

12. Felder (Arrays) II

Strings, Lindenmayer-Systeme, Mehrdimensionale Felder, Vektoren von Vektoren, Kürzeste Wege, Felder und Vektoren als Funktionsargumente

408

Strings: gepimpte char-Felder

Ein `std::string`...

- kennt seine Länge

```
text.length()
```

gibt Länge als `int` zurück (Aufruf einer Mitglieds-Funktion; später in der Vorlesung)

- kann mit variabler Länge initialisiert werden

```
std::string text (n, 'a')
```

text wird mit n 'a's gefüllt

- „versteht“ Vergleiche

```
if (text1 == text2) ...
```

true wenn text1 und text2 übereinstimmen

410

Texte

- können mit dem Typ `std::string` aus der Standardbibliothek repräsentiert werden.

```
std::string text = "bool";
```

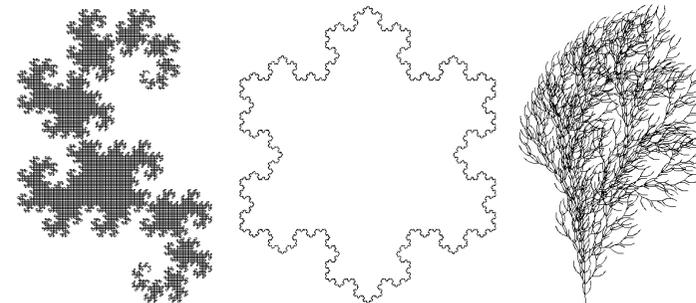
definiert einen String der Länge 4

- Ein String ist im Prinzip ein Feld mit zugrundeliegendem Typ `char`, plus Zusatzfunktionalität
- Benutzung benötigt `#include <string>`

409

Lindenmayer-Systeme (L-Systeme)

Fraktale aus Strings und Schildkröten



L-Systeme wurden vom ungarischen Biologen Aristid Lindenmayer (1925–1989) zur Modellierung von Pflanzenwachstum erfunden.

411

Definition und Beispiel

- Alphabet Σ
- Σ^* : alle endlichen Wörter über Σ
- Produktion $P : \Sigma \rightarrow \Sigma^*$
- Startwort $s_0 \in \Sigma^*$

c	$P(c)$
F	F + F +
+	+
-	-

■ F

Definition

Das Tripel $\mathcal{L} = (\Sigma, P, s_0)$ ist ein L-System.

Die beschriebene Sprache

Wörter $w_0, w_1, w_2, \dots \in \Sigma^*$:

$$P(F) = F + F +$$

$$w_0 := s_0$$

$$w_0 := F$$

$$w_1 := P(w_0)$$

$$w_1 := F + F +$$

$$w_2 := P(w_1)$$

$$w_2 := F + F + + F + F + +$$

$P(F)P(+)P(F)P(+)$

⋮

⋮

Definition

$$P(c_1 c_2 \dots c_n) := P(c_1)P(c_2) \dots P(c_n)$$

412

413

Turtle-Grafik

Schildkröte mit Position und Richtung



Schildkröte versteht 3 Befehle:

F: Gehe einen Schritt vorwärts ✓



+: Drehe dich um 90 Grad ✓



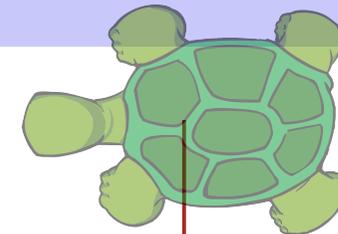
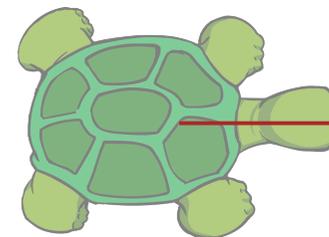
-: Drehe dich um -90 Grad ✓



414

Wörter zeichnen!

$$w_1 = F + F + \checkmark$$



415

lindenmayer.cpp:

Hauptprogramm

Wörter $w_0, w_1, w_2, \dots, w_n \in \Sigma^*$:

std::string

```
...
#include "turtle.h"
...
std::cout << "Number of iterations =? ";
unsigned int n;
std::cin >> n;
```

```
std::string w = "F";
```

$w = w_0 = F$

```
for (unsigned int i = 0; i < n; ++i)
    w = next_word (w);
```

