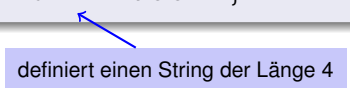
# 13. Felder (Arrays) II

Strings, Lindenmayer-Systeme, Mehrdimensionale Felder,
Vektoren von Vektoren, Kürzeste Wege

# Texte

- können mit dem Typ `std::string` aus der Standardbibliothek repräsentiert werden.
- ```
  std::string text = "bool";
  ```




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

# 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')
```

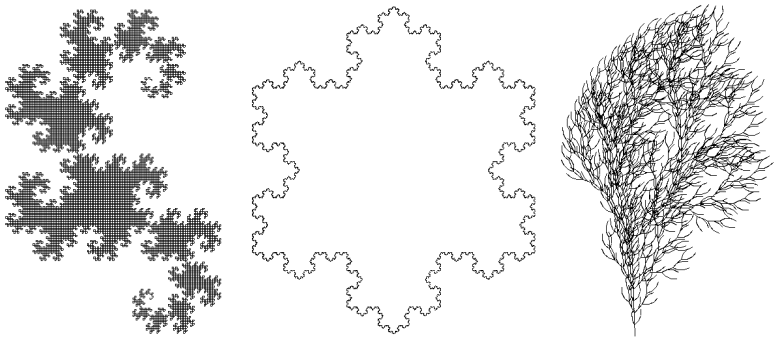
`text` wird mit $n$ `'a'`s gefüllt

- „versteht" Vergleiche

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

# Lindenmayer-Systeme (L-Systeme)

Fraktale aus Strings und Schildkröten



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

# Definition und Beispiel

- Alphabet $\Sigma$
- $\Sigma^*$: alle endlichen Wörter über $\Sigma$
- Produktion $P : \Sigma \to \Sigma^*$
- Startwort $s \in \Sigma^*$

- $\{\mathrm{F}, +, -\}$
- 

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

- F

**Definition**

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

# Die beschriebene Sprache

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

$P(\mathrm{F}) = \mathrm{F} + \mathrm{F} +$

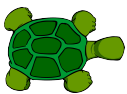
$$
\begin{aligned}
w_0 &:= s & w_0 &:= \mathrm{F} \\
w_1 &:= P(w_0) & w_1 &:= \mathrm{F} + \mathrm{F} + \\
w_2 &:= P(w_1) & w_2 &:= \mathrm{F} + \mathrm{F} + + \mathrm{F} + \mathrm{F} + + \\
&\vdots & &\vdots
\end{aligned}
$$


**Definition**

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

# Turtle-Grafik

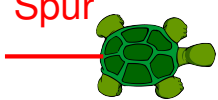
Schildkröte mit Position und Richtung



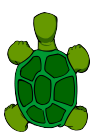
Schildkröte versteht 3 Befehle:

$F$: Gehe einen Schritt vorwärts ✓

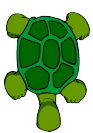
Spur



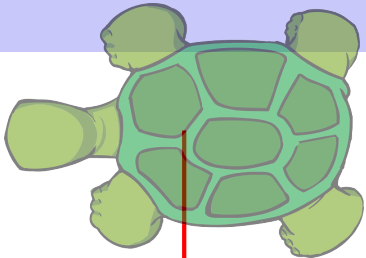
$+$: Drehe dich um $90$ Grad ✓



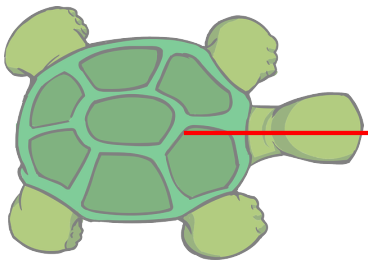
$-$: Drehe dich um $-90$ Grad ✓



# Wörter zeichnen!



$w_1 = \mathrm{F} + \mathrm{F} + \checkmark$



# lindenmayer.cpp: Hauptprogramm

Wörter $w_0, w_1, w_2, \ldots w_n \in \Sigma^*$: `std::string`

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

std::string w = "F";

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

draw_word (w);
```

$w = w_0 = \mathrm{F}$

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

Zeichne $w = w_n$!

