

# **Einführung in die Programmierung**

**Wintersemester 2018/19**

Prof. Dr. Günter Rudolph

Lehrstuhl für Algorithm Engineering

Fakultät für Informatik

TU Dortmund

## Inhalt

- Rekursion: Technik
- Rekursion vs. Iteration

## **Definition** (einfache, erste Version)

Rekursives Programm        := Programm, das sich selbst aufruft

Rekursive Funktion        := Funktion, die sich selbst aufruft

offensichtlich:

Es muss eine Abbruchbedingung geben ...

gibt an, wann  
Programm / Funktion  
aufhören soll, sich  
selbst aufzurufen

- ⇒ sonst unendliche Rekursion
- ⇒ entspricht einer Endlosschleife



## Arbeitsprinzip:

rekursiver Algorithmus löst Problem

durch Lösung mehrerer kleinerer Instanzen des gleichen Problems

⇒ Zerlegung des Problems in kleinere Probleme gleicher Art

Rekursionsprinzip schon lange bekannt (> 2000 Jahre)

- zunächst in der Mathematik (z. B. Euklid)
- in der Informatik verwendet als fundamentale Technik beim Algorithmen-Design
  - z.B. „teile und herrsche“-Methode (divide-and-conquer)
  - z.B. Backtracking

Thematik inhaltsschwer für eigene 2-stündige Vorlesung → hier: nur 1. Einstieg

## Rekursion in der Mathematik

### Beispiel: Fakultät

$$f(0) = 1$$

Rekursionsverankerung

$$\forall n \in \mathbb{N}: f(n) = n * f(n - 1)$$

Rekursionsschritt

### Beispiel: Rekursive Definition logischer Ausdrücke

1. Wenn  $v$  logische Variable (**true**, **false**), dann  $v$  und **NOT**  $v$  logischer Ausdruck.
2. Wenn  $a$  und  $b$  logische Ausdrücke, dann  $a$  **AND**  $b$  sowie  $a$  **OR**  $b$  logische Ausdrücke.
3. Alle logischen Ausdrücke werden mit 1. und 2. aufgebaut.

