Kopierkonstruktor und Zuweisungsoperator

Software-Technik: Vom Programmierer zur erfolgreichen …

8 Abstrakte Datentypen: Einheit von Daten und Funktionalität

8.1 Die Bedeutung von Schnittstellen

8.2 Klassen als abstrakte Datentypen

…

8.2.3 Standardfunktionalität in der Klassen-Schnittstelle

…

8.3 Generische Programmierung, 2. Teil

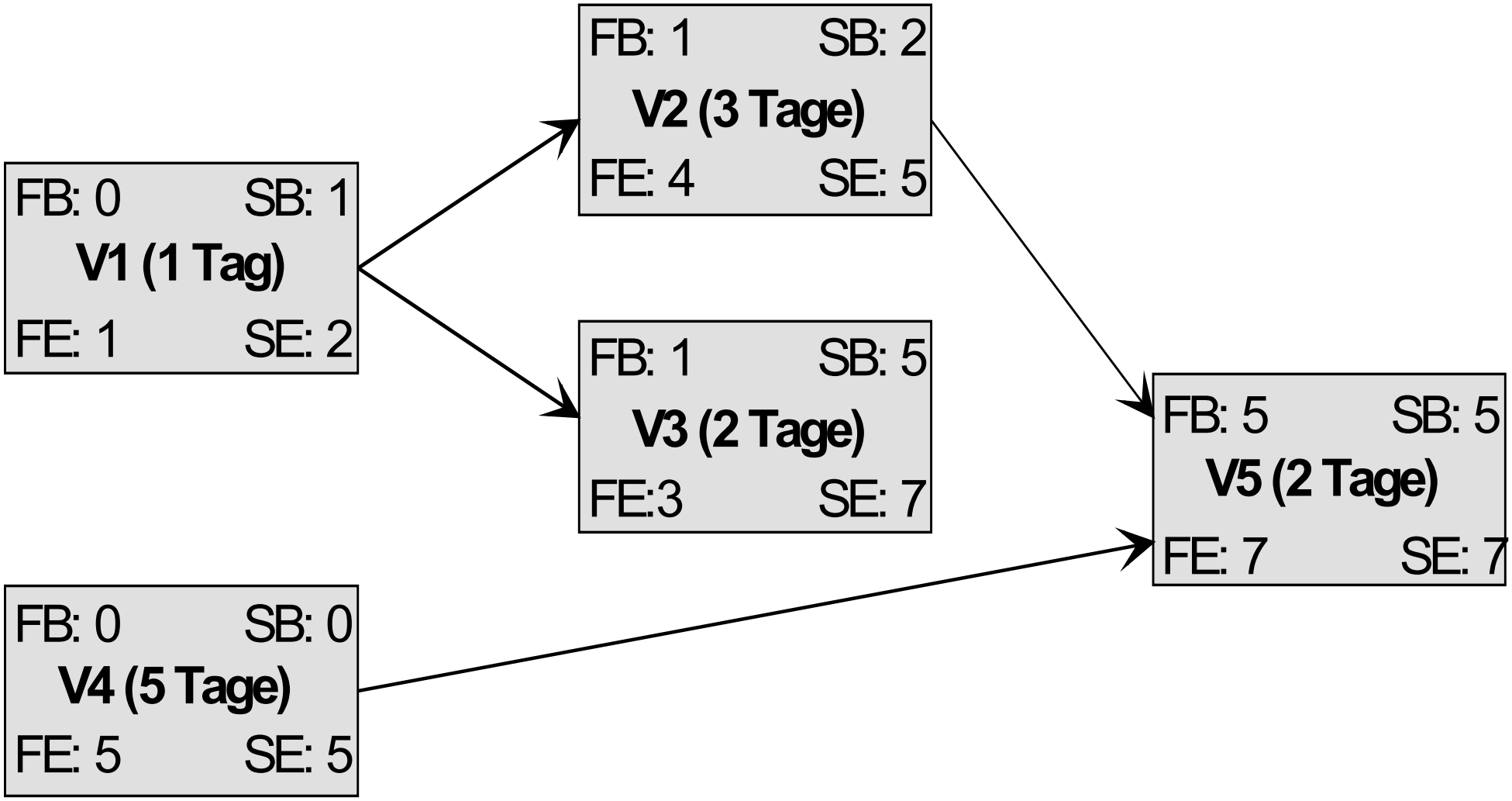
8.4 Ausnahmebehandlung, 2. Teil

8.5 Zusammenfassung

Folien mit gelben Punkten  am oberen rechten Rand sind weniger wichtiger für das Verständnis der nachfolgenden Kapitel.

