

EINI LW/WiMa

**Einführung in die Informatik für
Naturwissenschaftler und
Ingenieure**

Vorlesung 2 SWS WS 13/14

Dr. Lars Hildebrand

Fakultät für Informatik – Technische Universität Dortmund

lars.hildebrand@tu-dortmund.de

<http://ls1-www.cs.tu-dortmund.de>

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

- ▶ **Kapitel 4**
Grundlagen imperativer und objektorientierter
Programmierung:

- ▶ **Funktionen**
- ▶ **Rekursion**

- ▶ **Unterlagen**
 - ▶ Gumm/Sommer, Kapitel 2.7 & 2.8
 - ▶ Echte/Goedicke, Einführung in die Programmierung mit Java, dpunkt Verlag, Kapitel 4
 - ▶ Doberkat/Dißmann, Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java, Oldenbourg, Kapitel 3.4 & 4.1

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

- ▶ Variablen
- ▶ Zuweisungen
- ▶ (Einfache) Datentypen und Operationen
 - ▶ Zahlen
`integer, byte, short, long; float, double`
 - ▶ Wahrheitswerte (`boolean`)
 - ▶ Zeichen (`char`)
 - ▶ Zeichenketten (`String`)
 - ▶ Typkompatibilität
- ▶ Kontrollstrukturen
 - ▶ Sequentielle Komposition, Sequenz
 - ▶ Alternative, Fallunterscheidung
 - ▶ Schleife, Wiederholung, Iteration
- ▶ **Verfeinerung**
 - ▶ **Unterprogramme, Prozeduren, Funktionen**
 - ▶ **Blockstrukturierung**
- ▶ Rekursion

Wiederholung

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

- ▶ Definition des Begriffs „Informatik“
 - ▶ nach der Akademie Francaise, angelehnt an „informatique“
 - ▶ „Behandlung von Information mit rationalen Mitteln“



- ▶ wobei rationale Mittel nach Descartes ausgezeichnet (1637):
 - ▶ „nur dasjenige gilt als wahr, was so klar ist, dass kein Zweifel bleibt“
 - ▶ „größere Probleme sind in kleinere aufzuspalten“
 - ▶ „es ist immer vom Einfachen zum Zusammengesetzten hin zu argumentieren“
 - ▶ „das Werk muss am Ende einer abschließenden Prüfung unterworfen werden“

Unterprogramme - Idee

- ▶ Grundidee
 - ▶ Probleme werden in Teilprobleme zerlegt, die durch bekannte oder neu zu entwickelnde Algorithmen gelöst werden
 - ▶ aus den Lösungen der Teilprobleme wird eine Lösung für das Gesamtproblem bestimmt

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Unterprogramme

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- ▶ Dieses Konzept wird in Programmiersprachen durch **Unterprogramme** unterstützt
 - ▶ Block mit eigenem Bezeichner mit Eingabeparametern und Ausgabeparametern
 - ▶ dadurch mehrfache Verwendung im Programm möglich
 - ▶ Wiederverwendbarkeit / Nützlichkeit hängt vom Problem, aber auch vom Grad der Abstraktion ab
- ▶ **Varianten**
 - ▶ **Funktion**: Unterprogramm **mit** ausgezeichnetem Rückgabeparameter
 - ▶ **Prozedur**: Unterprogramm **ohne** ausgezeichneten Rückgabeparameter
 - ▶ **Methode**: Funktion/Prozedur, die für ein Objekt /einen speziellen Datentyp definiert ist.