$w = w_i \rightarrow w = w_{i+1}$

```
draw_word (w);
```

Zeichne $w = w_n!$

416

lindenmayer.cpp:

next_word

```
// POST: replaces all symbols in word according to their
//      production and returns the result
std::string next_word (std::string word) {
    std::string next;
    for (unsigned int k = 0; k < word.length(); ++k)
        next += production (word[k]);
    return next;
}

// POST: returns the production of c
std::string production (char c) {
    switch (c) {
        case 'F': return "F+F+";
        default: return std::string (1, c); // trivial production  $c \rightarrow c$ 
    }
}
```

417

lindenmayer.cpp:

draw_word

```
// POST: draws the turtle graphic interpretation of word
void draw_word (std::string word)
{
```

```
for (unsigned int k = 0; k < word.length(); ++k)
```

```
switch (word[k]) {
```

Springe zum case, der word[k] entspricht.

```
case 'F':
```

```
    turtle::forward();
```

Vorwärts! (Funktion aus unserer Schildkröten-Bibliothek)

```
    break;
```

Überspringe die folgenden cases

```
case '+':
```

```
    turtle::left(90);
```

Drehe dich um 90 Grad! (Funktion aus unserer Schildkröten-Bibliothek)

```
    break;
```

```
case '-':
```

```
    turtle::right(90);
```

Drehe dich um -90 Grad! (Funktion aus unserer Schildkröten-Bibliothek)

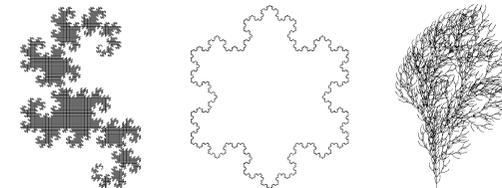
```
}
```

```
}
```

418

L-Systeme: Erweiterungen

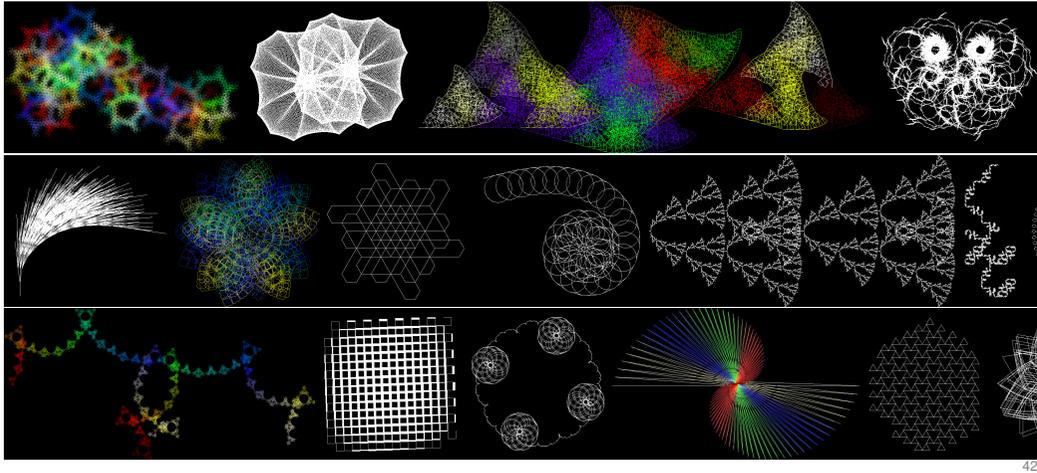
- Beliebige Symbole ohne grafische Interpretation (dragon.cpp)
- Beliebige Drehwinkel (snowflake.cpp)
- Sichern und Wiederherstellen des Schildkröten-Zustandes → Pflanzen (bush.cpp)



419

L-System-Challenge:

amazing.cpp!



Mehrdimensionale Felder

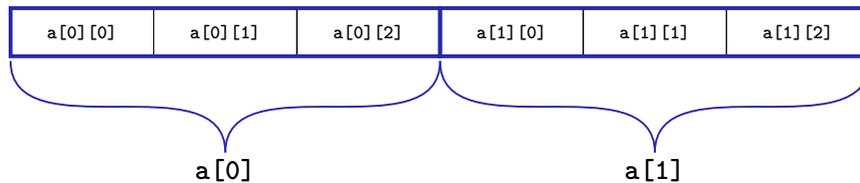
- sind Felder von Feldern
- dienen zum Speichern von *Tabellen, Matrizen, ...*

```
int a[2][3]
```

a hat zwei Elemente, und jedes von ihnen ist ein Feld der Länge 3 mit zugrundeliegendem Typ `int`