Lehrbuch: 4.1.3; 4.1.6; 4.1.8
Kompendium, 3. Auflage: 9.1.2 - 9.1.4
Kompendium, 4. Auflage: 8.3; 8.4; 8.6

Beschreibung der Aufgabe / Ergebnis



Motivation von Kopierkonstruktor und Zuweisungsoperator

```
class Vorgang {
 Vorgang** nachfolger;   // Array der Nachfolger
 int anzNachfolger;
 Vorgang** vorgaenger;   // Array der Vorgänger
 int anzVorgaenger;
 double dauer;
public:
 Vorgang() {
    vorgaenger = new Vorgang*[MAX]; anzVorgaenger = 0;
    nachfolger = new Vorgang*[MAX]; anzNachfolger = 0;
    }
};
```

Lösung, wenn Vorgänger etc. direkt im Vorgang gespeichert werden.

Die folgenden Folien beschreiben das Problem von Zuweisungsoperator und Kopierkonstruktor stärker aus C++-Sicht, unabhängig vom Beispiel im Buch (Abschn. 8.2.3).

Motivation von Kopierkonstruktor und Zuweisungsoperator (2)

```
typedef class Vorgang* TP_Vorgang;

class Vorgang {
 TP_Vorgang* nachfolger;   // Array von Zeiger auf  Nachfolger
 int anzNachfolger;

 TP_Vorgang* vorgaenger;   // Array von Zeiger auf  Vorgänger
 int anzVorgaenger;
 double dauer;

public:
 Vorgang() {
    vorgaenger = new TP_Vorgang[MAX]; anzVorgaenger = 0;
    nachfolger = new TP_Vorgang[MAX]; anzNachfolger = 0;
    }
};
```

Wenn man dynamische Arraygrößen haben wollte, müsste man diese an den Konstruktor von Vorgang übergeben.

Motivation von Kopierkonstruktor und Zuweisungsoperator (3)

```
typedef class Vorgang* TP_Vorgang;

class Vorgang {
 TP_Vorgang* nachfolger;   // Array von Zeiger auf  Nachfolger
 int anzNachfolger;

 TP_Vorgang* vorgaenger;   // Array von Zeiger auf  Vorgänger
 int anzVorgaenger;
 double dauer;

public:
 Vorgang() {
    vorgaenger = new TP_Vorgang[MAX]; anzVorgaenger = 0;
    nachfolger = new TP_Vorgang[MAX]; anzNachfolger = 0;
    }
};
```

Als eigene Klasse

Motivation von Kopierkonstruktor und Zuweisungsoperator (4)

```
class Vorgang {
 DynVorgangsArray nachfolger;     // Nachfolger
 DynVorgangsArray vorgaenger;  // Vorgänger
 double dauer;
 /* …*/
};
```

Statt TP_Vorgang kann jeder beliebige Typ verwendet werden. Man erhält eine Schablone für dynamische Arrays.

```
typedef class Vorgang* TP_Vorgang;
class DynVorgangsArray {
public:
   DynVorgangsArray();
   ~DynVorgangsArray();
   void fuegeHinzu(Vorgang* v);
   bool istElem(const Vorgang* v) const;
private:
   TP_Vorgang* array;
   int anz;
};
```

Implementierung von DynVorgangsArray

```
DynVorgangsArray::DynVorgangsArray() {
   anz = 0;
   array = nullptr;
}
DynVorgangsArray::~DynVorgangsArray() {
   delete[] array;    array = nullptr;   anz = 0;
}

/** Kommt Vorgang *v in array vor?*/
bool DynVorgangsArray::istElem
   (const Vorgang* v) const {
   for (int i=0; i < anz; ++i) {
      if (array[i] == v) {
         return true;
   } }
   return false;
}
```

```
/** Vorgang v wird dem dynamischen
Vorgangsarray hinzugefügt. Hierbei
muss der Speicherplatz auf dem Heap, den
arr belegt um 1 vergrößert werden bzw.
sogar erst angefordert werden.  */
void DynVorgangsArray::fuegeHinzu(Vorgang*
v) {
   // Speicherplatz fuer einen mehr
   Vorgang** tmp =  new TP_Vorgang[anz+1];
   // bisherigen Inhalt retten
   for (int i=0; i < anz; ++i) {
      tmp[i] = array[i];
   }
   // Neuen Eintrag eintragen
   tmp[anz] = v;      ++anz;
   // bisherigen Speicher freigeben
   delete [] array;
   // Zeiger umbiegen
   array = tmp;
}
```

