technische universität
dortmund

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2019/20
https://ls11-www.cs.tu-dortmund.de/teaching/ep1920vorlesung

Dr.-Ing. Horst Schirmeier
(mit Material von Prof. Dr. Günter Rudolph)

Arbeitsgruppe Eingebettete Systemsoftware (LS 12)
und Lehrstuhl für Algorithm Engineering (LS11)

Fakultät für Informatik

TU Dortmund

Inhalt

- Zeiger
- Zeigerarithmetik
- Zeiger für dynamischen Speicher
- Anwendungen

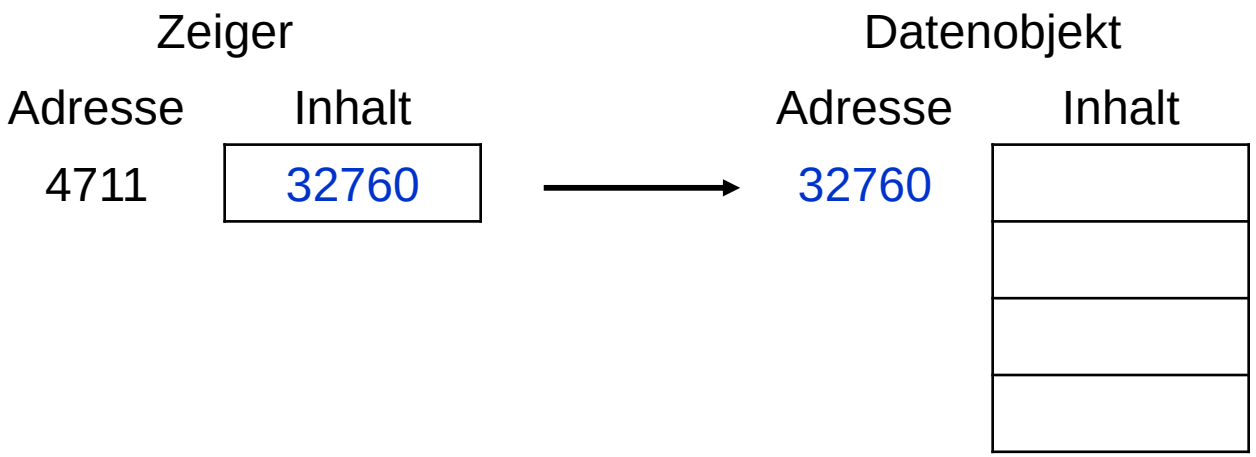
Caveat!

- Fehlermöglichkeiten immens groß
- Falsch gesetzte Zeiger $\Rightarrow$ Verfälschte Daten oder Programmabstürze

