

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2017/18

Prof. Dr. Günter Rudolph
Lehrstuhl für Algorithm Engineering
Fakultät für Informatik
TU Dortmund

Kapitel 4: Zeiger

Inhalt

- Zeiger
- Zeigerarithmetik
- Zeiger für dynamischen Speicher
- Anwendungen

Zeiger

Kapitel 4

Caveat!

- Fehlermöglichkeiten immens groß!
- Falsch gesetzte Zeiger \Rightarrow Programm- und zuweilen Rechnerabstürze!

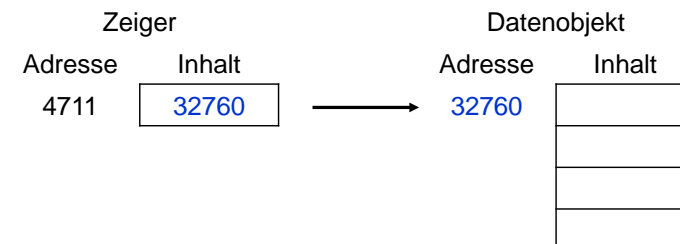
Aber:

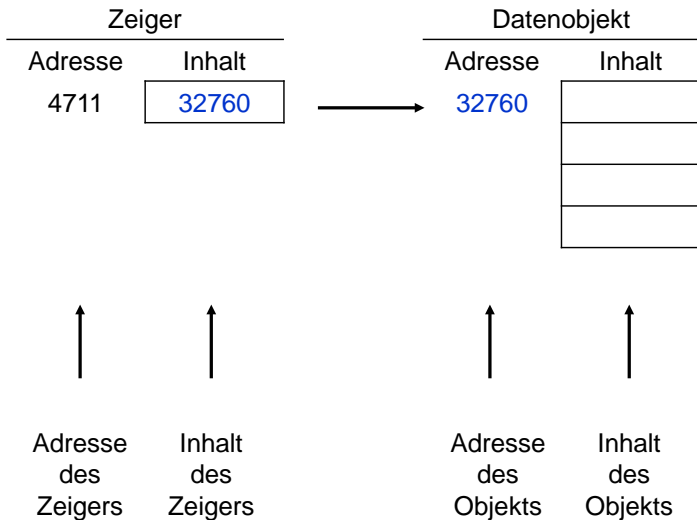
- Machtvolles Konzept!
- Deshalb genaues Verständnis unvermeidlich!
- Dazu müssen wir etwas ausholen ...

Zeiger

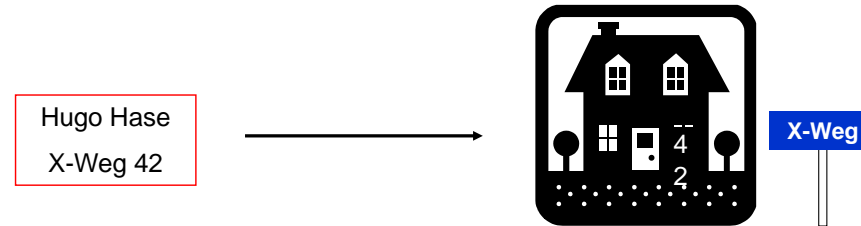
Kapitel 4

- Speicherplätzen sind fortlaufende Nummern (= Adressen) zugeordnet
- Datentyp legt Größe eines Datenobjektes fest
- Lage eines Datenobjektes im Speicher bestimmt durch Anfangsadresse
- **Zeiger** = Datenobjekt mit Inhalt (4 Byte)
- Inhalt interpretiert als Adresse eines **anderen** Datenobjektes





Beispiel: Visitenkarte



Zeiger

Objekt

Inhalt: Adresse X-Weg 42

Inhalt: Hugo Hase

Zeiger: Wofür?

- Zeiger weiterreichen einfacher als Datenobjekt weiterreichen
- Zeiger verschieben einfacher / effizienter als Datenobjekt verschieben
- etc.