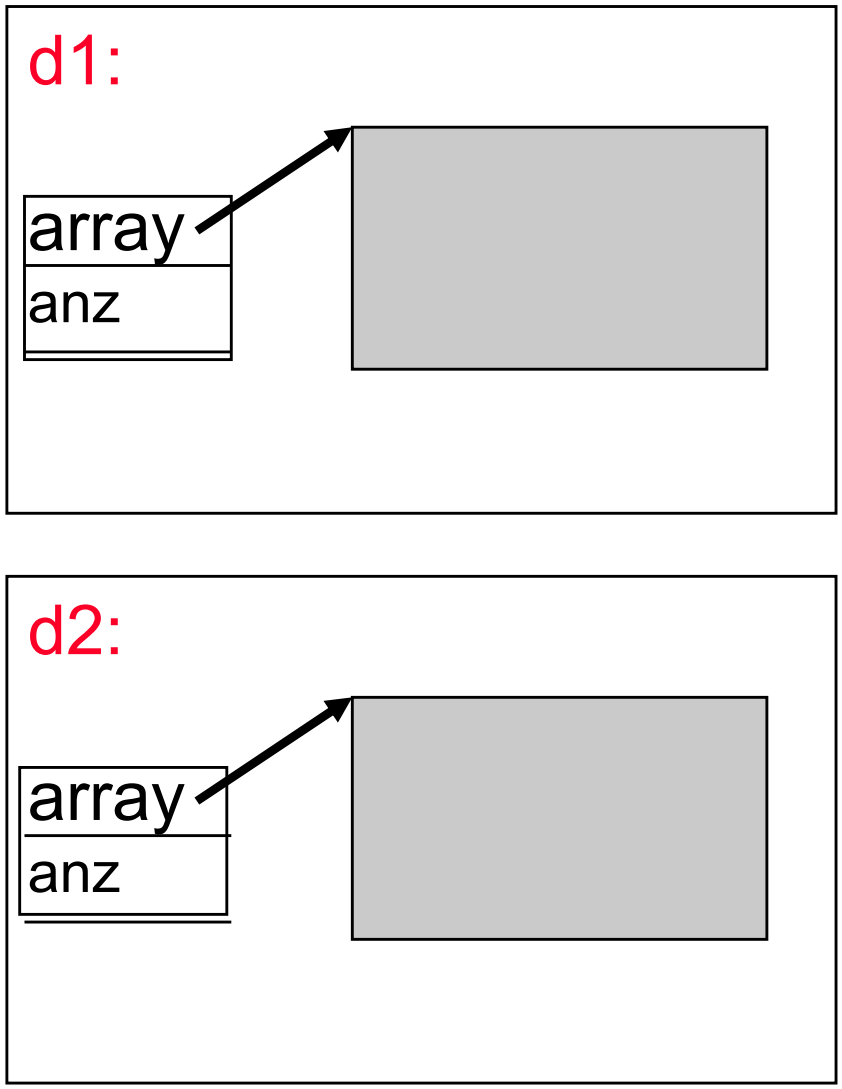
Test der Implementierung von DynVorgangsArray

```
bool testDynArray() {
   DynVorgangsArray d1;
   Vorgang v1;
   Vorgang v2;
   d1.fuegeHinzu(&v1);

   bool retValue = d1.istElem(&v1) &&
      d1.istElem(&v2)==false;

  return retValue;
  }
```

```
void machNix(DynVorgangsArray d) {
  }

bool testDynArrayCopy() {
   DynVorgangsArray d1;
   Vorgang v1;
   Vorgang v2;
   d1.fuegeHinzu(&v1);
   bool retValue= d1.istElem(&v1) &&
      d1.istElem(&v2)==false;

   machNix(d1);

   return retValue;
   }
```

Programmabsturz

Speicherbelegung durch die Instanzen von DynVorgangsArray



Entsprechend:

```
DynVorgangsArray d1;
DynVorgangsArray d2;
```

Das Array array
und das Attribut
anz gibt es
also für jede Instanz
von DynVorgangArray, d.h. hier
zweimal.

Entsprechend:

```
int i;
int k;
```

Die Bedeutung des Kopierkonstruktors

Der Kopierkonstruktor hat eine ganz besondere Bedeutung -- er wird in vielen Fällen implizit vom System verwendet, z.B. in den beiden folgenden Funktionen **f1** und **f2**:

```
void f1(Netz n) { . . . }
Netz f2()      { Netz temp; . . .; return temp; }
```

Die Funktion **f1** hat Werteparameter **Netz n**, d.h. der Wert der Variablen (des Objektes) n wird in die Funktion hineinkopiert, und dazu verwendet das System den Kopierkonstruktor! Entsprechend verwendet das System in der Funktion **f2** den Kopierkonstruktor, um den Wert von **Netz temp** zurückzugeben! Zusammenfassend ist Folgendes hervorzuheben:

- Ein korrekt arbeitender Kopierkonstruktor ist für fast jede Klasse erforderlich, weil er vielfach implizit vom System verwendet wird.
- Die allgemeine Form der Deklaration eines Kopierkonstruktors für die Klasse **X** lautet: **X(const X& x);**

Standard- Copy-Konstruktor

Standardmäßig erzeugt der Compiler automatisch für jede Klasse einen Copy-Konstruktor mit dem folgenden Sourcecode.

```
Vorgang::Vorgang(const Vorgang & v2) {
   *this = v2;
}
```

was gleichbedeutend ist mit:

```
Vorgang::Vorgang(const Vorgang& v) {
  dauer = v.dauer;
  fruehanf = v.fruehanf;
  spaetend = v.spaetend;
  id = v.id;
}
```

```
class Vorgang {
   int dauer;
   int fruehanf;
   int spaetend;
   int id;
};
```

Diese Standardform ist für Vorgang ausreichend, da nicht mit Zeigersemantik (auf Heap) gearbeitet wird.

Standard- Copy-Konstruktor für DynVorgangsArray

Standardmäßig erzeugt der Compiler automatisch für jede Klasse einen Copy-Konstruktor mit dem folgenden Sourcecode.

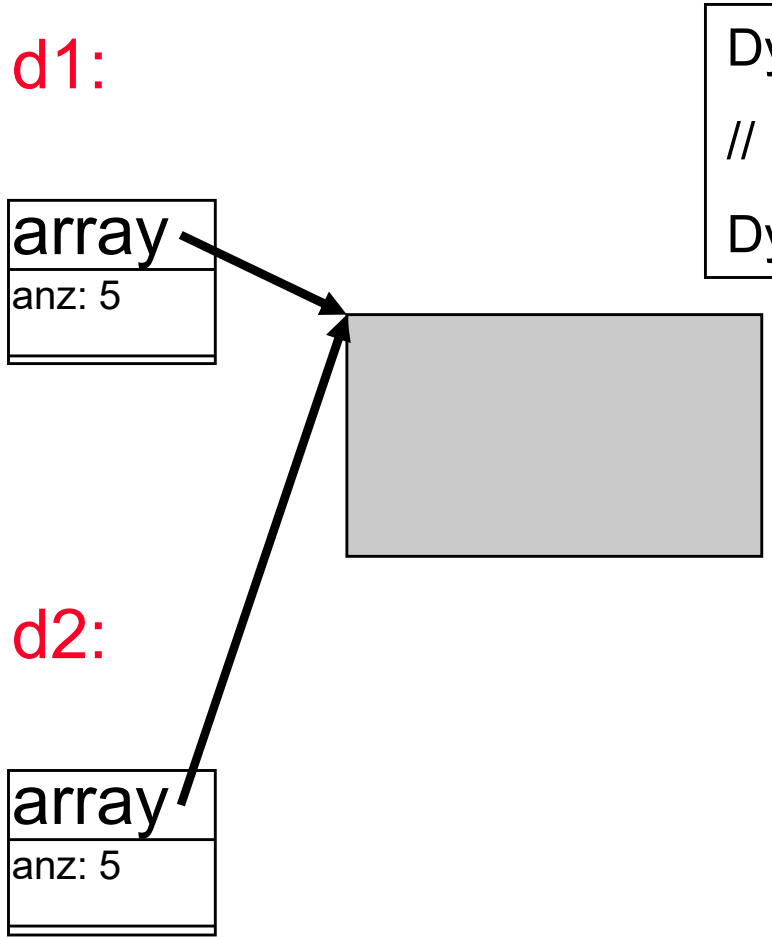
```
DynVorgangsArray:: DynVorgangsArray(const DynVorgangsArray & d2) {
   *this = d2;
}
```

was gleichbedeutend ist mit:

```
DynVorgangsArray:: DynVorgangsArray(const DynVorgangsArray & d2){
  array = d2.array;
  anz = d2.anz;
}
```

Diese Standardform ist **nicht** ausreichend.

Standardkopierkonstruktor für Klasse DynVorgangsArray




```
DynVorgangsArray d1;
// in d1 5 Vorgänge eintragen
DynVorgangsArray d2(d1);  // Kopie von d1
```

```
d2.fuegeHinzu(&v1);

Fügt in d1 ein.
```