# 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 -> c
  }
}
```

# 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]) {
    case 'F':
      turtle::forward();
     break;
    case '+':
      turtle::left(90);
      break;
    case '-':
      turtle::right(90);
    }
}
```

Springe zum `case`, der `word[k]` entspricht

Vorwärts! (Funktion aus unserer Schildkröten-Bibliothek)

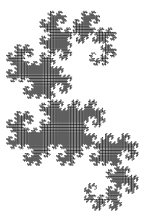
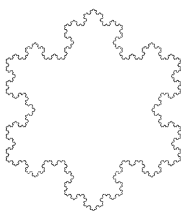
Überspringe die folgenden `case`s

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

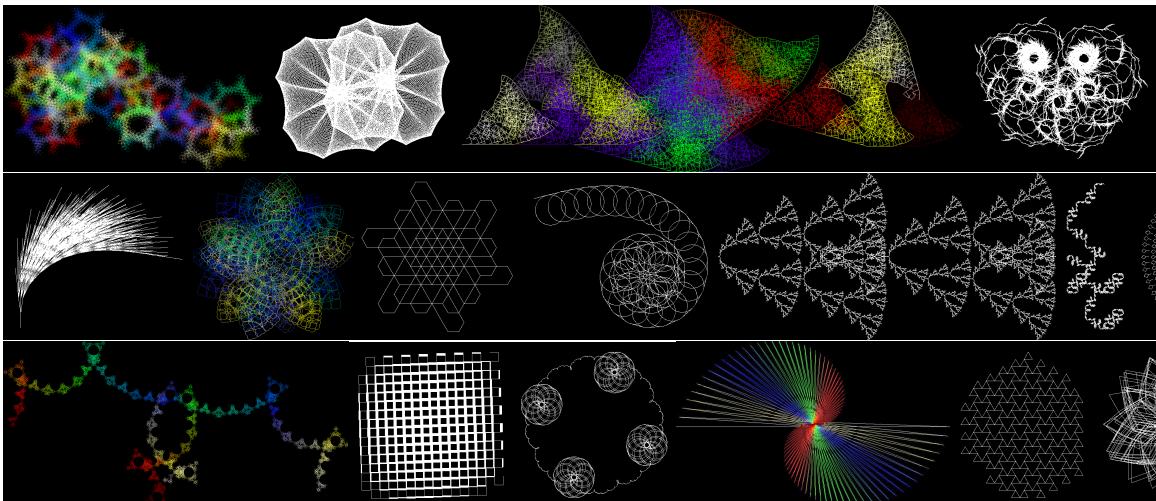
Drehe dich um -90 Grad! (Funktion aus unserer Schildkröten-Bibliothek)

# L-Systeme: Erweiterungen

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


# L-System-Challenge: `amazing.cpp`!



# Mehrdimensionale Felder

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

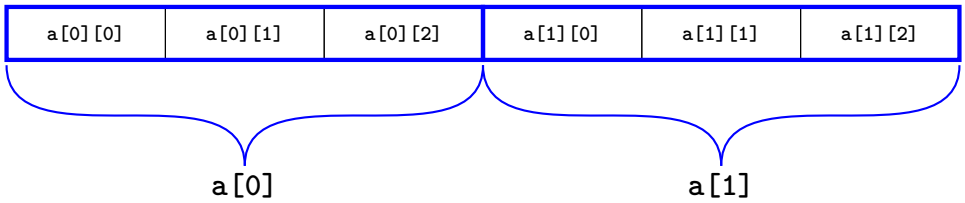
```
int a[2][3]
```



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

# Mehrdimensionale Felder

Im Speicher: flach



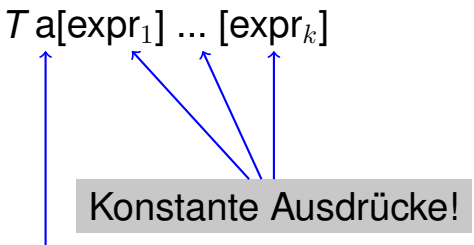

Im Kopf: Matrix

Spalten →

| Zeilen ↓ | 0 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| 0 | a[0][0] | a[0][1] | a[0][2] |
| 1 | a[1][0] | a[1][1] | a[1][2] |

# Mehrdimensionale Felder

- sind Felder von Feldern von Feldern ....