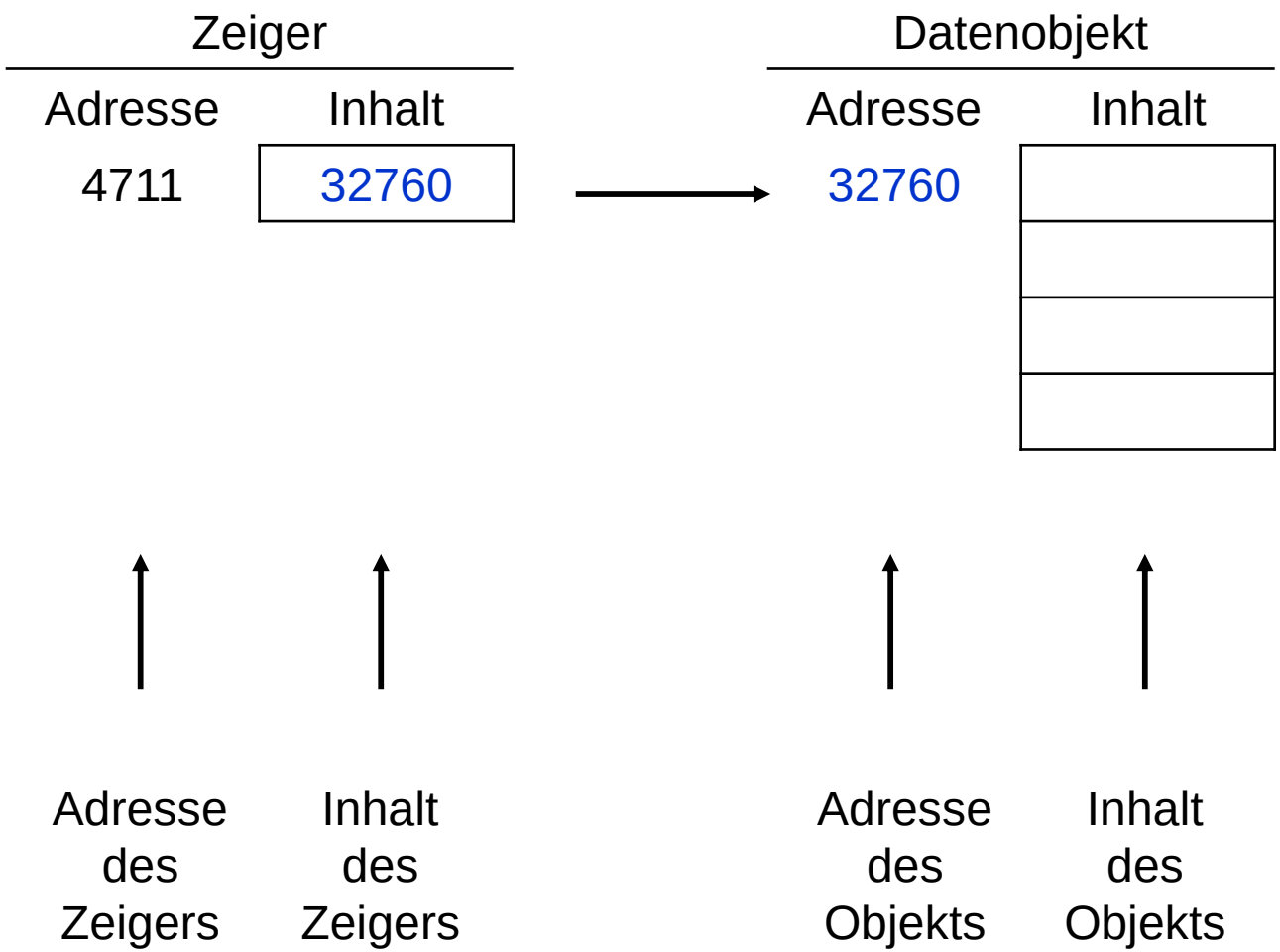
Aber:

- Machtvolles Konzept
- Deshalb genaues Verständnis unvermeidlich!
- Dazu müssen wir etwas ausholen ...

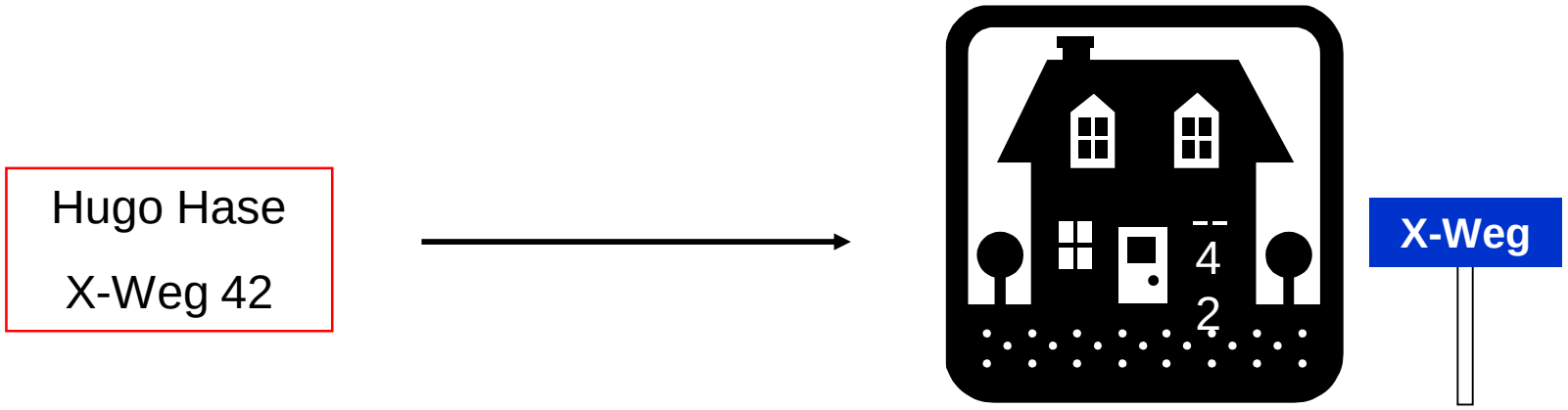
- Speicherplätzen sind fortlaufende Nummern zugeordnet: **Adressen**
- Datentyp legt Größe eines Datenobjektes fest
- Lage eines Datenobjektes im Speicher bestimmt durch Anfangsadresse
- **Zeiger** = Datenobjekt mit Inhalt (Größe: 8 Bytes*)
- Inhalt von Zeigern wird interpretiert als Adresse eines **anderen** Datenobjektes



* Die Größe eines Zeigers in Bytes ist **rechnerabhängig**, z.B. 4 Bytes auf 32-Bit-Rechnern oder 8 Bytes auf 64-Bit-Rechnern.