Übung

Bauen Sie den Kopierkonstruktor und Zuweisungsoperator für diese Klasse.

```
□đêğîŋê□ÛŞÉ□ŖÉG□RAŖAŇ
□îğđêğ□ÛŞÉ□ŖÉG□RAŖAŇ
□□□ņîʯ□Ŗêğêsêŋćřăsắņêʯês□ĝêḥʯ□êș□ș̂ôĝắs
ŵôîđ□ņắçḥŅîy□DỳŋΛôsĝắŋĝșAssắỳ□□□□□
□
□êľșê
ŵôîđ□ņắçḥŅîy□DỳŋΛôsĝắŋĝșAssắỳ□□□□
□□□□
□êŋđîğ
čôôľ□ʯêșʯDỳŋAssắỳ□□□□
□□□DỳŋΛôsĝắŋĝșAssắỳ□đ¸□
□□□Λôsĝắŋĝ□ŵ¸□
□□□Λôsĝắŋĝ□ŵ¸□
□□□đ¸□ğụêĝêĤîŋćụ□□ŵ¸□□

□□□čôôľ□sêʯΛắľụê□□□đ¸□îșʯÉľêņ□□ŵ¸□□□□
□□□□□□đ¸□îșʯÉľêņ□□ŵ¸□□□ğắľșê□

□□□ņắçḥŅîy□đ¸□□
□□□sêʯụsŋ□sêʯΛắľụê□
□□□□
```

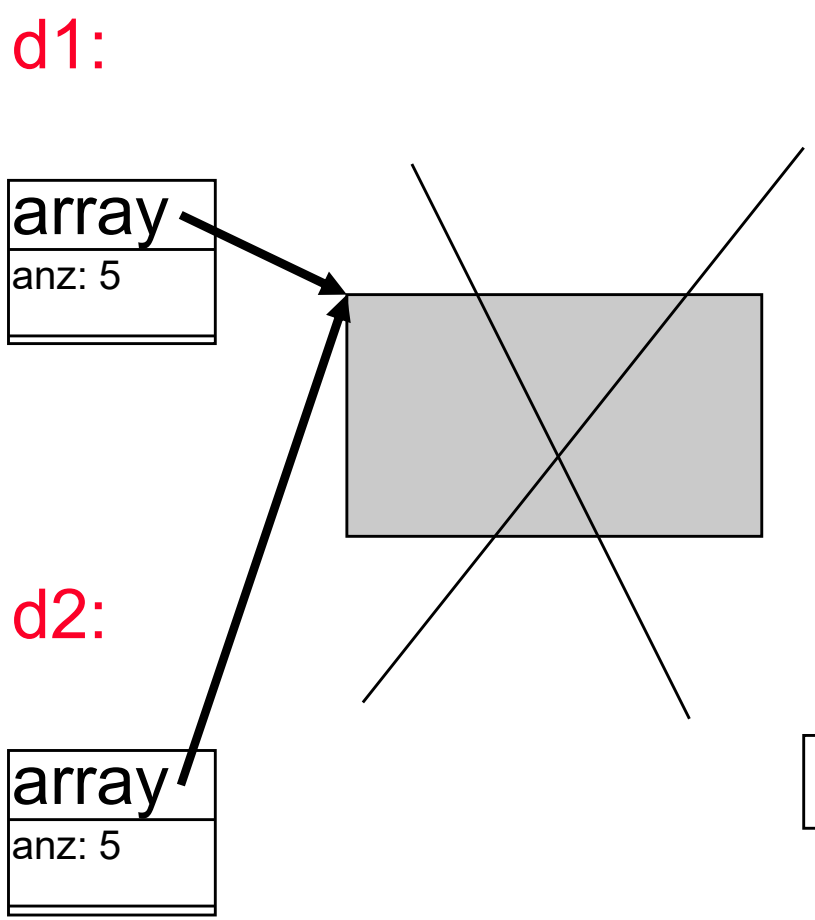
Source-Code auf meiner Homepage

6. Vorlesung; Fr. 14.11.2025

Folienkopien	Inhalt
Wiederholung / Ankündigung (13.11.2025)	Wiederholung aus der letzten Vorlesung
Tiefe und flache Kopie (25.10.2025)	Tiefes und flaches Kopieren von Instanz der selbstdefinierte Zuweisungsoperator
LogTrace-Bibliothek (25.10.2025)	Professionelle Variante von FunktionLo
Programm-Code	**Inhalt**
Ausgangscode: Vektor ohne tiefes Kopieren VS2022 (25.10.2025) CMake (25.10.2025)	Klasse Vektor mit der Funktion MacheN
Ausgangscode: Vektor mit minimaler Standardschnittstelle VS2022 (25.10.2025) CMake (25.10.2025)	Klasse Vector ist um Kopierkonstruktur
Ausgangscode: für Adjazenzmatrix ohne tiefes Kopieren VS2022 (25.10.2025) CMake (25.10.2025)	Entsprechend der Klasse Vektor wird nu Klasse wird in der Vorlesung vorgeführt
Ausgangscode: für Adjazenzmatrix ohne tiefes Kopieren VS2022 (25.10.2025) CMake (25.10.2025)	Klasse DynVorgangsArray ist um Kopie