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- ▶ Wir verwenden den Begriff **Funktion**
 - ▶ für Unterprogramme in Java
 - mit Rückgabewert
 - ohne Rückgabewert
 - ▶ solange wir **imperativ Programmieren**

- ▶ Wir verwenden den Begriff **Methode**
 - ▶ für Unterprogramme in Java
 - mit Rückgabewert
 - ohne Rückgabewert
 - ▶ sobald wir **objektorientiert Programmieren**

Einfaches Beispiel

Beispiel: einfache Numerik Funktionen

- ▶ Berechnung der Quadratwurzel `sqrt` für $n > 0$
- ▶ Nützlichkeit klar,
 - ▶ in vielen Programmen unabhängig vom Kontext verwendbar
 - ▶ daher auch in Bibliotheken (Libraries) stets verfügbar
- ▶ Eine Berechnungsidee: Intervallschachtelung
 - ▶ Finde eine untere Schranke.
 - ▶ Finde eine obere Schranke.
 - ▶ Verringere obere und untere Schranke, bis der Abstand hinreichend gering geworden ist.
 - ▶ Etwas konkreter: Halbiere Intervall, fahre mit demjenigen Teilintervall fort, das das Resultat enthält.

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Wiederholung

```
double x = 2.0,  
       uG = 0, oG = x + 1, m,  
       epsilon = 0.001;
```

```
do { m = 0.5*(uG + oG);  
    if (m*m > x)  
        oG = m;  
    else  
        uG = m;  
}
```

```
while (oG - uG > epsilon);
```

```
System.out.println ( "Wurzel " + x  
                    + " beträgt ungefähr  
                    "  
                    + m);
```

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Beispiel `double sqrt(double x)`

```
double sqrt ( double x ) {
```

```
double uG = 0, oG = x + 1,  
m, epsilon = 0.001;
```

```
do {  
m = (uG + oG) / 2;  
if (m*m > x)  
oG = m;  
else  
uG = m;  
} while (oG - uG > epsilon);
```

```
return (m) ;  
}
```

double: Deklaration des Datentyps für den Rückgabewert

x: Eingabeparameter, Typ **double**
sqrt: Funktionsbezeichner

uG, oG, m, epsilon:
lokale Variable

m: Rückgabewert

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Beispiel `double sqrt(double x)`

```
double sqrt ( double x )  
{  
}
```

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

▶ Name

▶ Aussagekräftig!

▶ Rückgabewert

▶ Deklaration des Datentyps

▶ Zur Rückgabe eines Ergebnisses an das Hauptprogramm

▶ `void` → kein Rückgabewert

▶ Parameter

▶ optional

▶ Klammern müssen **immer** angegeben werden

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Anwendung von sqrt(...)

```
import java.util.Scanner;
```

```
class Wurzel {
```

```
    public static void main(String[] args) {
```

```
        Scanner scanner = new Scanner(System.in);
```

```
        double eingabe = scanner.nextDouble();
```

```
        double ergebnis = sqrt(eingabe);
```

```
        System.out.println("Die Wurzel ist" + ergebnis);
```

```
    }
```

```
    static double sqrt(double x) {
```

```
        double uG = 0, oG = x + 1, m, epsilon = 0.001;
```

```
        ...
```

```
        return (m) ;
```

```
    }
```

```
}
```

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Verwendung von Funktionen

- ▶ Aufruf einer Funktion **ohne Rückgabewert**,
- ▶ Aufruf einer Funktion **mit Rückgabewert**,
- ▶ daher entsprechend verwendbar:

```
double m = sqrt ( x ) ;  
System.out.println ("Wurzel " + x + " ist  
ca. " + m) ;
```

- ▶ also
 - ▶ Funktionen mit Rückgabewert auf der rechten Seite einer Zuweisung und in Ausdrücken
 - ▶ Funktionen ohne Rückgabewert anstelle einer Zuweisung
- ▶ Die Lösung von Teilproblemen durch Prozeduren (Funktionen) nennt man **prozedurale (funktionale) Abstraktion**.