## Rekursion in der Informatik

### Beispiel: Fakultät

$$f(0) = 1$$

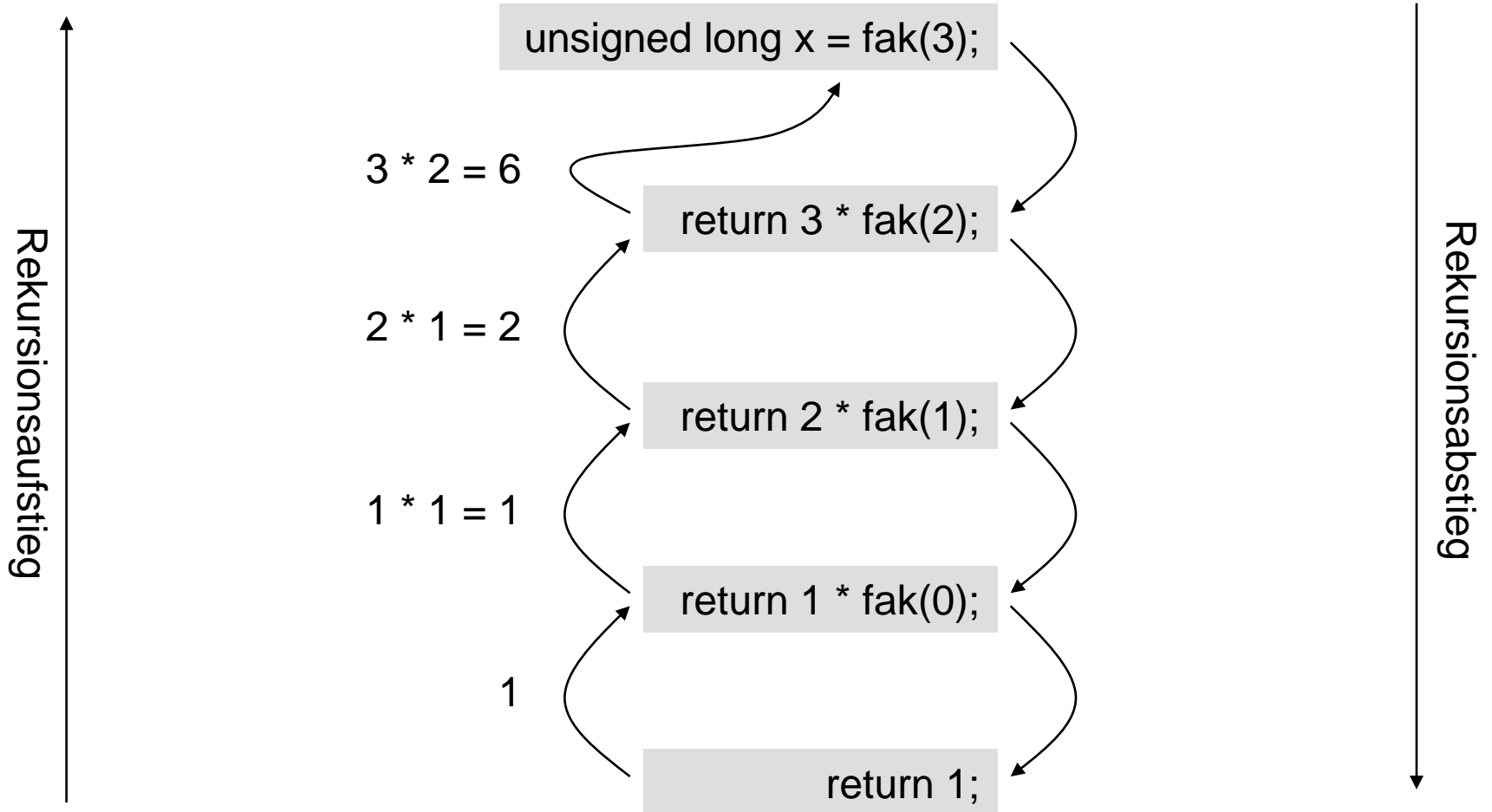
Rekursionsverankerung

$$\forall n \in \mathbb{N}: f(n) = n * f(n - 1)$$

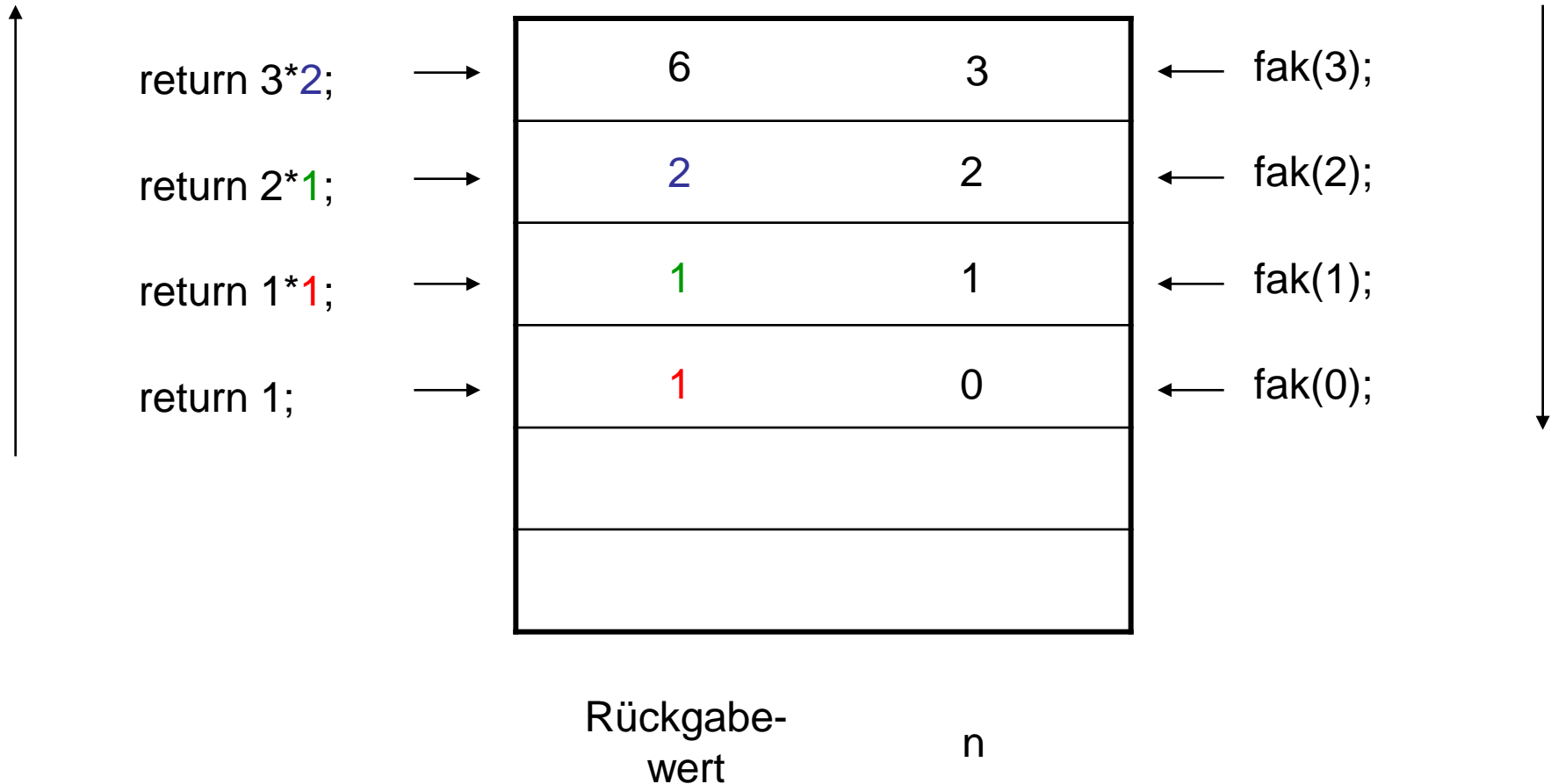
Rekursionsschritt

```
unsigned long fak(unsigned int n) {  
    if (n == 0) return 1;    // Rekursionsverankerung  
    return n * fak(n - 1);  // Rekursionsschritt  
}
```

⇒ Rekursionsverankerung verhindert endlose Rekursion!



Ablagefächer (Stack)





```
unsigned long fak(unsigned int n) {  
    if (n == 0) return 1;    // Rekursionsverankerung  
    return n * fak(n - 1);  // Rekursionsschritt  
}
```

**Beobachtung:**

1. Der Basisfall des Problems muss gelöst werden können (Rekursionsverankerung).
2. Bei jedem rekursiven Aufruf müssen kleinere Problemgrößen übergeben werden.