Suchen Sie im Code nach
// „Sie sind dran!!!“

Standardkopierkonstruktor: Problem 2

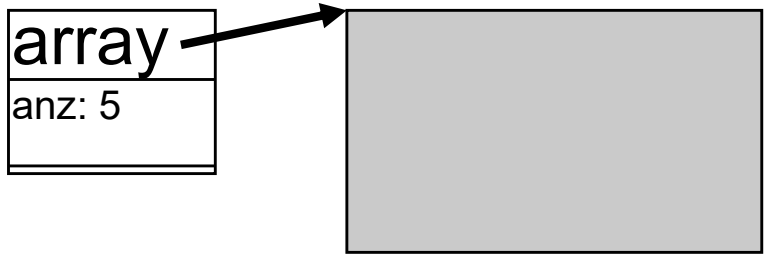



```
DynVorgangsArray d1;
// in d1 5 Vorgänge eintragen
if (a==b) {
   DynVorgangsArray d2(d1);
   …
  } // d2 wird freigegeben
d1.fuegeHinzu(&v7);
```

d1.array ist auch weg

Standardkopierkonstruktor: Lösung

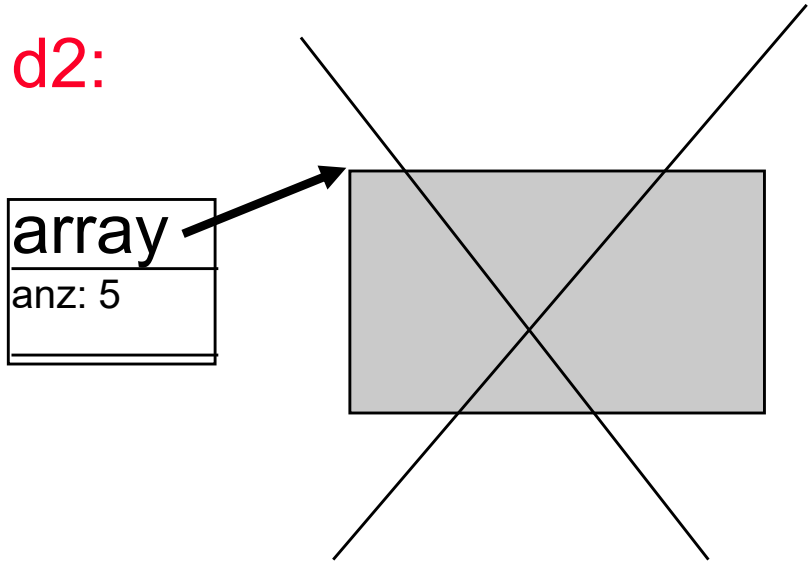
d1:




```
DynVorgangsArray d1;
// in d1 5 Vorgänge eintragen
```

```
if (a==b) {
 DynVorgangsArray d2(d1);
  …
```

d2:




```
} // d2 wird freigegeben
d1.fuegeHinzu(&v7);
```

Kopierkonstruktor für die Klasse DynVorgangsArray

```
class DynVorgangsArray {
public:
   DynVorgangsArray();
   ~DynVorgangsArray();
    DynVorgangsArray(
       const DynVorgangsArray&);
  void fuegeHinzu(Vorgang* v);
   bool istElem(const Vorgang* v)
            const;

private:
   TP_Vorgang* array;
   int anz;
};
```

```
DynVorgangsArray::DynVorgangsArray
     (const DynVorgangsArray& d2) {
   anz = d2.anz;
   array = new TP_Vorgang[anz];
   for (int i=0; i<anz; ++i){
      array[i] = d2.array[i];
   }
}
```

Implizite Erzeugung des Zuweisungsoperators

Es werden je 2 Objekte vom Typ **Vorgang** und vom Typ **DynVorgangsArray** definiert und in Zuweisungen verwendet. Für beide Typen werden die im vorangehenden verwendeten Definitionen zugrunde gelegt. Beide Zuweisungen sind syntaktisch korrekt, die Zuweisung **d2 = d1;** ist aber **inhaltlich falsch**!

```
class DynVorgangsArray { TP_Vorgang* array; . . . };
class Vorgang  { double dauer; . . .
. . .
DynVorgangsArray d1, d2;
Vorgang  v1, v2;
. . .
d2 = d1;     // logischer Fehler !
v2 = v1;     // in Ordnung !
. . .
```

Für beide Klassen wurde kein Zuweisungsoperator explizit definiert, in dem Falle definiert -- ähnlich wie im Falle des Kopierkonstruktors -- das System implizit einen der komponentenweise kopiert, d.h.aber, es wird flach kopiert. Deshalb erfolgt die Zuweisung der Vorgang-Objekte korrekt, während die Zuweisung der **DynVorgangsArray**-Objekte fehlerhaft abläuft.