Mehrdimensionale Felder

Im Speicher: flach



Im Kopf: Matrix

		Spalten		
		0	1	2
Zeilen	0	a[0][0]	a[0][1]	a[0][2]
	1	a[1][0]	a[1][1]	a[1][2]

422

Mehrdimensionale Felder

- sind Felder von Feldern von Feldern ...

```
T a[expr1] ... [exprk]
```

Konstante Ausdrücke!

a hat $expr_1$ Elemente und jedes von ihnen ist ein Feld mit $expr_2$ Elementen, von denen jedes ein Feld mit $expr_3$ Elementen ist, ...

421

423

Mehrdimensionale Felder

Initialisierung:

```
int a[][3] =  
{  
    {2,4,6}, {1,3,5}  
}
```

Erste Dimension kann weggelassen werden

2	4	6	1	3	5
---	---	---	---	---	---

424

Vektoren von Vektoren

- Wie bekommen wir mehrdimensionale Felder mit variablen Dimensionen?
- Lösung: Vektoren von Vektoren

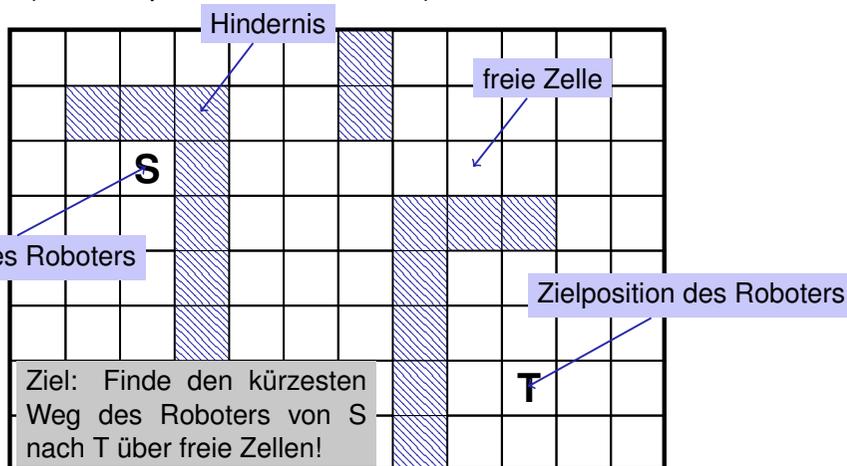
Beispiel: Vektor der Länge n von Vektoren der Länge m :

```
std::vector<std::vector<int>> a (n,  
                                std::vector<int>(m));
```

425

Anwendung: Kürzeste Wege

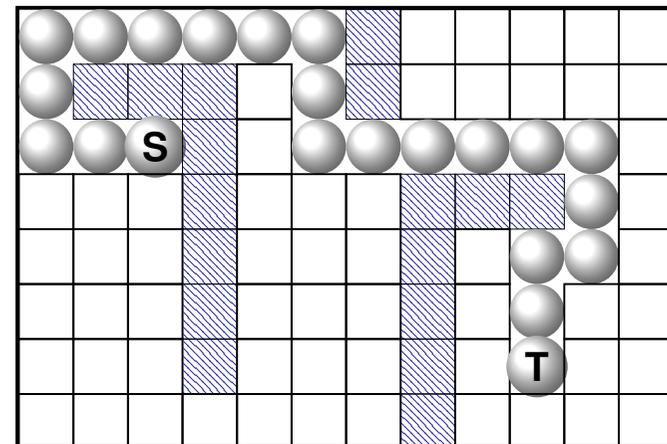
Fabrik-Halle ($n \times m$ quadratische Zellen)