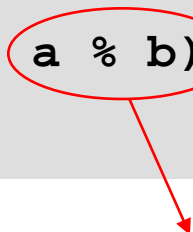
**Weiteres Beispiel:**

Bestimme den größten gemeinsamen Teiler (ggT) zweier Zahlen

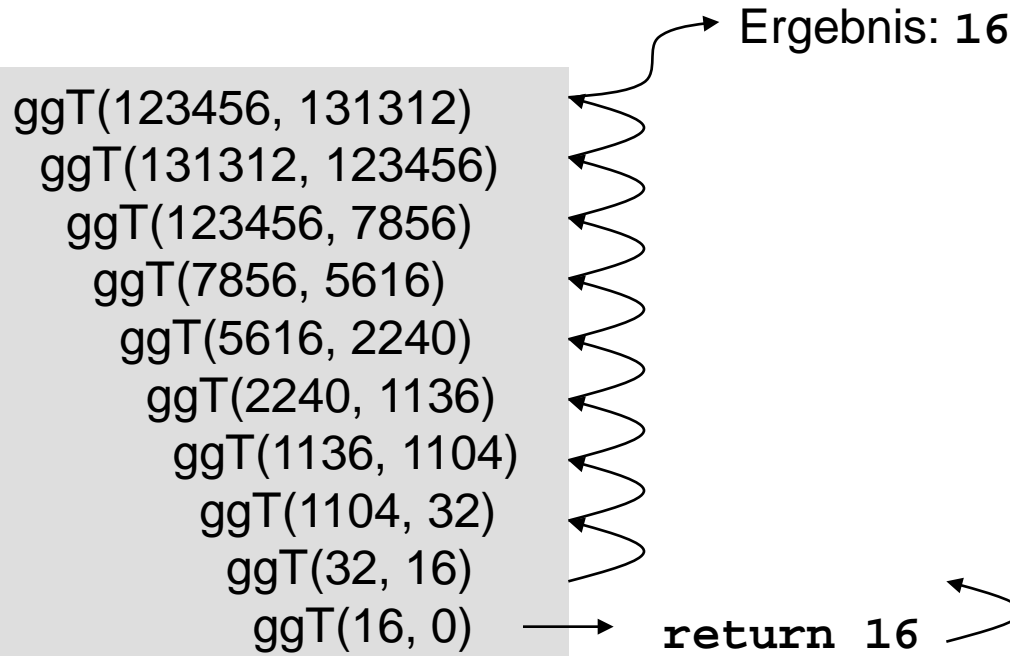
⇒ Euklidischer Algorithmus (> 2000 Jahre)

in C++:

```
unsigned int ggT(unsigned int a, unsigned int b) {  
    if (b == 0) return a;    // Rekursionsverankerung  
    return ggT(b, a % b);    // Rekursionsschritt  
}
```



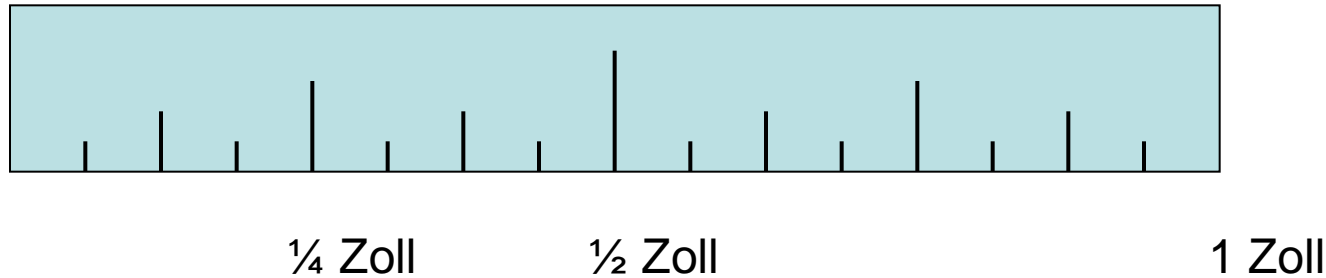
Verkleinerung des Problems



Abbruchbedingung!

**Noch ein Beispiel:**

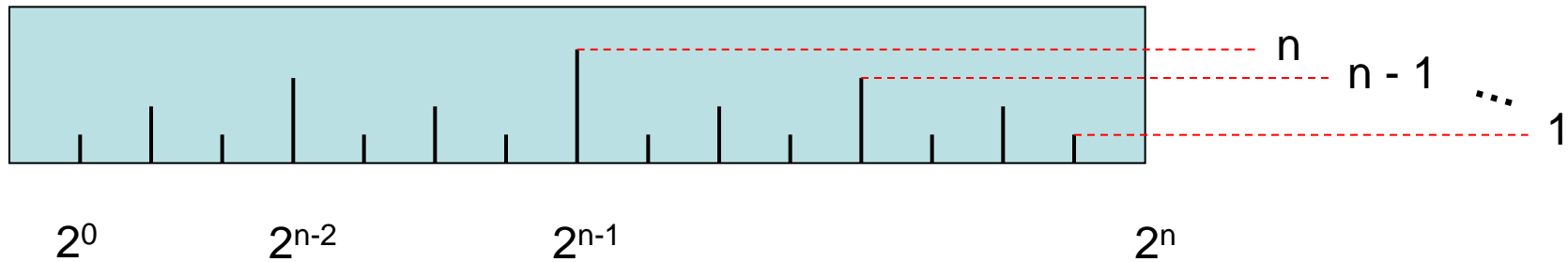
Zeichne Maßstriche auf ein (amerikanisches) Lineal