Zeiger
Adresse
Inhalt
4711
32760
Datenobjekt
Adresse
Inhalt
32760
Adresse des Zeigers
Inhalt des Zeigers
Adresse des Objekts
Inhalt des Objekts

Beispiel: Visitenkarte



Zeiger

Inhalt: Adresse X-Weg 42

Objekt

Inhalt: Hugo Hase

Zeiger: Wofür?

- Weiterreichen eines Zeigers einfacher als Weiterreichen eines Datenobjekts
- Verschieben eines Zeigers einfacher / effizienter als Verschieben eines Datenobjekts
- etc.

Datendefinition:

Datentyp `*`Bezeichner;

→ reserviert 8 Bytes* für einen Zeiger, der auf ein Datenobjekt vom Typ des angegebenen Datentyps verweist

Beispiel:

- `double Umsatz;` ⟵ „Herkömmliche“ Variable vom Type `double`
  `double *pUmsatz;` ⟵ Zeiger auf Datentyp `double`

* wie zuvor erwähnt: Größe eines Zeigers ist **rechnerabhängig**

Was passiert genau?

`double Umsatz;`	reserviert 8 Bytes für Datentyp **`double`**; symbolischer Name: **`Umsatz`**; Rechner kennt jetzt Adresse des Datenobjektes
`double *pUmsatz;`	reserviert 8 Bytes* für einen Zeiger, der auf ein Datenobjekt vom Type **`double`** zeigen kann; symbolischer Name: **`pUmsatz`**
`Umsatz = 122542.12;`	Speicherung des Wertes **`122542.12`** an Speicherort mit symbolischer Adresse **`Umsatz`**
`pUmsatz = &Umsatz;`	**`&`**-Operator holt Adresse des Datenobjektes, das an symbolischer Adresse **`Umsatz`** gespeichert ist; speichert Adresse in **`pUmsatz`**
`*pUmsatz = 125000.;`	**indirekte** Wertzuweisung: Wert **`125000.`** wird als Inhalt an den Speicherort gelegt, auf den **`pUmsatz`** zeigt

* wie zuvor erwähnt: Größe eines Zeigers ist **rechnerabhängig**

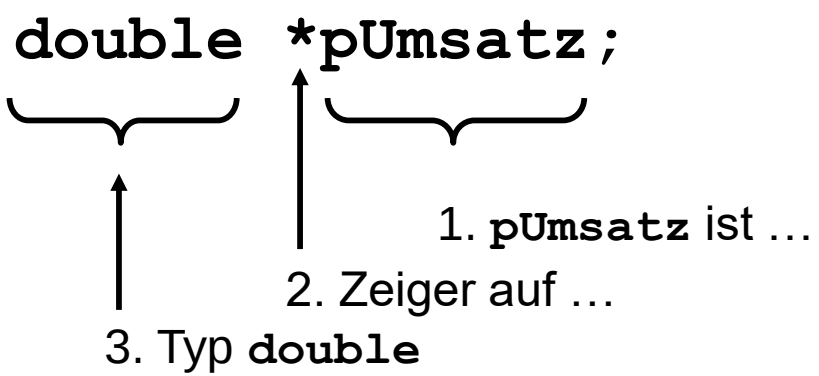
Zwei Operatoren: `*` und `&`

- `*`-Operator:
  - mit Datentyp: Erzeugung eines Zeigers `double *pUmsatz;`
  - mit Variable: Inhalt des Ortes, an den Zeiger zeigt `*pUmsatz = 10.24;`
- `&`-Operator:

  ermittelt Adresse des Datenobjektes `pUmsatz = &Umsatz;`

Wie interpretiert man Datendefinition richtig?

Man lese **von rechts nach links**!



Initialisierung

Sei bereits `double Umsatz;` vorhanden:

```
double *pUmsatz = &Umsatz;
```

```
int *pINT = nullptr; // C++11
```

oder in „altem“ C++

```
int *pINT = 0;       // C++98
```

oder in C

```
int *pINT = NULL;    // C99
```

Nullpointer:
Symbolisiert Adresse, auf der **niemals** ein Datenobjekt liegt!

Verwendung Nullzeiger: Zeiger zeigt auf Nichts, er ist „leer“.