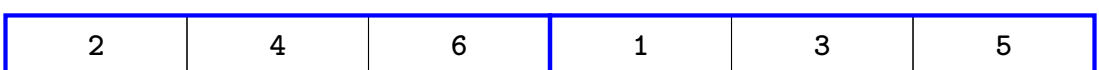

a hat $expr_1$ Elemente und jedes von ihnen ist ein Feld mit $expr_2$ Elementen, von denen jedes ein Feld mit $expr_3$ Elementen ist, ...

# Mehrdimensionale Felder

Initialisierung:

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

Erste Dimension kann weggelassen werden



# Vektoren von Vektoren

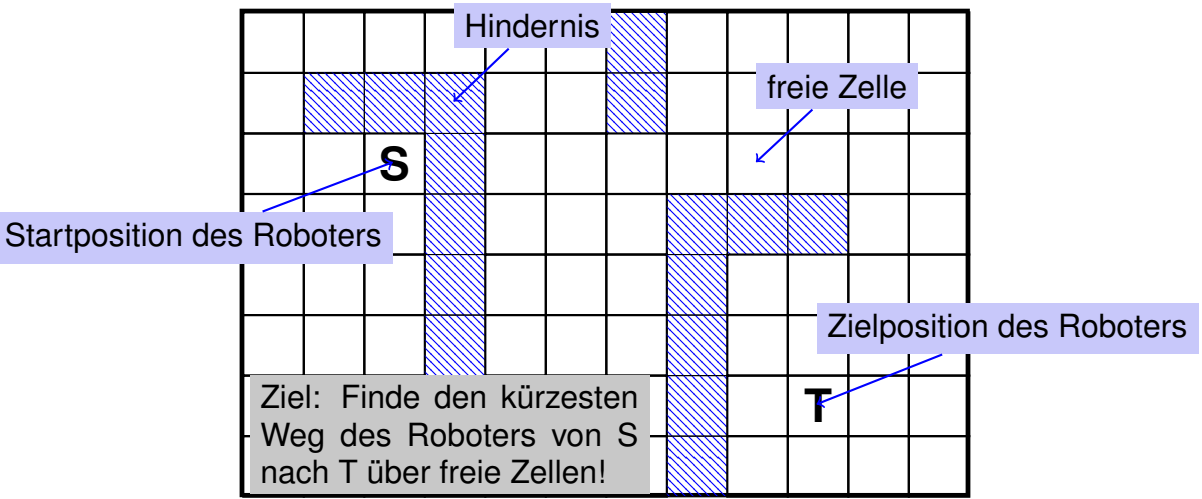
- Wie bekommen wir mehrdimensionale Felder mit variablen Dimensionen?
- Lösung: Vektoren von Vektoren