- Marke bei  $\frac{1}{2}$  Zoll
- kleinere Marke bei je  $\frac{1}{4}$  Zoll
- noch kleinere Marke bei je  $\frac{1}{8}$  Zoll
- u.s.w. immer kleinere Marken bei je  $\frac{1}{2^n}$

**Annahme:** Auflösung soll  $1/2^n$  für gegebenes  $n$  sein

⇒ Maßstabsänderung:



**Idee:**

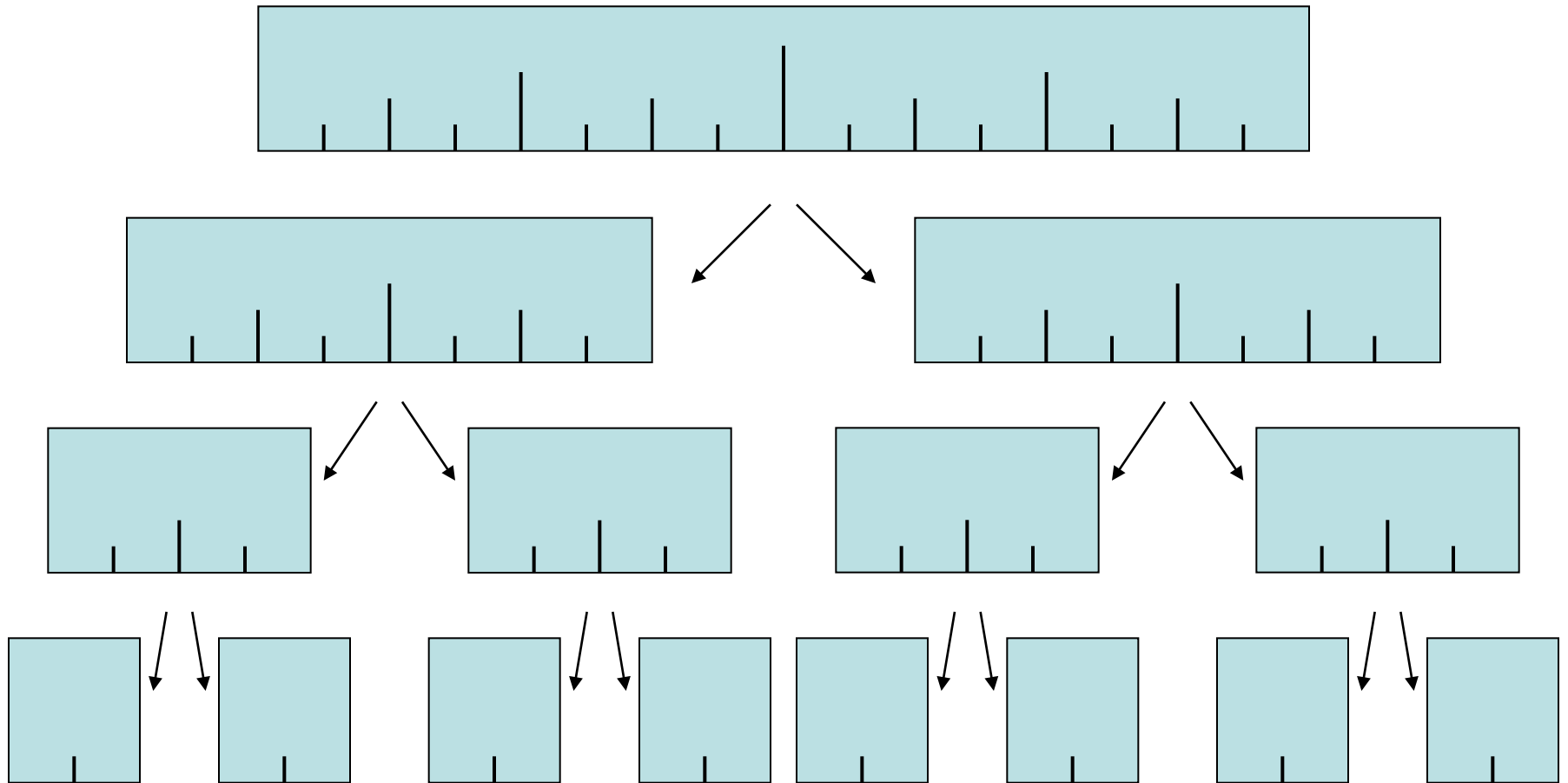
Teile Intervall in 2 gleich große Hälften,