Beispiele:

```
double a = 4.0, b = 5.0, c;
c = a + b;
double *pa = &a, *pb = &b, *pc = &c;
*pc = *pa + *pb;
```

```
double x = 10.;
double y = *&x;
```

Typischer Fehler:

```
double *widerstand;
*widerstand = 120.5;
```

Dem Zeiger wurde **keine Adresse** zugewiesen!

Er zeigt also „irgendwohin“:

a) Falls in geschützten Speicher, dann **Abbruch** wg. Speicherschutzverletzung ☺

b) Falls in nicht geschützten Speicher, dann **Veränderung anderer Daten**!
Folge: Seltsames Programmverhalten, schwer zu diagnostizierender Fehler ☹

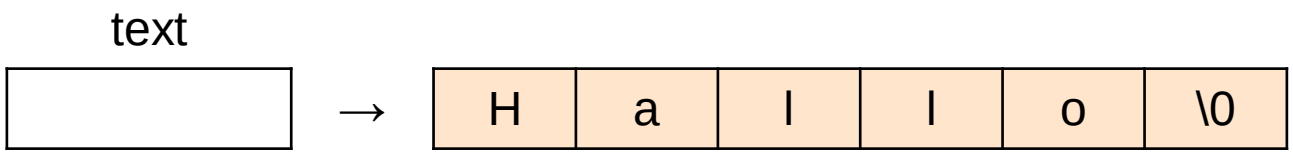
Unterscheidung

- **Zeiger auf konstante Daten**

```
char const *text = "Hallo";
```

von rechts nach links gelesen:
„`text` ist ein Zeiger auf `const`ante(s) `char`“

→ Zeichenkettenketten-Literale (hier: „Hallo“) liegen in einem Speicherbereich, auf den das Programm nicht verändernd zugreifen kann!



- **konstante Zeiger**

```
double * const cpUmsatz = &Umsatz;
```

v.r.n.l.: `cpUmsatz` ist `const`anter Zeiger auf Datentyp `double`

Exkurs: `const`-Qualifizierer

Schlüsselwort **`const`** gibt an, dass Werte nicht verändert werden können.

Zwei Schreibweisen:

```
const int a = 1;
```

identisch zu

```
int const a = 1;
```

→ konstanter Integer

→ da Konstanten kein Wert zuweisbar, **Wertbelegung bei Initialisierung**

Verschiedene Schreibweisen können zu Verwirrungen führen (besonders bei Zeigern)

⇒ am besten konsistent bei einer Schreibweise bleiben!

Exkurs: `const`-Qualifizierer

Fragen:

1. Was ist konstant?
2. Wo kommt das Schlüsselwort **`const`** hin?

```
char *s1;                  // Zeiger auf char

char const *s2;            // Zeiger auf konstante(s) char

char *const s3;            // konstanter Zeiger auf char

char const *const s4;      // konst. Zeiger auf konstante(s) char
```

Sinnvolle Konvention / Schreibweise:

Konstant ist, was **vor** dem Schlüsselwort **`const`** steht!

⇒ Interpretation der Datendefinition / Initialisierung **von rechts nach links**

Exkurs: `const`-Qualifizierer

```
char *s1;

char const *s2;

char * const s3;

char const * const s4;
```

Zeiger	Inhalt
V	V
V	K
K	V
K	K

V: veränderlich

K: konstant

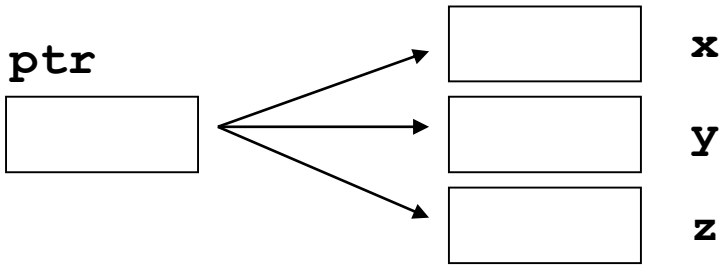
```
*s1 = 'a';
*s2 = 'b';     // Fehler: Inhalt nicht veränderbar
*s3 = 'c';
*s4 = 'd';     // Fehler: Inhalt nicht veränderbar
char const *s0 = "0";
s1 = s0;
s2 = s0;
s3 = s0;       // Fehler: Zeiger nicht veränderbar
s4 = s0;       // Fehler: Zeiger nicht veränderbar
```

Unterscheidung

- **Veränderliche Zeiger**

```
double x = 2.0, y = 3.0, z = 7.0, s = 0.0, *ptr;
ptr = &x;
s += *ptr;
ptr = &y;
s += *ptr;
ptr = &z;
s += *ptr;
```

ptr nimmt nacheinander verschiedene Werte (Adressen) an,
s hat am Ende den Wert 12.0



