info){
  cerr << info << endl;
  exit(1);
}
```

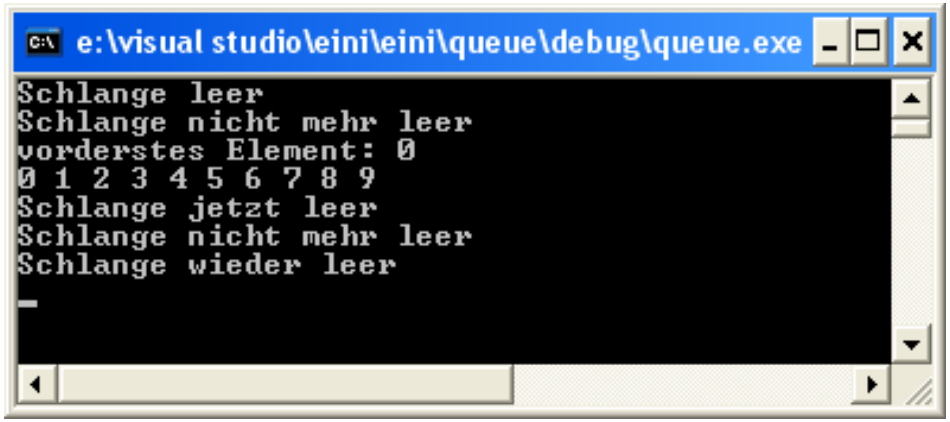
Implementierung: (Version 3)

```
template<typename T>
void Schlange<T>::enq(T &x) {
  Objekt *obj = new Objekt; // neues Objekt anlegen
  obj->data = x;            // Nutzdaten speichern
  obj->tail = nullptr;
  if (empty()) sz = obj;    // falls leer nach vorne,
  else ez->tail = obj;      // sonst hinten anhängen
  ez = obj;                 // Endezeiger aktualisieren
}
template<typename T>
void Schlange<T>::deq() {
  if (empty()) error("leer");
  Objekt *obj = sz;         // Zeiger auf Kopf retten
  sz = sz->tail;            // Start auf 2. Element
  if (sz == nullptr) ez = nullptr;  // Schlange leer!
  delete obj;               // ehemaliges 1. Element
}                           //               löschen
```


Testprogramm!

```
int main() {
  Schlange<int> s;
  if (s.empty()) cout << "Schlange leer" << endl;
  for (int i = 0; i < 10; i++) s.enq(i);
  if (!s.empty()) cout << "Schlange nicht mehr leer" << endl;
  cout << "vorderstes Element: " << s.front() << endl;
  while (!s.empty()) {
    cout << s.front() << " ";
    s.deq();
  }
  cout << endl;
  if (s.empty()) cout << "Schlange jetzt leer" << endl;

  for (int i = 0; i < 100; i++) s.enq(i);
  if (!s.empty()) cout << "Schlange nicht mehr leer" << endl;
  s.clear();
  if (s.empty()) cout << "Schlange wieder leer" << endl;
  return 0;
}
```

Kopieren von Klassenobjekten

```
template<typename T>
class Schlange {
  T data[100];
  int sz, ez;
};
```

→

```
Schlange<int> s1;
for (int i=0;i<10;i++)
  s1.enq(i);
Schlange<int> s2 = s1;
```

statischer Speicher:
byteweises Speicherabbild
⇒ **OK**

```
template<typename
T>
class Schlange {
  struct Objekt {
    Objekt *tail;
    T       data;
  } *sz, *ez;
};
```

→

```
Schlange<int> s1;
for (int i=0;i<10;i++)
  s1.enq(i);
Schlange<int> s2 = s1;
```

dynam. Speicher:
byteweises Speicherabbild
⇒ **Problem!**

Es werden nur die **Inhalte der Zeiger** kopiert!

Bei Verwendung von dynamischem Speicher muss auch dieser kopiert werden.

⇒ In C++ kann das durch den **Kopierkonstruktor** realisiert werden.

Kopierkonstruktor (*copy constructor*)

Wird für eine Klasse **kein Kopierkonstruktor** implementiert,
dann erzeugt ihn der Compiler **automatisch**.

Achtung:

Es wird dann ein **byteweises Speicherabbild** des Objektes geliefert.

⇒ „flache Kopie“ (engl. *shallow copy*)

Problem:

- Konstruktor fordert dynamischen Speicher an → nur Kopie des Zeigers
- Konstruktor öffnet exklusive Datei (o.a. Ressource) → nicht teilbar! Crash!

⇒ dann „tiefe Kopie“ (engl. *deep copy*) nötig
⇒ man **muss** Kopierkonstruktor (und Destruktor) implementieren!