zeichne linkes, halb so großes Lineal mit kürzerer Marke ← rekursiv!

erzeuge längere Marke in der Mitte

zeichne rechtes, halb so großes Lineal mit kürzerer Marke ← rekursiv!

## Illustration:



## Also:

Zeichnen des Lineals wird so lange auf kleinere Probleme / Lineale vereinfacht,  
bis wir das elementare Problem / Lineal lösen können:

„Zeichne eine Marke der Höhe 1“

## Jetzt: Rekursionsaufstieg

linkes (elementares) Lineal zeichnen

zeichne Marke der Höhe  $h (= 2)$

rechtes (elementares) Lineal zeichnen

} ⇒ Teilproblem gelöst!

## Implementierung

Welche Parameter spielen eine Rolle?

linker Rand des Teil-Lineals → **li**

rechter Rand des Teil-Lineals → **re**

Höhe der Marke → **h**

Mitte des Teil-Lineals (für die Marke) → **mi**

```
void Lineal(unsigned int li, unsigned int re, unsigned int h) {  
    unsigned int mi = (li + re) / 2;  
    if (h > 0) {  
        Lineal(li, mi, h - 1);  
        Marke(mi, h);  
        Lineal(mi, re, h - 1);  
    }  
}
```



## Implementierung

Zeichnen der Marken (mehrere Möglichkeiten)

hier: wir wissen, dass Marken von links nach rechts gezeichnet werden

⇒ Testausgabe mit senkrechtem Lineal (Marken von oben nach unten)

```
void Marke(unsigned int position, unsigned int hoehe) {  
    while (hoehe-- > 0) cout << '-';  
    cout << endl;  
}
```