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Beispiel main(...)

```
public static void main (string[] args)
{
}
```

▶ Name

- ▶ main

▶ Rückgabewert

- ▶ kein Rückgabewert

▶ Parameter

- ▶ vorhanden
- ▶ wir nutzen die Parameter zur Zeit noch nicht

▶ public (später im Rahmen der Objektorientierung)

▶ static (später im Rahmen der Objektorientierung)

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Top-Down Entwurf

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- ▶ Top-Down Strategie
 - ▶ Zerlege Problem in Teilprobleme
 - ▶ Löse Teilprobleme
 - ▶ Kombiniere Lösung der Teilprobleme zur Lösung des Gesamtproblems
- ▶ Im Entwurf
 - ▶ Zerlege Problem in Teilprobleme
 - ▶ Deklarriere für jedes Teilproblem eine Funktion, die im Entwurf **zunächst unausgefüllt** bleibt
Stubs & Skeleton Prinzip (**Stummel & Skelett**)
 - ▶ Löse Gesamtproblem (**Skelett**) mit Hilfe der **Stubs**
 - ▶ fülle **Stubs**

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- ▶ Hinweis
 - ▶ Definiere Teilprobleme möglichst so, dass sie als bekannte allgemeine Probleme aus der Informatik erkennbar werden, für die eine bekannte Lösung genutzt werden kann (aus Software-Bibliotheken)
- ▶ Vorgehen liefert wg. funktionaler Abstraktion eine Zerlegung nach Funktionen, nach Aufgaben.
 - ▶ Typisch für imperative Programmierung.
 - ▶ Es existieren Alternativen: Zerlegung nach Daten.
 - ▶ Sichtweise für objektorientierte Programmierung ist etwas anders.

Beispiel: Einfaches Spiel

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

```
public static void main(String[] args)
{
    int spieler = 1;
    boolean fertig = false ;
    init();
    while (!fertig) {
        visualisiereSpiel();
        macheZug();
        if (Spielende())
            fertig = true;
        else
            SpielerWechsel() ;
    }
    GratuliereSieger() ;
}
```

```
void init()
void macheZug()
void SpielerWechsel()
```

```
void visualisiereSpiel()
boolean Spielende()
void GratuliereSieger()
```

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Haupt- und Unterprogramme eines Programms teilen sich bei der Bearbeitung (als Prozess) einen gemeinsamen Adressraum

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4
Grundlagen
imperativer
Programmierung

▶ Kommunikation über globale Variable:

- ▶ Variable, die als global deklariert sind, können in Unterprogrammen ebenfalls gelesen & verändert werden.
- ▶ Verwendung von **globalen Variablen** in Funktionen führen zu Funktionen, deren genaue Auswirkungen schwer überblickt werden
→ so genannte **Seiteneffekte**.
- ▶ Daher nur sehr begrenzt sinnvoll einsetzbar.

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

▶ Kommunikation über Parameter:

- ▶ **Die** Eingabeparameter: liefern Informationen, die innerhalb des Unterprogramms nur gelesen werden
- ▶ **Der** Rückgabeparameter einer Funktion: liefert Wert, der von der aufrufenden Funktion / Prozedur gelesen werden kann.
 - Begrenzte Möglichkeiten
 - Häufig für einfache Rückgaben, z.B. boolesche Resultate, Auftreten von Fehlern genutzt
- ▶ **Ausweg:** Aufrufparameter, die Rückgabe erlauben, sog. **Variablenparameter**
(bei Gumm/Sommer durch Bezug zur Sprache Pascal)

Werteparameter / Variablenparameter

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- ▶ Beobachtung: **Werteparameter / call by value**
 - ▶ bei einem Funktionsaufruf werden die Parameter mit konkreten Werten belegt
 - ▶ Sichtweise: Parameter sind **funktionslokale** Variable, die bei Aufruf der Funktion mit den Werten des Aufrufs initialisiert werden
 - ▶ **double sqrt (double x)**
 - Aufruf: sqrt(4.0)
 - impliziert x = 4.0 in der Funktion sqrt
 - ▶ **call by value**
 - ▶ **Änderungen der Parameter in der Funktion werden nicht zurückgegeben**