Datendefinition

Datentyp *Bezeichner;

→ reserviert 4 Byte 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`

Was passiert genau?

`double Umsatz;`

reserviert 8 Byte für Datentyp `double`;
symbolischer Name: `Umsatz`;
Rechner kennt jetzt Adresse des Datenobjektes

`double *pUmsatz;`

reserviert 4 Byte 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;`

holt Adresse des Datenobjektes, das an symbolischer Adresse `Umsatz` gespeichert ist; speichert Adresse in `pUmsatz`

`*pUmsatz = 125000.;`

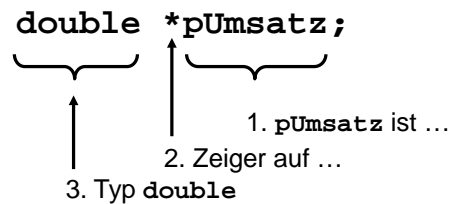
indirekte Wertzuweisung:
Wert `125000.` wird als Inhalt an den Speicherort gelegt, auf den `pUmsatz` zeigt

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“! Leerer Zeiger.

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 irgendwo hin:

- a) Falls in geschützten Speicher, dann **Abbruch** wg. Speicherverletzung! ☹
- b) Falls in nicht geschützten Speicher, dann Veränderung anderer Daten!
Folge: Seltsames Programmverhalten! Schwer zu erkennender Fehler! ☹

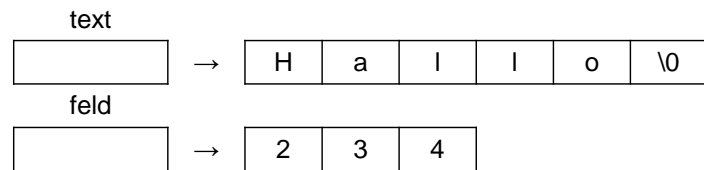
Unterscheidung

• Konstante Zeiger

```
char *text = "Hallo";
int feld[] = { 2, 3, 4 };
```

zeigt auf feste Adresse im Speicher, auf die Programmierer nicht verändernd zugreifen kann!

Aber: Es gibt Compiler-spezifische Unterschiede!



```
int *const cpFeld = feld;
```

v.r.n.l.: cpFeld ist konstanter Zeiger auf Datentyp int

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

Leider gibt es 2 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!

Fragen:

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

```
char* s1           = "Zeiger auf char";
char const* s2     = "Zeiger auf konstante char";
char* const s3     = "Konstanter Zeiger auf char";
char const* const s4 = "Konstanter Zeiger auf konstante char";
```

Sinnvolle Konvention / Schreibweise:

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

⇒ Interpretation der Datendefinition / Initialisierung von rechts nach links!

		Zeiger	Inhalt	
<code>char* s1</code>	<code>= "1";</code>	V	V	
<code>char const* s2</code>	<code>= "2";</code>	V	K	V: veränderlich
<code>char* const s3</code>	<code>= "3";</code>	K	V	K: konstant
<code>char const* const s4</code>	<code>= "4";</code>	K	K	

```
*s1 = 'a';
*s2 = 'b'; // Fehler: Inhalt nicht veränderbar
*s3 = 'c';
*s4 = 'd'; // Fehler: Inhalt nicht veränderbar
```

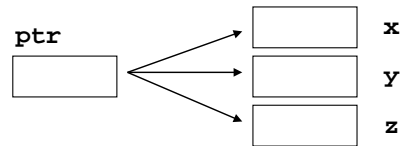
```
char* s0 = "0";
s1 = s0;
s2 = s0;
s3 = s0; // Fehler: Zeiger nicht veränderbar
s4 = s0; // Fehler: Zeiger nicht veränderbar
```

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

Dann bedeutet:

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

dass der Zeiger `ptr` 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 Byte zu `ptr` hinzugezählt,
 sondern 2 mal die Speichergröße des Typs T .