Zeigerarithmetik

Sei **`T`** ein beliebiger Datentyp in der Datendefinition **`T *ptr;`**

und **`ptr`** ein Zeiger auf ein Feldelement eines Arrays von Typ **`T`**

z.B.:

```
int a[] = { 100, 110, 120, 130 }, *ptr;
ptr = &a[0];
```

Dann bedeutet:

`ptr = ptr + 1;` oder **`++ptr;`**

dass der Zeiger **`ptr`** nun auf das **nächste** Feldelement zeigt.

analog:

`ptr = ptr - 1;` oder **`--ptr;`**

Zeiger **`ptr`** zeigt dann auf das **vorherige** Feldelement.

Zeigerarithmetik

Achtung:

```
T val;
T *ptr = &val;
ptr = ptr + 2;
```

In der letzten Zeile werden **nicht** 2 Bytes zu **`ptr`** hinzugezählt,

sondern **2 mal die Speichergröße des Typs `T`**.

Das wird auch dann durchgeführt, wenn **`ptr`** nicht auf Array zeigt.

Zeigerarithmetik: Beispiel

```
int a[] = { 100, 110, 120, 130 }, *pa, sum = 0;
pa = &a[0];
sum += *pa + *(pa + 1) + *(pa + 2) + *(pa + 3);
```

```
struct KundeT {
  double umsatz;
  float skonto;
};
KundeT Kunde[5], *pKunde;
pKunde = &Kunde[0];
int i = 3;
*pKunde = *(pKunde + i);
```

Größe des Datentyps **`KundeT`**:

8 + 4 = 12 Byte

Sei **`pKunde == 10000`**

Dann **`(pKunde + i) == 10036`**

Zeigerarithmetik

```
char const *quelle = "Ich bin eine Zeichenkette";
int const maxZeichen = 100;
char ziel[maxZeichen], *pz = &ziel[0];
// Länge der Zeichenkette
char const *pq = quelle;
while (*pq != '\0') pq++;
int len = pq - quelle;
if (len < maxZeichen) {
  // Kopieren der Zeichenkette
  pq = quelle;
  while (*pq != '\0') {
    *pz = *pq;
    pz++; pq++;
  }
}
*pz = '\0';
```

Kommentar

Kommentar

Das geht „kompakter“!

später!

Zeiger auf Datenverbund (struct)

```
struct punktT { int x, y; };
punktT punkt[1000];
punktT *ptr = punkt;
```

```
punkt[0].x = 10;
punkt[2].x = 20;
punkt[k].x = 100;
```

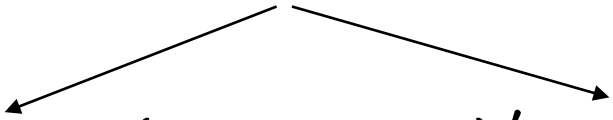
⇔

```
ptr->x = 10;
(ptr + 2)->x = 20;
(ptr + k)->x = 100;
```

(*ptr).x ist identisch zu **ptr->x**

Aufgabe:

Lese zwei Vektoren reeller Zahlen der Länge n ein.



$$a = (a_1, \ldots, a_n)' \qquad b = (b_1, \ldots, b_n)'$$

Berechne das Skalarprodukt … $\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot b_i$

… und gebe den Wert auf dem Bildschirm aus!

Lösungsansatz:

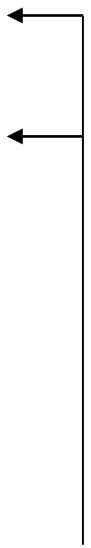
Vektoren als Arrays von Typ **`double`**.

n darf höchstens gleich der Arraygröße sein! Testen und ggf. erneute Eingabe!

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
  unsigned int const nmax = 100;
  unsigned int i, n;
  double a[nmax], b[nmax];

  // Dimension n einlesen und überprüfen
  do {
    cout << "Dimension ( n < " << nmax << " ): ";
    cin >> n;
  } while (n < 1 || n > nmax);
```



(Fortsetzung folgt …)

Datendefinition `double a[nmax]` OK, weil **`nmax`** eine Konstante ist!

Ohne **`const`**: Fehlermeldung!
z.B. „Konstanter Ausdruck erwartet“

Der aktuelle GNU-C++-Compiler erlaubt Folgendes:

```
#include <iostream>
int main() {
  int n;
  std::cin >> n;
  double a[n];
  a[0] = 3.14;
  return 0;
}
```

Aber: Der Microsoft-C++-Compiler (VS 2003) meldet einen Fehler.

Variable Arraygrenzen sind nicht Bestandteil des C++-Standards!

Verwendung von Compiler-spezifischen Spracherweiterungen führt zu Code, der **nicht portabel** ist! ☹ 💣 ☠

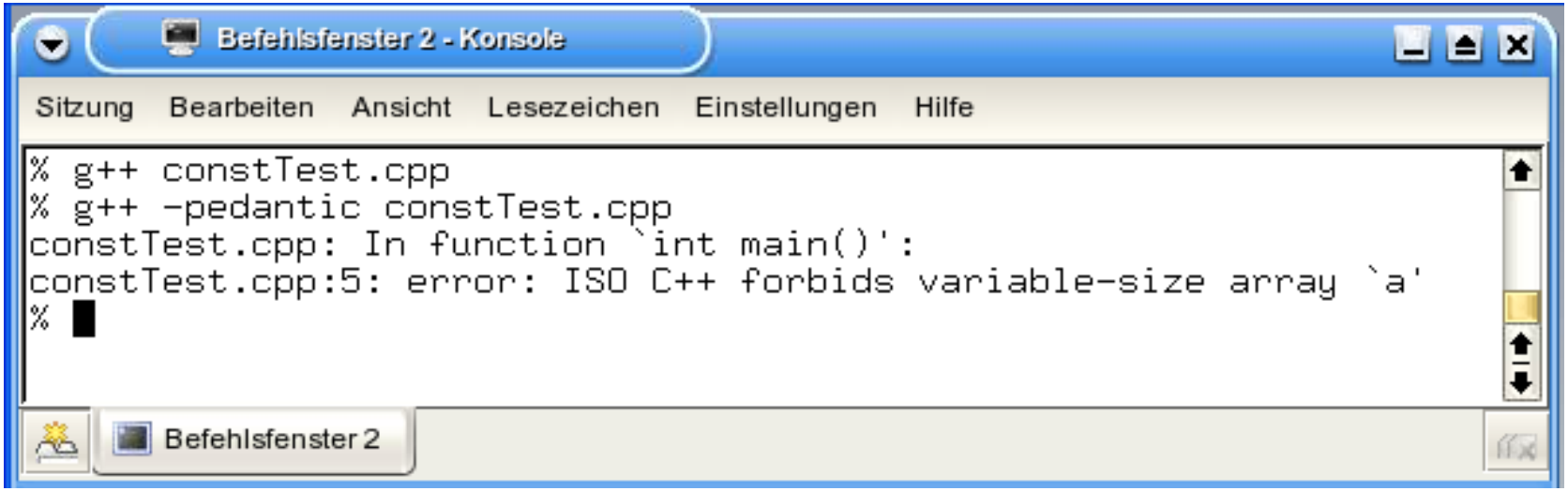
Das ist nicht wünschenswert!

```
#include <iostream>
int main() {
  int n;
  std::cin >> n;
  double a[n];
  a[0] = 3.14;
  return 0;
}
```

Also: Bei Softwareentwicklung nur Sprachelemente des C++-Standards verwenden.

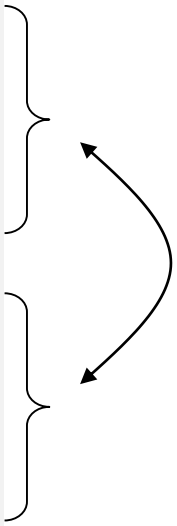
Bei GNU-Compiler: Option **`-pedantic`**

C++-Standard **ISO/IEC 14882:2017**
z.B. als PDF-Datei erhältlich für 198 CHF
`https://www.iso.org/standard/68564.html`



(… Fortsetzung)

```
  // Vektor a einlesen
  for (i = 0; i < n; i++) {
    cout << "a[" << i << "]= ";
    cin >> a[i];
  }
  // Vektor b einlesen
  for (i = 0; i < n; i++) {
    cout << "b[" << i << "]= ";
    cin >> b[i];
  }
  // Skalarprodukt berechnen
  double sp = 0.;
  for (i = 0; i < n; i++)
    sp += a[i] * b[i];
  // Ausgabe
  cout << "Skalarprodukt = " << sp << endl;
  return 0;
}
```



Anmerkung:

Fast identischer Code!

Effizienter mit **Funktionen**.

→ nächstes Kapitel

Unbefriedigend bei der Implementierung:

Maximale festgelegte Größe des Vektors

→ Liegt an der unterliegenden Datenstruktur Array:

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

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

Das geht mit **dynamischem Speicher** in Verbindung mit **Zeigern**!

Erzeugen und Löschen eines Objekts zur Laufzeit:

1. Operator **new** erzeugt Objekt
2. Operator **delete** löscht zuvor erzeugtes Objekt

Beispiel: (Erzeugen)