Definition von Zuweisungsoperatoren

```
DynVorgangsArray & DynVorgangsArray ::operator=
                                    (const DynVorgangsArray & d) {



if (this != &d) {
     Freigeben();

     KopiereNetz(d);
  } // if (this != &d)


  return *this;
}
```

Allgemeiner Aufbau des Zuweisungsoperators

1. Eigenzuweisung verhindern
2. Löschen des bisherigen Inhalts von *this
3. neuen Speicher anfordern
4. Kopieren des zweiten Operanden nach *this
5. Referenz auf *this zurückliefern

Definition von Zuweisungsoperatoren (2)

```
DynVorgangsArray& DynVorgangsArray::operator=
                                (const DynVorgangsArray& d2) {
  if (this != &d2) {
     TP_Vorgang* tmp =
          new TP_Vorgang[d2.anz];
     for (int i=0; i < d2.anz; ++i) {
        tmp[i] = d2.array[i];
     }
     // bisherigen Speicher freigeben
     delete [] array;
     anz = d2.anz;
     // Zeiger umbiegen
     array = tmp;
  }
  return *this;
}
```

Minimale Standardschnittstelle

Folgende Elemente sind für viele Klassen eine notwendige Grundausstattung:

- Standardkonstruktor: **X()**
- Kopierkonstruktor: **X(const X& x)**
- Destruktor: **~X()**
- Zuweisungsoperator: **X& operator= (const X& x)**

Die Meinungen zum Thema "Minimale Standardschnittstelle" sind allerdings uneinheitlich.

Empfehlung: Beim Entwurf einer Klasse für jedes dieser vier Elemente prüfen, ob es definiert sein soll. Wenn ja, entscheiden, ob das jeweils vom System erzeugte Default-Element in Ordnung ist, oder ob das Element explizit selbst definiert werden soll. Wenn nein, dann sollte das Element explizit unterbunden werden, siehe dazu die folgende Erläuterung.

Unterbinden von Default-Operationen

Das folgende Beispiel zeigt, wie durch Deklaration des Kopierkonstruktors und des Zuweisungsoperators im privaten Bereich die entsprechenden Funktionen unterdrückt werden können. Die zugehörigen Definitionen können entfallen!

H-Datei

```
. . .
class X {
   private:
      . . .
      X(const X& x);
      X& operator= (const X& x);
   public:
       . . .
};
. . .
```

Anwendung

```
. . .
X x1, x2;
. . .
x2 = x1;          Syntaxfehler !
. . .
X x3(x1);         Syntaxfehler !
. . .
```

Unterbinden von Default-Operationen

C++-11

```
class  DefVec {
public:
   DefVec() = default;
   DefVec(int s, double d) :
            size(s), defWert(d) {};
  DefVec(const DefVec&) = delete;
   ~DefVec() = default;
   double GetDefWert(){ return defWert;}
private:
   int size;    double defWert;
};
```

```
int main() {
DefVec v1(1, 1.6);
cout << v1.GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Unterbinden von Default-Operationen

C++-11

```
class  DefVec {
public:
   DefVec() = default;
   DefVec(int s, double d) :
            size(s), defWert(d) {};
  DefVec(const DefVec&) = delete;
   ~DefVec() = default;
   double GetDefWert(){ return defWert;}
private:
   int size;    double defWert;
};
```

```
int main() {
DefVec v1(1, 1.6);
cout << v1.GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

C++-11

Unterbinden von Default-Operationen

```
class  DefVec {
public:
   DefVec() = default;
   DefVec(int s, double d) :
             size(s), defWert(d) {};
  DefVec(const DefVec&) = delete;
   ~DefVec() = default;
  double GetDefWert(){ return defWert;}
private:
   int size;    double defWert;
};
```

```
int main() {
DefVec v1(1, 1.6);
DefVec v3 = v1;
cout << v1.GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Unterbinden von Default-Operationen

C++-11

```
class  DefVec {
public:
   DefVec() = default;
   DefVec(int s, double d) :
            size(s), defWert(d) {};
  DefVec(const DefVec&) = delete;
   ~DefVec() = default;
   double GetDefWert(){ return defWert;}
private:
   int size;    double defWert;
};
```

```
int main() {
DefVec v1(1, 1.6);
DefVec v3 = v1;
cout << v1.GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler; Copy-Constructor verboten
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Unterbinden von Default-Operationen

C++-11

```
class  DefVec {
public:
   DefVec() = default;
   DefVec(int s, double d) :
            size(s), defWert(d) {};
  DefVec(const DefVec&) = delete;
   ~DefVec() = default;
   double GetDefWert(){ return defWert;}
private:
   int size;    double defWert;
};
```

```
int main() {
DefVec v1(1, 1.6);
DefVec v2(2, 2.6);
v2 = v1;
cout << v1.GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Unterbinden von Default-Operationen

C++-11