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

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

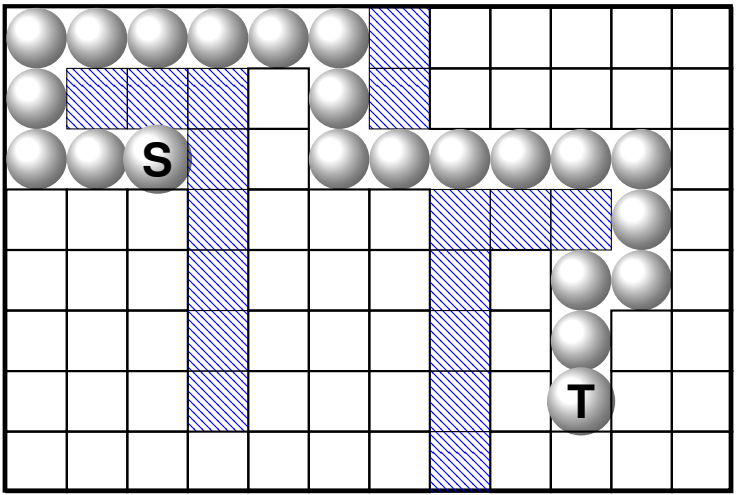
# Anwendung: Kürzeste Wege

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



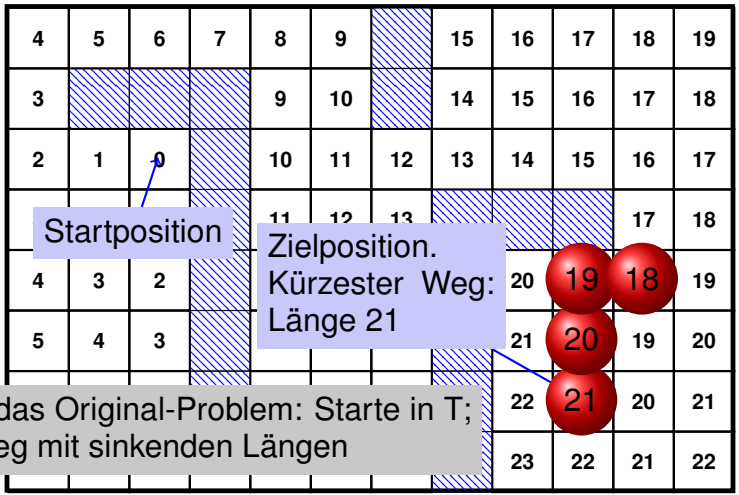
# Anwendung: Kürzeste Wege

Lösung



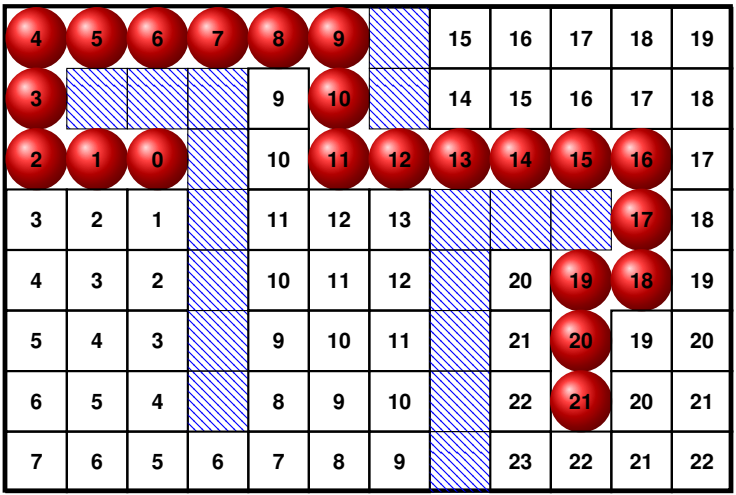
# Ein (scheinbar) anderes Problem

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

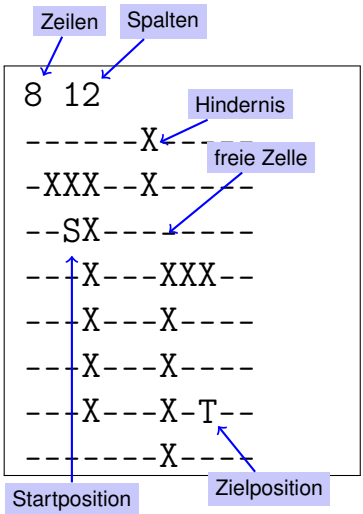


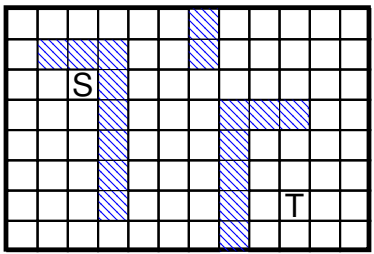