```
#include <iostream>
#include "Stapel.h"      // statischer Speicher
#include "Schlange.h"    // dynamischer Speicher
using namespace std;
int main() {
  Stapel<int> stack1;
  Schlange<int> queue1;
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    stack1.push(i);
    queue1.enq(i);
  }
  Stapel<int> stack2 = stack1;
  Schlange<int> queue2 = queue1;
  while (!stack1.empty()) stack1.pop();
  while (!queue1.empty()) queue1.deq();
  while (!stack2.empty()) {
    cout << stack2.top() << endl;
    stack2.pop();
  }
  while (!queue2.empty()) {
    cout << queue2.front() << endl;
    queue2.deq();
  }
  return 0;
}
```

Programmiertes Unheil:

Stapel1 / Schlange1 mit Daten belegen.

Stapel1 / Schlange1 kopieren

Stapel1 / Schlange1 löschen

kopierten Stapel ausgeben

kopierte Schlange ausgeben ...

crash!

Kopierkonstruktor (*copy constructor*)

```
template<typename T>
class Schlange {
public:
  Schlange();   // Konstruktor
  Schlange(const Schlange<T>& s);
  ~Schlange();  // Destruktor
};
```

Kann wie eine Zuweisung **interpretiert** werden

← **Kopierkonstruktor**

```
template<typename T>
Schlange<T>::Schlange(const Schlange<T>& s){
  ez = nullptr;
  Objekt *ptr = s.sz;
  while (ptr != nullptr) {
    enq(ptr->data);
    ptr = ptr->tail;
  }
}
```

Entstehendes Objekt wird mit einem **bestehenden** Objekt initialisiert

Kopierkonstruktor (*copy constructor*)

Bauplan:

ObjektTyp (**const** ObjektTyp & bezeichner);

→ Kopierkonstruktor liefert / soll liefern byteweises Speicherabbild des **Objektes**

Wird **automatisch** aufgerufen, wenn:

1. ein neues Objekt erzeugt und mit einem bestehenden initialisiert wird;
2. ein Objekt per Wertübergabe als Parameter an eine Funktion übergeben wird;
3. ein Objekt mit **return** als Wert zurückgegeben wird.

```
Punkt a(1.2, 3.4); // neu
Punkt b(a);        // Kopie: direkter Aufruf des Kopierkonstruktors
Punkt c = b;       // Kopie: bewirkt Aufruf des Kopierkonstruktors
b = a;             // Zuweisung, keine Kopie → gleiche Problematik!
```

Wenn für eine Klasse der **Zuweisungsoperator** nicht überschrieben wird, dann macht das der Compiler **automatisch**.

Vorsicht:

Speicher des Objektes wird **byteweise** überschrieben.

Problem:

z.B. wenn Objekt dynamischen Speicher verwendet

⇒ gleiche Problematik wie beim Kopierkonstruktor

Merke:

Wenn die Implementierung eines **Kopierkonstruktors** nötig ist, dann höchstwahrscheinlich auch **Destruktor** und überschriebene **Zuweisung**. (Das ist die sogenannte *„Rule of Three“*.)

Überladen von Operatoren

- Operator ist eine Verknüpfungsvorschrift
- Kann man auffassen als Name einer Funktion:

  Bsp: Addition a + b interpretieren als + (a, b)
- in C++ als: c = `operator+ (a, b)`

  Funktionsname — Argumente

Zweck:
eine Klasse mit Funktionalität ausstatten, die vergleichbar mit elementarem Datentyp ist

insbesondere bei **Zuweisung** und **Gleichheit**

Vorteil:
Quellcode wird übersichtlicher

Überladen von Operatoren

Welche?

+	^	==	+=	^=	!=	<<	()
-	&	>	-=	&=	&&	<<=	new
*	|	>=	*=	|=	||	>>	delete
/	~	<	/=	++	->	>>=	=
%	!	<=	%=	--	->*	[]	

Wie?

Objekttyp& operator☝(const ObjektTyp& bezeichner)

Objekttyp operator☝ (const ObjektTyp& bezeichner)

Überladen von Operatoren: Zuweisung