```
class  DefVec {
public:
   DefVec() = default;
   DefVec(int s, double d) :
            size(s), defWert(d) {};
  DefVec(const DefVec&) = delete;
   ~DefVec() = default;
   double GetDefWert(){ return defWert;}
private:
   int size;    double defWert;
};
```

```
int main() {
DefVec v1(1, 1.6);
DefVec v2(2, 2.6);
v2 = v1;
cout << v1.GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.6
4. 1

Unterbinden von Operationen

C++-11

```
class  NewVec {
public:
NewVec(int s, double d) :
                    size(s), defWert(d) {};
double GetDefWert(){ return defWert; }
void* operator new(std::size_t) = delete;
private:
   int size; double defWert;
};
```

```
int main() {
NewVec n1(1, 1.8);
NewVec* p = &n1;
cout << p->GetDefWert() << endl;
NewVec* p = new NewVec(16, 16.4);
cout << p->GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.8 16.4
4. 1.8 1.8

C++-11

Unterbinden von Operationen

```
class  NewVec {
public:
NewVec(int s, double d) :
                  size(s), defWert(d) {};
double GetDefWert(){ return defWert; }
void* operator new(std::size_t) = delete;
private:
   int size; double defWert;
};
```

```
int main() {
NewVec n1(1, 1.8);
NewVec* p = &n1;
cout << p->GetDefWert() << endl;
NewVec* p = new NewVec(16, 16.4);
cout << p->GetDefWert() << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?
1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 1.8   16.4
4. 1.8   1.8

Bildschirmausgabe ?
1. Compilerfehler, new verboten für diese Klasse
2. Compiler Warnung
3. 1.8   16.4
4. 1.8   1.8

Unterbinden von Operationen

C++-11

```
class  FVec {
public:
  FVec(double d) : w(d) {};
   double Wert(int k) {return k*w;}
   double Wert(double d) = delete;
private:
   double w;
};
```

```
int main() {
FVec f(1.1);
cout << f.Wert(8) << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?
1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 8.0
4. 8.8

Unterbinden von Operationen

C++-11

```
class  FVec {
public:
  FVec(double d) : w(d) {};
   double Wert(int k) {return k*w;}
   double Wert(double d) = delete;
private:
   double w;
};
```

```
int main() {
FVec f(1.1);
cout << f.Wert(8) << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 8.0
4. 8.8

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 8.0
4. 8.8

C++-11

Unterbinden von Operationen

```
class  FVec {
public:
  FVec(double d) : w(d) {};
   double Wert(int k) {return k*w;}
   double Wert(double d) = delete;
private:
   double w;
};
```

```
int main() {
FVec f(1.1);
cout << f.Wert(8.0) << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 8.0
4. 8.8

Unterbinden von Operationen

C++-11

```
class  FVec {
public:
  FVec(double d) : w(d) {};
   double Wert(int k) {return k*w;}
   double Wert(double d) = delete;
private:
   double w;
};
```

```
int main() {
FVec f(1.1);
cout << f.Wert(8.0) << endl;
}
```

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler; darf nicht mit double aufgerufen werden
2. Compiler Warnung
3. 8.0
4. 8.8

Bildschirmausgabe ?

1. Compilerfehler
2. Compiler Warnung
3. 8.0
4. 8.8

Implizite Erzeugung von Destruktoren

Wenn in einer Klasse kein Destruktor explizit definiert ist, dann wird -- entsprechend der impliziten Definition bei den Konstruktoren -- implizit ein Default-Destruktor vom System definiert. So wie Default-Konstruktoren keinen Speicherplatz auf dem Heap reservieren, geben auch Default-Destruktoren keinen Speicherplatz auf dem Heap frei:

- Die implizite Erzeugung eines Default-Destruktors kann in der Regel nur dann korrekt erfolgen, wenn die Klasse keine dynamisch verwalteten Daten (d.h. in der Regel: keine Zeiger) enthält.

Werte- und Zeigersemantik beim Arbeiten mit Objekten

Wertesemantik

```
void fw (. . .) {
   Netz n;      // Konstruktoraufruf
   . . .
   n.fuegeHinzu(v2);
   . . .
}               // Destruktoraufruf
```

Zeigersemantik:

```
void fz (. . .) {
   Netz* pn;
   . . .
   pn =new Netz(0,7); //Konstruktoraufruf
   . . .
   pn->fuegeHinzu(v2)
   . . .
   delete pn;        // Destruktoraufruf
   . . .
}
```