# Ein (scheinbar) anderes Problem

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

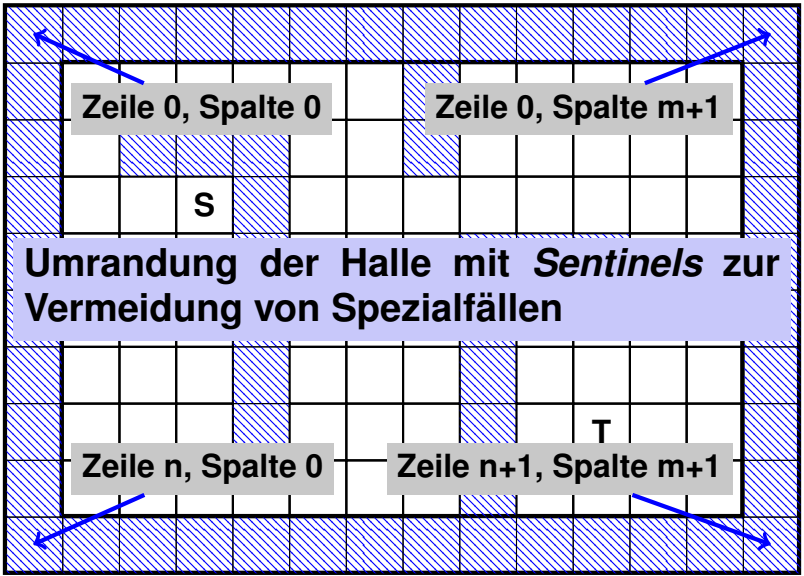


# Vorbereitung: Eingabeformat

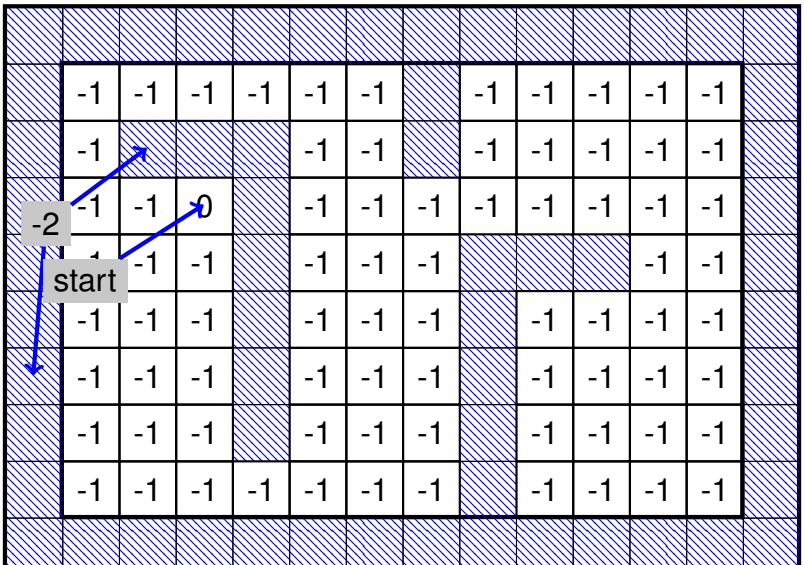


# Vorbereitung: Wächter (*Sentinels*)



# Vorbereitung: Initiale Markierung



# 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)

# 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;
  }
```

# Das Kürzeste-Wege-Programm

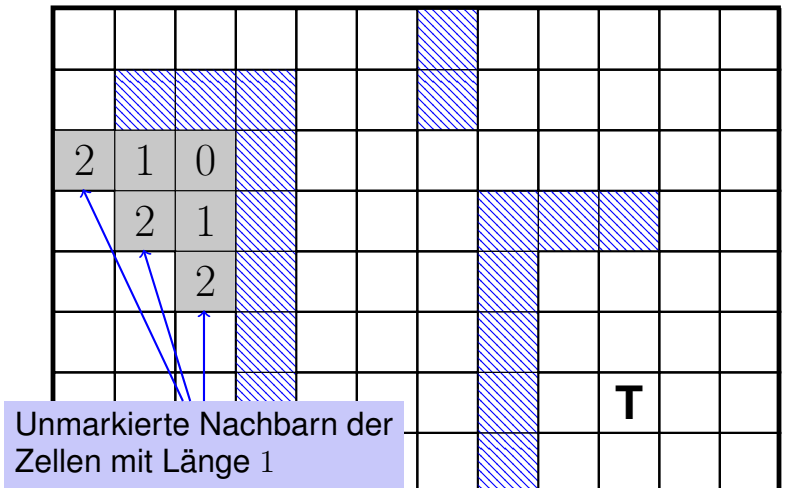
- Hinzufügen der umschliessenden „Wände”