```
int *xp     = new int;
double *yp = new double;
struct PunktT {
  int x, y;
};
PunktT *pp = new PunktT;
```

Beispiel: (Löschen)

```
delete xp;
delete yp;



delete pp;
```

```
int n         = 10;
int *xap      = new int[n];
PunktT *pap = new PunktT[n];
```

```
delete[] xap;
delete[] pap;
```

variabel, nicht konstant!

Bauplan:

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

delete Variable; (Löschen)

Bauplan für Arrays:

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

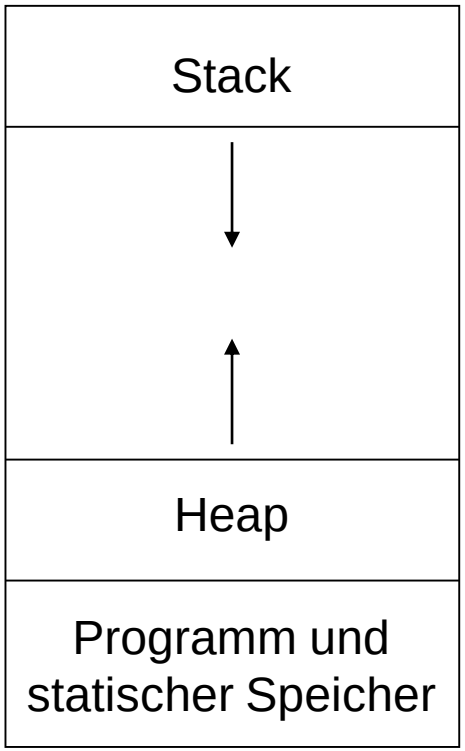
delete[] Variable; (Löschen)

Achtung:

Dynamisch erzeugte Objekte **müssen auch wieder gelöscht werden**, es gibt in C++ keine automatische Speicherbereinigung.

Wo wird Speicher angelegt?

⇒ im **Freispeicher** alias **Heap** alias **dynamischen Speicher**



wächst nach
„unten“

wächst nach
„oben“

wenn Heapgrenze
auf Stackgrenze stößt:

`Out of Memory Error`

⇓

Stack bereinigt sich selbst,
für Heap ist Programmierer
verantwortlich!

Zurück zur **Beispielaufgabe:**

```
unsigned int const nmax = 100;
unsigned int i, n;
double a[nmax], b[nmax];
// Dimension n einlesen und überprüfen
do {
  cout << "Dimension ( n < " << nmax << " ): ";
  cin >> n;
} while (n < 1 || n > nmax);
```

vorher:

statischer Speicher

```
unsigned int i, n;
double *a, *b;
do {
  cout << "Dimension: ";
  cin >> n;
} while (n < 1);
a = new double[n];
b = new double[n];
```

nachher:

dynamischer Speicher

Nicht vergessen:

Am Ende angeforderten dynamische Speicher wieder freigeben!

```
   delete[] a;
   delete[] b;
   return 0;
}
```

Sonst **„Speicherleck“**:
Wenn ein Programm wiederholt Speicher anfordert, aber nicht mehr benötigten nicht freigibt, konsumiert es **immer mehr und mehr Speicher**, bis das Betriebssystem keinen mehr zur Verfügung stellen kann.

⇒ Programm terminiert anormal mit Fehlermeldung!

Beispiel für **programmierten Absturz**:

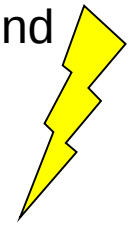
```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
  unsigned int const size = 100 * 1024;
  unsigned short k = 0;