426

Anwendung: Kürzeste Wege

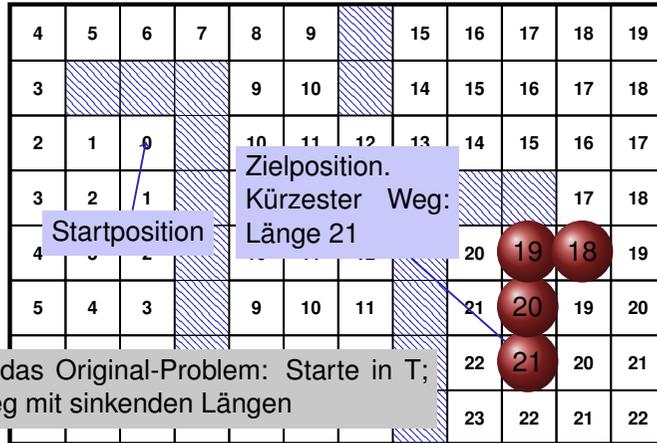
Lösung



427

Ein (scheinbar) anderes Problem

Finde die *Längen* der kürzesten Wege zu *allen* möglichen Zielen

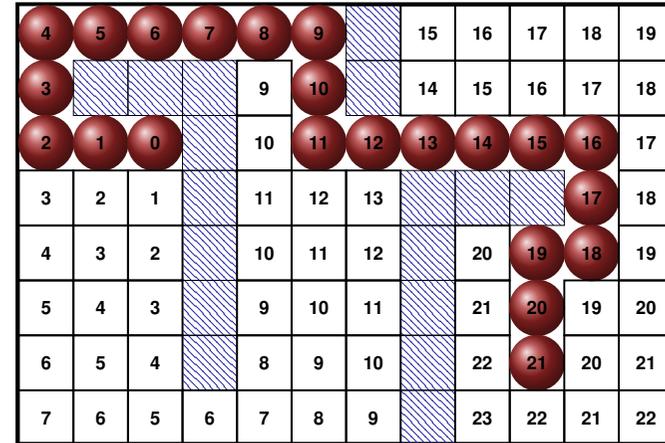


Das löst auch das Original-Problem: Starte in T; folge einem Weg mit sinkenden Längen