Anwendung von sqrt(...)

```
import java.util.Scanner;
```

```
class Wurzel {
```

```
    public static void main(String[] args) {
```

```
        Scanner scanner = new Scanner(System.in);
```

```
        double eingabe = scanner.nextDouble();
```

```
        double ergebnis = sqrt(eingabe);
```

```
        System.out.println("Die Wurzel von " + eingabe + " ist  
" + ergebnis);
```

```
    }
```

```
    static double sqrt(double x) {
```

```
        double uG = 0, oG = x + 1, m, epsilon = 0.001;
```

```
        ...
```

```
        return (m) ;
```

```
    }
```

```
}
```

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Werteparameter / Variablenparameter

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

- ▶ **Variablenparameter** sind Parameter, die als Referenz / Adresse eines Datentyps deklariert sind
 - ▶ bei einem Funktionsaufruf werden die Parameter mit konkreten Werten belegt
 - ▶ Parameter sind **nicht funktionslokal**
- ▶ **call by reference**
- ▶ **Änderungen der Parameter in der Funktion werden zurückgegeben**
- ▶ **primitive Datentypen: call by value**
- ▶ **Objekte: call by reference**

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

1. Idee: Textuelle Ersetzung

- ▶ Bei der Übersetzung des Quelltextes in Maschinsprache wird an jeder Stelle des Funktionsaufrufes der Quelltext eingefügt.
- ▶ **Nachteile**
 - ▶ Keine ineinander verschachtelten Funktionen
 - ▶ Bei Prozeduren ok, bei Funktionen wegen Rückgabeparametern umständlich
 - ▶ Erzeugt unnötig umfangreichen Code in Maschinsprache
- ▶ Daher nur in speziellen Kontexten unterstützt

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

2. Idee: Unterliegende Basismaschine (Prozessor) unterstützt Funktionsaufrufe

- ▶ Prozess besteht aus Speicherbereichen für
 - ▶ **Verwaltungsinformation** für das Betriebssystem (Prozessorstatuswort, Programmzähler, ...)
 - ▶ **Programmcode**
 - ▶ **Heap** (= Haufen)
 - Menge aller Variablen, die zur Laufzeit verwendet wurden und noch nicht freigegeben wurden
 - ▶ **Stack** (= Stapel)
 - Bei jedem Funktionsaufruf wird ein neues Element auf dem Stapel erzeugt, das u.a. die **Parameter** und **lokalen Variablen** der Funktion enthält.
 - Bei Terminierung einer Funktion wird das zugehörige (oberste) Element vom Stapel entfernt

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

- ▶ Variablen
- ▶ Zuweisungen
- ▶ (Einfache) Datentypen und Operationen
 - ▶ Zahlen
`integer, byte, short, long; float, double`
 - ▶ Wahrheitswerte (`boolean`)
 - ▶ Zeichen (`char`)
 - ▶ Zeichenketten (`String`)
 - ▶ Typkompatibilität
- ▶ Kontrollstrukturen
 - ▶ Sequentielle Komposition, Sequenz
 - ▶ Alternative, Fallunterscheidung
 - ▶ Schleife, Wiederholung, Iteration
- ▶ Verfeinerung
 - ▶ Unterprogramme, Prozeduren, Funktionen
 - ▶ Blockstrukturierung

- ▶ **Rekursion**

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

- ▶ **Rekursion** ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Strukturierung des Kontrollflusses von Algorithmen und zur Beschreibung von Datenstrukturen.
- ▶ Eine Funktion f ist **rekursiv**, wenn
 - ▶ der Funktionsrumpf einen Aufruf der Funktion f **selbst** enthält oder einer Funktion g , die wiederum f **aufruft**.
 - ▶ Eine **Terminierungsbedingung** existiert.
 - ▶ Jede Eingabe nach **endlich** vielen Schritten **terminiert**.