  while (++k < 5000) {
    double* ptr = new double[size];
    cout << k << endl;
    // delete[] ptr;
  }
  return 0;
}
```

bei **k** ≈ 2500 sind 2 GB erreicht

⇒ Abbruch!

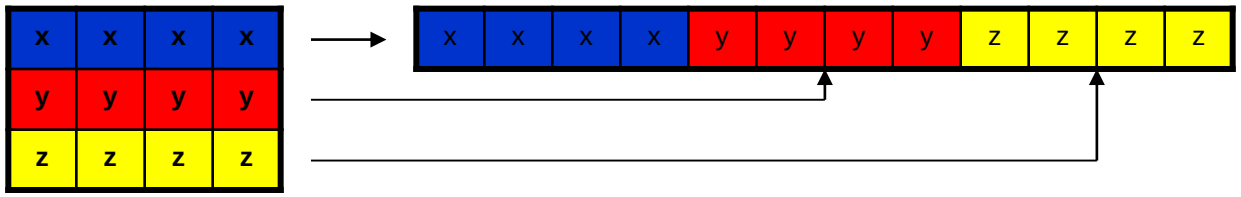


Projekt: Matrix mit dynamischem Speicher (Größe zur Laufzeit festgelegt)

Vorüberlegungen:

Speicher im Rechner ist **linear**!

⇒ Rechteckige / flächige Struktur der Matrix linearisieren!



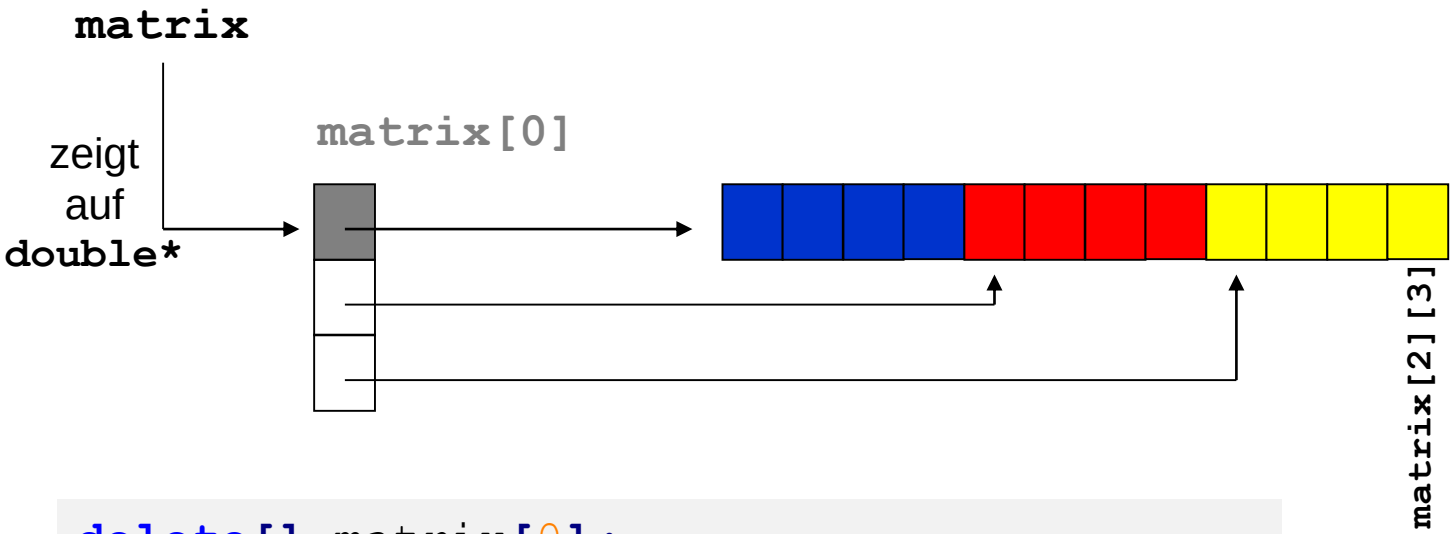
n Zeilen, m Spalten ⇒ n x m Speicherplätze!

Projekt: Matrix mit dynamischem Speicher (Größe zur Laufzeit festgelegt)

```
double **matrix;     // double *matrix[];
matrix = new double*[zeilen];
matrix[0] = new double[zeilen * spalten];
for (i = 1; i < zeilen; i++)
  matrix[i] = matrix[i-1] + spalten;
```

Zugriff wie beim zweidimensionalen statischen Array:

```
matrix[2][3] = 2.3;
```




```
delete[] matrix[0];
delete[] matrix;
```

```
int main() {
    unsigned int i, j, zeilen, spalten;
    cout << "Zeilen = "; cin >> zeilen;
    cout << "Spalten = "; cin >> spalten;

    double **matrix = new double*[zeilen];
    matrix[0] = new double[zeilen * spalten];
    for (i = 1; i < zeilen; i++)
        matrix[i] = matrix[i-1] + spalten;

    for (i = 0; i < zeilen; i++)
        for (j = 0; j < spalten; j++)
            matrix[i][j] = i * spalten + j;

    delete[] matrix[0];
    delete[] matrix;
    return 0;
}
```

Speicher anfordern

Adressen berechnen

Zugriff per Indices

Speicher freigeben