### Anmerkung:

`position` wird hier nicht gebraucht, aber andere Situationen vorstellbar

## Implementierung

Hauptprogramm zum Testen

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

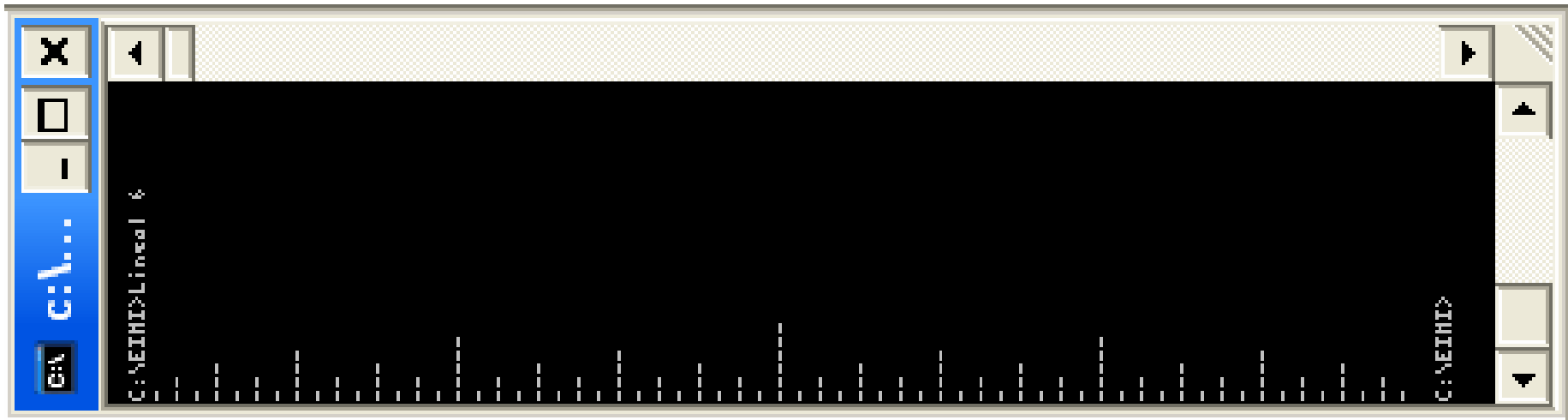
int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 2) {
        cerr << "usage: " << argv[0] << ": n" << endl;
        return 1;
    }
    unsigned int n = atoi(argv[1]);
    Lineal(0, 1 << n, n);
    return 0;
}
```

<< im numerischen Ausdruck:  $x \ll n$   
schiebt Bitmuster von  $x$  um  $n$  Bits nach links.

Was bedeutet  $x \gg n$  ?



Lineal mit  $2^6 = 64$  Marken:



## Rekursion vs. Iteration

### Theorem:

Jeder iterative Algorithmus lässt sich rekursiv formulieren und umgekehrt!

### Wofür also das alles?

- ⇒ Manche Probleme lassen sich mit Rekursion sehr elegant + einfach lösen.
- ⇒ Lösung durch Iteration kann komplizierter sein!

### Andererseits:

- ⇒ Nicht jedes Problem lässt sich durch Rekursion effizient lösen!
- ⇒ Iterative Lösung kann viel effizienter (auch einfacher) sein.

## Rekursion vs. Iteration

beide einfach,  
aber nicht gleich effizient

Iterative Lösung zur Fakultät:

```
unsigned long fak(unsigned int n) {
    unsigned int wert = 1;
    while (n > 0) wert *= n--;
    return wert;
}
```

1 Funktionsaufruf  
1 Ablagefach  
2 lokale Variable

Rekursive Lösung zur Fakultät:

```
unsigned long fak(unsigned int n) {
    if (n == 0) return 1;
    return n * fak(n - 1);
}
```

n Funktionsaufrufe  
n Ablagefächer  
n lokale Variable

## Rekursion vs. Iteration

```
void Lineal(unsigned int li,unsigned int re,unsigned int h) {  
    for (int t = 1, j = 1; t <= h; j += j, t++)  
        for (int i = 0; li + j + i <= re; i += j + j)  
            Marke(li + j + i, t);  
}
```

Zeichnet erst alle Marken der Höhe 1,  
dann 2, usw. mit Auslassungen

```
void Lineal(unsigned int li,unsigned int re,unsigned int h) {  
    unsigned int mi = (li + re) / 2;  
    if (h > 0) {  
        Lineal(li, mi, h - 1);  
        Marke(mi, h);  
        Lineal(mi, re, h - 1);  
    }  
}
```

## Rekursion vs. Iteration

Zur einfachen Übertragung rekursiver Algorithmen  
in iterative äquivalente Form benötigen wir spezielle Datenstrukturen (**stack**).

Diese und einige andere werden in späteren Kapitel eingeführt.

⇒ **Elementare Datenstrukturen**



## Intervallschachtelung

Bestimme Nullstelle einer streng monotonen Funktion  $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$

Annahme:  $f(a) \cdot f(b) < 0$ , also haben  $f(a)$  und  $f(b)$  verschiedene Vorzeichen.

```
double nullstelle(double a, double b) {  
    double const eps = 1.0e-10;  
    double fa = f(a), fb = f(b);  
    double c = (a + b) / 2., fc = f(c);  
    if (fabs(fa - fb) < eps) return c;  
    return (fa < 0 && fc < 0 || fa > 0 && fc > 0) ?  
        nullstelle(c, b) : nullstelle(a, c);  
}
```