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

Zeigerarithmetik

```
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 *quelle = "Ich bin eine Zeichenkette";
int const maxZeichen = 100;
char ziel[maxZeichen] , *pz = &ziel[0];

// Länge der Zeichenkette
char *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.

$$a = (a_1, \dots, a_n)' \quad b = (b_1, \dots, b_n)'$$

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 14882-2003
z.B. als PDF-Datei erhältlich für 30\$
<http://webstore.ansi.org/>

```
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe

% g++ constTest.cpp
% g++ -pedantic constTest.cpp
constTest.cpp: In function `int main()':
constTest.cpp:5: error: ISO C++ forbids variable-size array `a'
% █
```

(... 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.

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!**

Das geht mit **dynamischem Speicher** ...

... und **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:

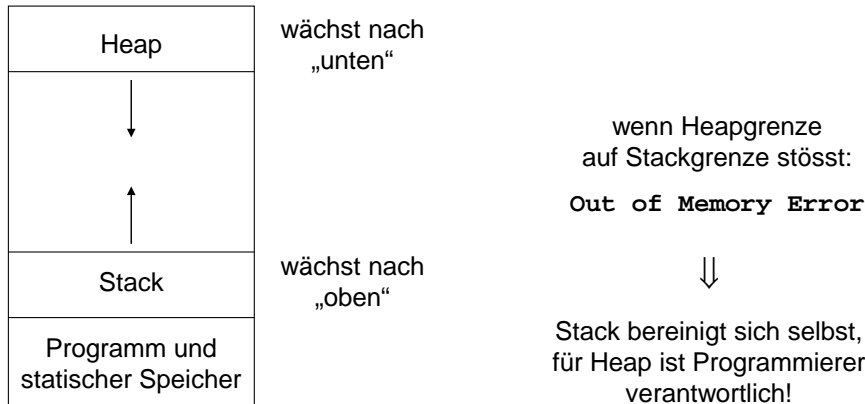
```
Datentyp *Variable = new Datentyp[Anzahl];   (Erzeugen)
delete[] Variable;                             (Löschen)
```

Achtung:

Dynamisch erzeugte Objekte müssen auch wieder gelöscht werden!
Keine automatische Speicherbereinigung!

Wo wird Speicher angelegt?

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



Zurück zur **Beispielaufgabe:**

```
unsigned int const nmax = 100;
unsigned int i, n;
double a[nmax], b[nmax];

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“!


⇒ Programm terminiert möglicherweise 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;
}
```

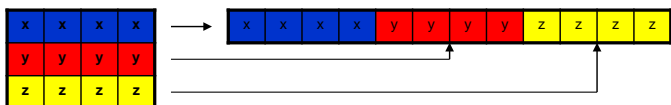
bei $k \approx 2500$ sind 2 GB erreicht
⇒ Abbruch! 

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

Vorüberlegungen:

Speicher im Rechner ist **linear**!

⇒ Rechteckige / flächige Struktur der Matrix linearisieren!

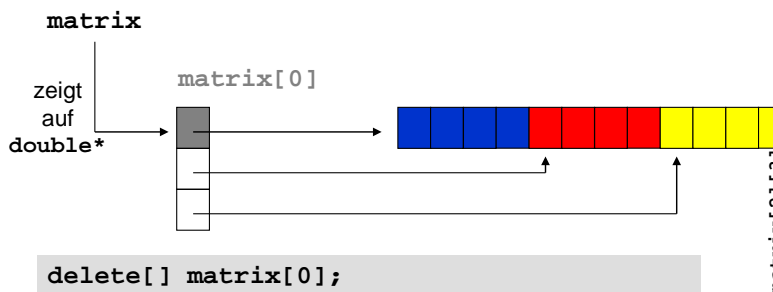


n Zeilen, m Spalten ⇒ n x m Speicherplätze!

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, 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