428

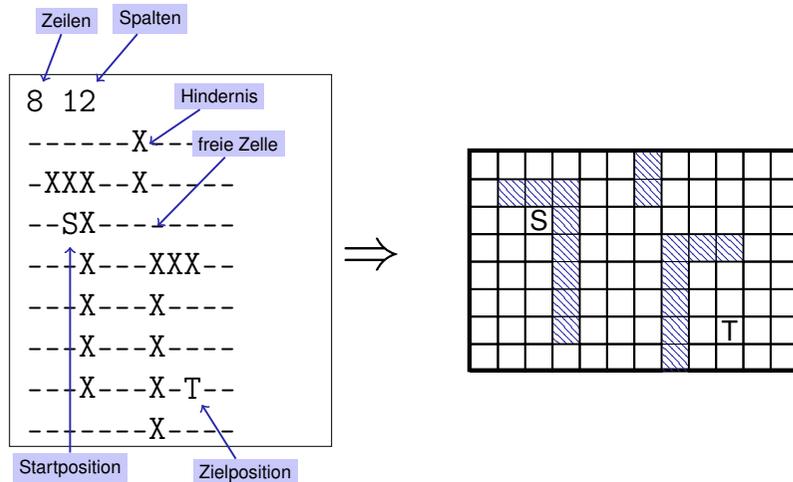
Ein (scheinbar) anderes Problem

Finde die *Längen* der kürzesten Wege zu *allen* möglichen Zielen



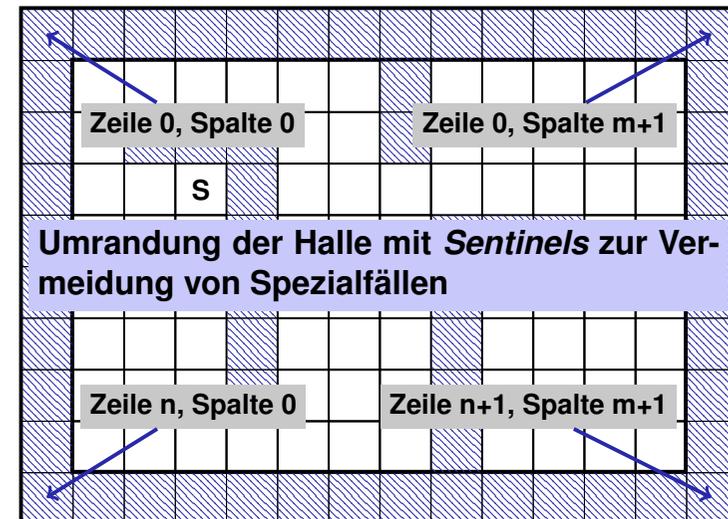
429

Vorbereitung: Eingabeformat



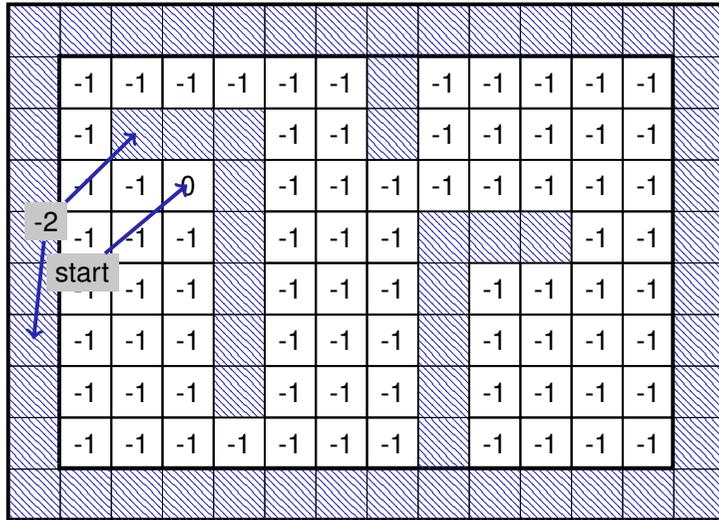
430

Vorbereitung: Wächter (Sentinels)



431

Vorbereitung: Initiale Markierung



432

Das Kürzeste-Wege-Programm

- Einlesen der Dimensionen und Bereitstellung eines zweidimensionalen Feldes für die Weglängen

```
#include<iostream>
#include<vector>

int main()
{
    // read floor dimensions
    int n; std::cin >> n; // number of rows
    int m; std::cin >> m; // number of columns

    // define a two-dimensional
    // array of dimensions
    // (n+2) x (m+2) to hold the floor plus extra walls around
    std::vector<std::vector<int>> floor (n+2, std::vector<int>(m+2));
```

Wächter (Sentinel)

433

Das Kürzeste-Wege-Programm

- Einlesen der Hallenbelegung und Initialisierung der Längen

```
int tr = 0;
int tc = 0;
for (int r=1; r<n+1; ++r)
    for (int c=1; c<m+1; ++c) {
        char entry = '-';
        std::cin >> entry;
        if (entry == 'S') floor[r][c] = 0;
        else if (entry == 'T') floor[tr = r][tc = c] = -1;
        else if (entry == 'X') floor[r][c] = -2;
        else if (entry == '-') floor[r][c] = -1;
    }
```

435

Das Kürzeste-Wege-Programm

- Hinzufügen der umschließenden „Wände“

```
for (int r=0; r<n+2; ++r)
    floor[r][0] = floor[r][m+1] = -2;

for (int c=0; c<m+2; ++c)
    floor[0][c] = floor[n+1][c] = -2;
```

436

Das Kürzeste-Wege-Programm: Ausgabe

Ausgabe

```
for (int r=1; r<n+1; ++r) {
  for (int c=1; c<m+1; ++c)
    if (floor[r][c] == 0)
      std::cout << 'S';
    else if (r == tr && c == tc)
      std::cout << 'T';
    else if (floor[r][c] == -3)
      std::cout << 'o';
    else if (floor[r][c] == -2)
      std::cout << 'X';
    else
      std::cout << '-';
  std::cout << "\n";
}
```



```
oooooX-----
oXXX-oX-----
ooSX-oooooo-
---X---XXXo-
---X---X-oo-
---X---X-o--
---X---X-T--
-----X-----
```

441

Das Kürzeste-Wege-Programm

- Algorithmus: *Breitensuche*
- Das Programm kann recht langsam sein, weil für jedes i alle Zellen durchlaufen werden
- Verbesserung: Für Markierung i , durchlaufe nur die Nachbarn der Zellen mit Markierung $i - 1$

442

Felder als Funktionsargumente

Felder können auch als *Referenz*-Argumente an eine Funktion übergeben werden. (Hier **const**, weil nur Lesezugriff nötig).

```
void print_vector(const int (&v)[3]) {
  for (int i = 0; i<3 ; ++i) {
    std::cout << v[i] << " ";
  }
}
```

443

Felder als Funktionsargumente

Das geht auch für mehrdimensionale Felder.

```
void print_matrix(const int (&m)[3][3]) {
  for (int i = 0; i<3 ; ++i) {
    print_vector (m[i]);
    std::cout << "\n";
  }
}
```

444

Vektoren als Funktionsargumente

Vektoren können *per value*, aber auch als *Referenz*-Argumente an eine Funktion übergeben werden.

```
void print_vector(const std::vector<int>& v) {
    for (int i = 0; i<v.size() ; ++i) {
        std::cout << v[i] << " ";
    }
}
```

Hier: *Call by Reference* ist effizienter, weil der Vektor sehr lang sein kann.