```
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;
```

# Markierung aller Zellen mit ihren Weglängen

Schritt 2: Alle Zellen mit Weglänge 2



# Hauptschleife

Finde und markiere alle Zellen mit Weglängen $i = 1, 2, 3...$

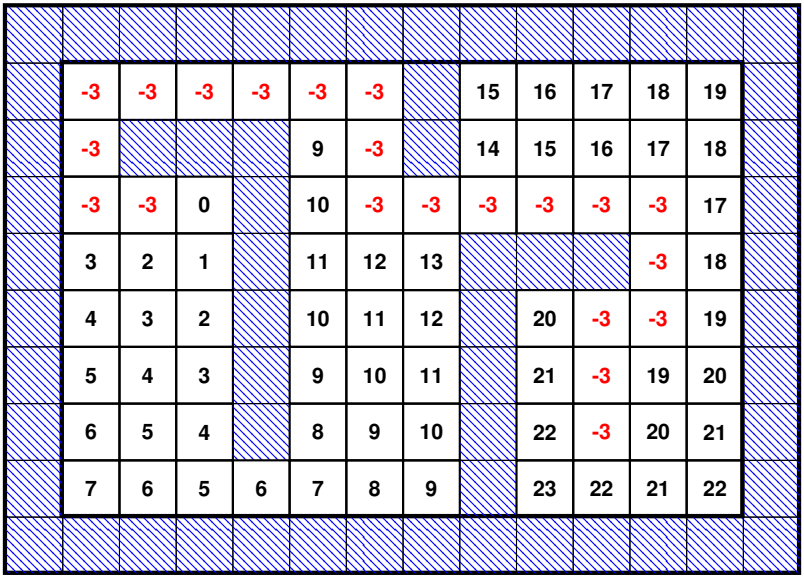
```
for (int i=1;; ++i) {
  bool progress = false;
  for (int r=1; r<n+1; ++r)
     for (int c=1; c<m+1; ++c) {
      if (floor[r][c] != −1) continue;
      if (floor[r−1][c] == i−1 || floor[r+1][c] == i−1 ||
          floor[r][c−1] == i−1 || floor[r][c+1] == i−1 ) {
        floor[r][c] = i; // label cell with i
        progress = true;
      }
    }
  if (!progress) break;
}
```

# Das Kürzeste-Wege-Programm

Markieren des kürzesten Weges durch „Rückwärtslaufen” vom Ziel zum Start

```
int r = tr; int c = tc;
while (floor[r][c] > 0) {
  const int d = floor[r][c] − 1;
  floor[r][c] = −3;
  if      (floor[r−1][c] == d) −−r;
  else if (floor[r+1][c] == d) ++r;
  else if (floor[r][c−1] == d) −−c;
  else ++c; // (floor[r][c+1] == d)
}
```

# Markierung am Ende



# 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";
}
```

$\Longrightarrow$

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

# Das Kürzeste-Wege-Programm

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

# 14. Zeiger, Algorithmen, Iteratoren und Container I

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

# 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+ 5);

  return 0;
}
```


Dafür müssen wir zuerst *Zeiger* verstehen!

# Referenzen: Wo ist Anakin?

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

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

// anakin_skywalker = 22
```

# 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`.”

# Swap mit Zeigern

```
void swap(int* a, int* b){
  int t = *a;
  *a = *b;
  *b = t;
}

...
int x = 2;
int y = 3;
swap(&x, &y);
std::cout << "x = " << x << "\n"; // 3
std::cout << "y = " << y << "\n"; // 2
```

# Zeiger Typen

**`T*`** Zeiger-Typ zum zugrunde liegenden Typ `T`.

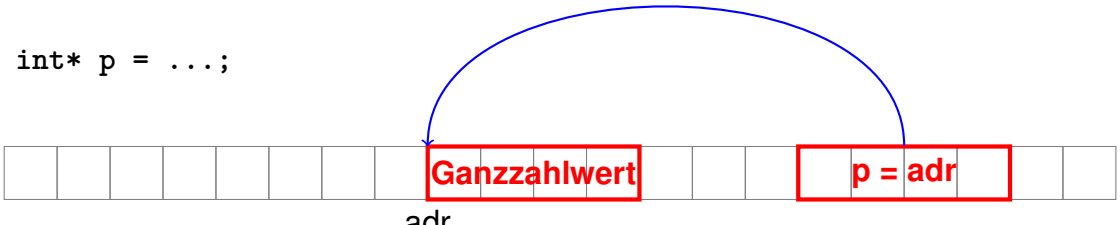
Ein Ausdruck vom Typ `T*` heisst *Zeiger* (auf `T`).