```
template<typename T>
Schlange<T>& Schlange<T>::operator= (const Schlange<T>& s) {
  if (this == &s) return *this;  // falls Selbstzuweisung
  clear(); // Speicher freigeben
  Objekt *ptr = s.sz;
  while (ptr != nullptr) {
    enq(ptr->data);
    ptr = ptr->tail;
  }
  return *this;
}
```

this ist ein Zeiger auf das Objekt selbst.

Bei der Zuweisung wird ja keine neue Instanz erzeugt; tatsächlich wird eine vorhandene Instanz verändert.

Deshalb ist Rückgabewert eine **Referenz auf sich selbst**!

Überladen von Operatoren: Test auf Gleicheit

```
template<typename T>
bool Schlange<T>::operator== (const Schlange<T>& s) {
  if (this == &s) return true;       // Selbstvergleich?
  Objekt *ptr1 = sz;      // this->sz
  Objekt *ptr2 = s.sz;
  while (ptr1 != nullptr && ptr2 != nullptr) {
    if (ptr1->data != ptr2->data) return false;
    ptr1 = ptr1->tail;
    ptr2 = ptr2->tail;
  }
  return (ptr1 == ptr2);
}
```

Zwei Schlangen sind gleich genau dann, wenn sie

1. gleich viele Elemente haben und
2. die Inhalte in gleicher Reihenfolge paarweise gleich sind.

Unterschied zwischen Kopierkonstruktor und Zuweisung

Kopierkonstruktor:

Initialisierung einer **neu** deklarierten Variable von **existierender** Variable

Zuweisung:

- wirkt zwar wie Kopierkonstruktor (flache Kopie bzw. tiefe Kopie), überschreibt jedoch Speicher der **existierenden** Variable mit dem Speicher der zuweisenden, **existierenden** Variable
- zusätzlich ggf. Aufräumen: Freigabe dynamischer Speicher
- außerdem: Rückgabe einer Referenz auf sich selbst

Automatisch erzeugte Methoden *erzwingen* (C++11)

- Schlüsselwort **`default`** ist Anweisung an Compiler, die Standardimplementierung zu erzeugen
- z.B. für den parameterlosen Standard-Konstruktor

```
class Punkt {
private:
  double x, y;
public:
  Punkt() = default;

  Punkt(double ax, double ay) : x(ax), y(ax){}
};
```

Der Compiler soll seine Standardimplementierung verwenden

Automatisch erzeugte Methoden *verhindern* (C++11)

- Schlüsselwort **`delete`** verhindert die Erzeugung von Methoden
- z.B. für Klassen, deren Instanzen nicht kopiert werden können

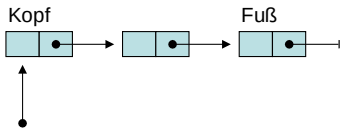
```
class Punkt {
private:
  double x, y;
public:
  Punkt(const Punkt& p) = delete;

  Punkt& operator=(const Punkt& p) = delete;
};
```

Der Compiler soll keinen Kopierkonstruktor erzeugen

Der Compiler soll keinen Zuweisungsoperator erzeugen

ADT Liste (1. Version)



Liste wird nur durch **einen Zeiger** auf ihren Listenkopf repräsentiert

Operationen:

create	:	→ Liste	
empty	: Liste	→ bool	
append	: T x Liste	→ Liste	hängt am Ende an
prepend	: T x Liste	→ Liste	vor Kopf einfügen
clear	:	→ Liste	
is_elem	: T x Liste	→ bool	ist Element enthalten?

ADT Liste (1. Version)