445

Vektoren als Funktionsargumente

Das geht auch für mehrdimensionale Vektoren.

```
void print_matrix(const std::vector<std::vector<int> >& m) {
    for (int i = 0; i<m.size() ; ++i) {
        print_vector (m[i]);
        std::cout << "\n";
    }
}
```

446

13. Zeiger, Algorithmen, Iteratoren und Container I

Zeiger, Address- und Dereferenoperator,
Feld-nach-Zeiger-Konversion

447

Komische Dinge...

```
#include<iostream>
#include<algorithm>

int main(){
    int a[] = {3, 2, 1, 5, 4, 6, 7};

    // gib das kleinste Element in a aus
    std::cout << *std::min_element (a, a + 7);

    return 0;
}
```

↑
???

↑
???

Dafür müssen wir zuerst *Zeiger* verstehen!

448

Referenzen: Wo ist Anakin?

```
int anakin_skywalker = 9;  
int& darth_vader = anakin_skywalker;  
darth_vader = 22;
```

```
// anakin_skywalker = 22
```

“Suche nach Vader, und Anakin finden du wirst.”



449

Zeiger: Wo ist Anakin?

```
int anakin_skywalker = 9;  
int* here = &anakin_skywalker;  
std::cout << here; // Adresse  
*here = 22;
```

```
// anakin_skywalker = 22
```

“Anakins Adresse ist 0x7fff6bdd1b54.”



450

Swap mit Zeigern

```
void swap(int* x, int* y){  
    int t = *x;  
    *x = *y;  
    *y = t;  
}
```

```
...  
int a = 2;  
int b = 1;  
swap(&a, &b);  
std::cout << "a= " << a << "\n"; // 1  
std::cout << "b = " << b << "\n"; // 2
```

451

Zeiger Typen

T* Zeiger-Typ zum zugrunde liegenden Typ T.

Ein Ausdruck vom Typ T* heisst *Zeiger* (auf T).

452

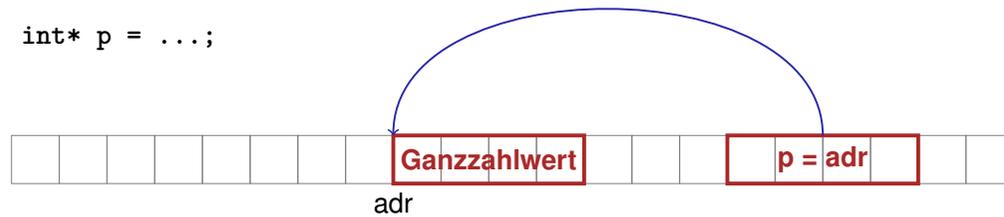
Zeiger Typen

Wert eines Zeigers auf T ist die Adresse eines Objektes vom Typ T.

Beispiele

```
int* p; Variable p ist Zeiger auf ein int.  
float* q; Variable q ist Zeiger auf ein float.
```

```
int* p = ...;
```



453

Adress-Operator

Der Ausdruck

L-Wert vom Typ T

↓
& lval

liefert als R-Wert einen *Zeiger* vom Typ T^* auf das Objekt an der Adresse von *lval*

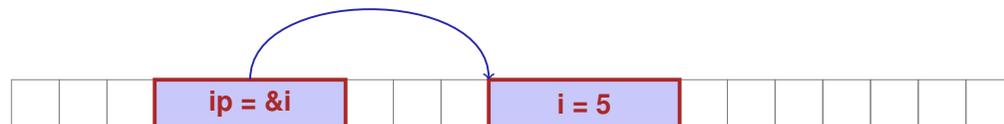
Der Operator & heisst **Adress-Operator**.