# Zeiger Typen

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

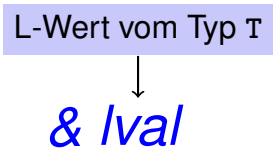
## Beispiele

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



# Adress-Operator

Der Ausdruck



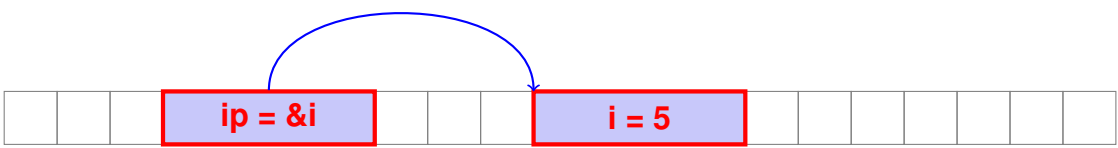

liefert als R-Wert einen *Zeiger* vom Typ *T** auf das Objekt an der Adresse von *lval*

Der Operator *&* heisst Adress-Operator.

# Adress-Operator

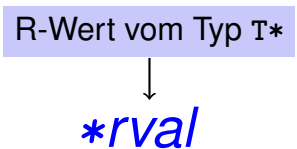
## Beispiel

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



# Dereferenz-Operator

Der Ausdruck



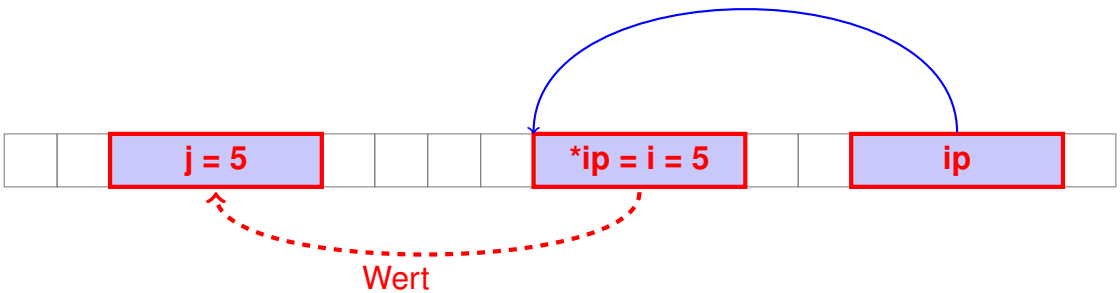

liefert als L-Wert den *Wert* des Objekts an der durch *rval* repräsentierten Adresse

Der Operator $*$ heisst Dereferenz-Operator.

# Dereferenz-Operator

## Beispiel

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



# 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!
```

# Eselsbrücke

Die Deklaration

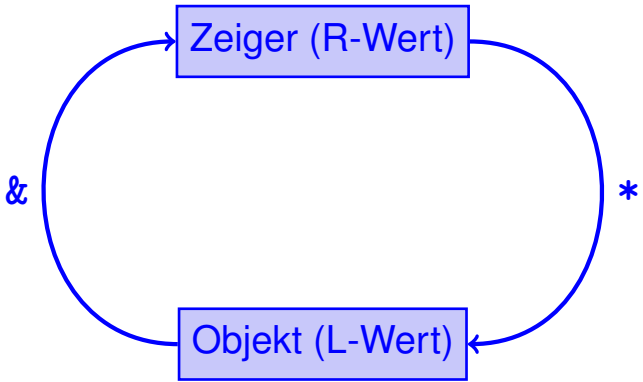
```
T* p;
```
`p` ist vom Typ “Zeiger auf `T`”

kann gelesen werden als

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

Obwohl das legal ist, schreiben wir es nicht so!

# Adress- und Dereferenzoperator



# Zeiger-Arithmetik: Zeiger plus `int`

- *ptr*: Zeiger auf $a[k]$ 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.

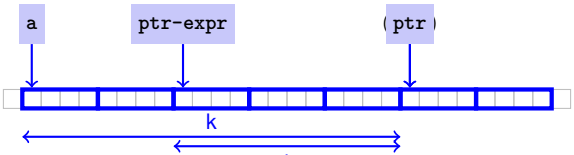
# Zeiger-Arithmetik: Zeiger minus `int`

- 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 $k - i$.



# Konversion Feld $\Rightarrow$ Zeiger

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

- Statisches Feld vom Typ $T[\mathrm{n}]$ ist konvertierbar nach $T*$

**Beispiel**

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

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

# 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.