```
template<typename T>
class Liste {
public:
  Liste();                    // Konstruktor
  Liste(const Liste<T>& liste);// Kopierkonstruktor
  void append(const T& x);    // hängt hinten an
  void prepend(const T& x);   // fügt vorne ein
  bool empty();               // Liste leer?
  bool is_elem(const T& x);   // ist Element x in Liste?
  void clear();               // Liste leeren
  ~Liste();                   // Destruktor
private:
  struct Objekt {             // privater Datentyp
    T       data;             // Nutzdaten
    Objekt *next;             // Zeiger auf nächstes
Objekt
  } *sz;                      // Startzeiger auf
Listenkopf
  void clear(Objekt *obj);    // Hilfsmethode zum Leeren
};
```


ADT Liste (1. Version)

```
template<typename T>
Liste<T>::Liste() {
  sz = nullptr;
}
template<typename T>
void Liste<T>::clear(Objekt *obj) {
  if (obj == nullptr) return;
  clear(obj->next);
  delete obj;
}
template<typename T>
void Liste<T>::clear() {
  clear(sz);
  sz = nullptr;
}
template<typename T>
Liste<T>::~Liste() {
  clear();
}
```

Laufzeit:
unabhängig von Listenlänge

rekursives Löschen von „hinten“ nach „vorne“

Laufzeit:
proportional zur Listenlänge

ADT Liste (1. Version)

```
template<typename T>
bool Liste<T>::empty() {
  return (sz == nullptr);
}
template<typename T>
bool Liste<T>::is_elem(const T& x) {
  Objekt *ptr = sz;
  while (ptr != nullptr) {
    if (ptr->data == x) return true;
    ptr = ptr->next;
  }
  return false;
}
template<typename T>
void Liste<T>::prepend(const T& x){
  Objekt *obj = new Objekt;
  obj->data = x;
  obj->next = sz;
  sz = obj;
}
```

Laufzeit:
unabhängig von Listenlänge

iterativer Durchlauf von „vorne“ nach „hinten“

Laufzeit:
proportional zur Listenlänge

Laufzeit:
unabhängig von Listenlänge

ADT Liste (1. Version)

```
template<typename T>
void Liste<T>::append(const T& x) {
  Objekt *obj = new Objekt;
  obj->data = x;
  obj->next = nullptr;
  if (empty()) sz = obj;
  else {
    Objekt *ptr = sz;
    while (ptr->next != nullptr)
      ptr = ptr->next;
    ptr->next = obj;
  }
}
```

neuen Eintrag erzeugen

Liste leer? → Kopf = neuer Eintrag

iterativer Durchlauf von „vorne“ nach „hinten“

Laufzeit:
proportional zur Listenlänge

```
template<typename T>
Liste<T>::Liste(const Liste<T>& liste) : sz(nullptr) {
  for (Objekt *ptr = liste.sz; ptr != nullptr; ptr = ptr->next)
    append(ptr->data);
}
```

Laufzeit: quadratisch proportional zur Listenlänge!

ADT Liste (1. Version)

Zusammenfassung:

1. Laufzeit von **`clear`** proportional zur Listenlänge
   → kann nicht verbessert werden, weil ja jedes Element gelöscht werden muss
   → unproblematisch, weil nur selten aufgerufen
2. Laufzeit des **Kopierkonstruktors** quadratisch proportional zur Listenlänge
   → kann nur verbessert werden, wenn **`append`** verbessert werden kann
   → bestenfalls Laufzeit proportional zur Listenlänge: muss alle Elemente kopieren!
3. Laufzeit von **`is_elem`** proportional zur Listenlänge
   → kann bei dieser **Datenstruktur** nicht verbessert werden
   → später verbessert durch ADT BinärerSuchbaum
4. Laufzeit von **`append`** proportional zur Listenlänge
   → kann durch Veränderung der **Implementierung** verbessert werden
   → zusätzlicher Zeiger auf das Ende der Liste