454

Adress-Operator

Beispiel

```
int i = 5;  
int* ip = &i; // ip initialisiert  
// mit Adresse von i.
```



455

Dereferenz-Operator

Der Ausdruck

R-Wert vom Typ T^*

↓
*rval

liefert als L-Wert den *Wert* des Objekts an der durch *rval* repräsentierten Adresse

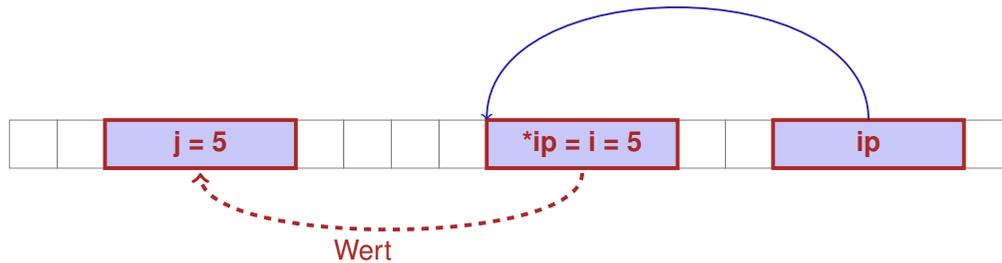
Der Operator * heisst **Dereferenz-Operator**.

456

Dereferenz-Operator

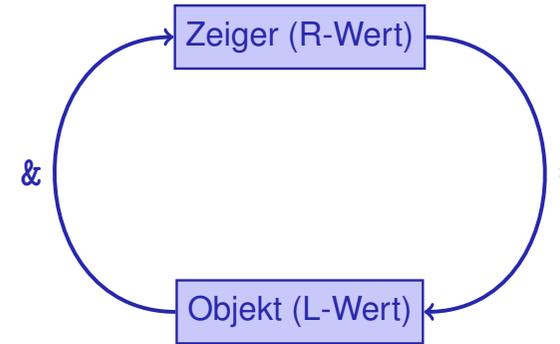
Beispiel

```
int i = 5;
int* ip = &i; // ip initialisiert
              // mit Adresse von i.
int j = *ip; // j == 5
```



457

Adress- und Dereferenzoperator



458

Zeiger-Typen

Man zeigt nicht mit einem `double*` auf einen `int`!

Beispiele

```
int* i = ...; // an Adresse i "wohnt" ein int...
double* j = i; //...und an j ein double: Fehler!
```

459

Eselsbrücke

Die Deklaration

```
T* p; // p ist vom Typ "Zeiger auf T"
```

kann gelesen werden als

```
T *p; // *p ist vom Typ T
```

Obwohl das legal ist,
schreiben wir es nicht so!

460

Zeiger-Arithmetik: Zeiger plus int

- ptr : Zeiger auf Element $a[k]$ des Arrays a mit Länge n
- Wert von $expr$: ganze Zahl i mit $0 \leq k + i \leq n$

$ptr + expr$

ist Zeiger auf $a[k + i]$.

Für $k + i = n$ erhalten wir einen *past-the-end*-Zeiger, der nicht dereferenziert werden darf.

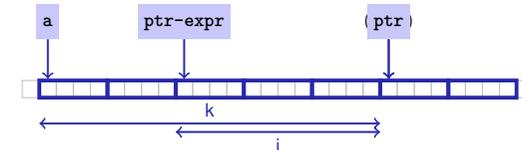
461

Zeiger-Arithmetik: Zeiger minus int

- Wenn ptr ein Zeiger auf das Element mit Index k in einem Array a der Länge n ist
- und der Wert von $expr$ eine ganze Zahl i ist, $0 \leq k - i \leq n$, dann liefert der Ausdruck

$ptr - expr$

einen Zeiger zum Element von a mit Index $k - i$.



462

Konversion Feld \Rightarrow Zeiger

Wie bekommen wir einen Zeiger auf das erste Element eines Feldes?

- Statisches Feld vom Typ $T[n]$ ist konvertierbar nach T^*

Beispiel

```
int a[5];  
int* begin = a; // begin zeigt auf a[0]
```

- Längeninformation geht verloren („Felder sind primitiv“).

463

Iteration über ein Feld mit Zeigern

Beispiel

```
int a[5] = {3, 4, 6, 1, 2};  
for (int* p = a; p < a+5; ++p)  
    std::cout << *p << ' ' ; // 3 4 6 1 2
```

- $a+5$ ist ein Zeiger direkt hinter das Ende des Feldes (past-the-end), **der nicht dereferenziert werden darf**.
- Zeigervergleich ($p < a+5$) bezieht sich auf die Reihenfolge der beiden Adressen im Speicher.

464