Was ist Rekursion

Eine k

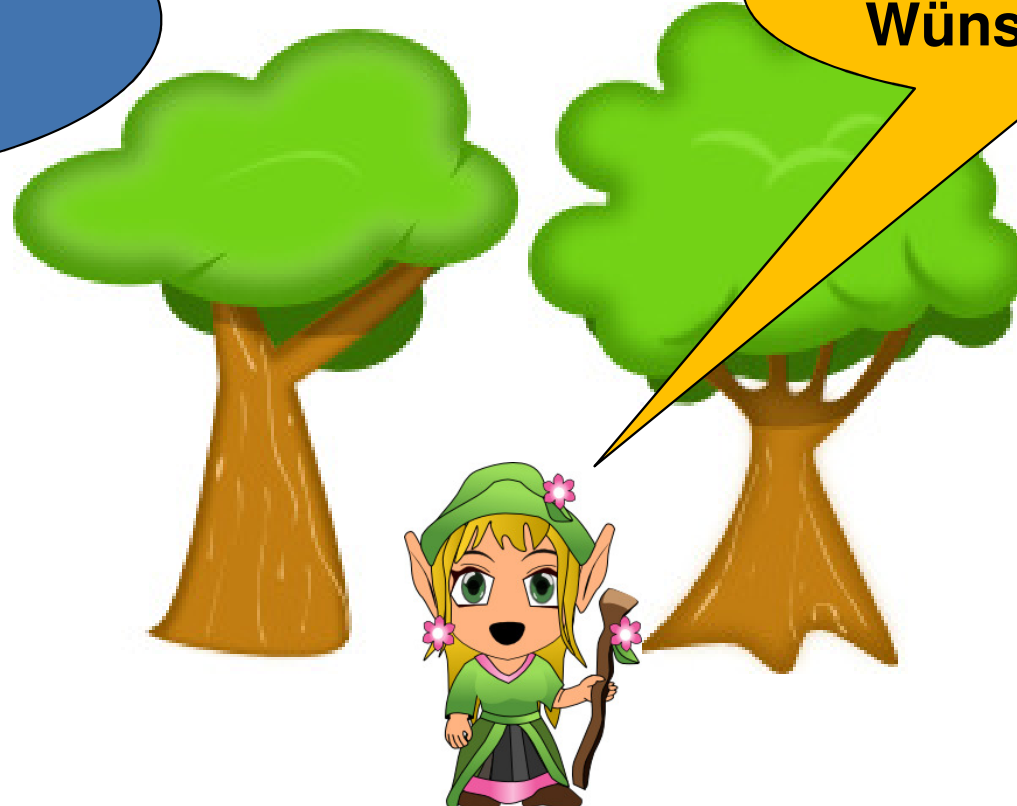
Beobachtung:

1. Der Mann ist eher einfach in der Wahl seiner Wünsche.
2. Der Mann hat keine Ahnung von Rekursion.

Ein M

Ein großes Haus,
ein schnelles Auto,
eine hübsche Frau!

**Du hast 3
Wünsche frei!**



Was ist Rekursion

Noch

Beobachtung:

1. Der Mann ist edel in der Wahl seiner Wünsche.
2. Der Mann hat keine Ahnung von Rekursion.

Heilmittel gegen alle Krankheiten,
Arbeitsplätze für Alle,
Weltfrieden!

**Du hast 3
Wünsche frei!**



Was ist Rekursion

Ein In

Beobachtung:

1. Der Informatiker ist eher einfachen Gemüts.
2. Er kennt die Rekursion (zum Teil)!

Einen schnelleren Prozessor,
mehr Speicher,
...

**Los! 3
Wünsche, bla,
bla, bla**

... und noch so eine Fee!



Was ist also Rekursion?

- ▶ Eine Funktion f ist **rekursiv**, wenn
 - ▶ der Funktionsrumpf einen Aufruf der Funktion f **selbst** enthält oder einer Funktion g , die wiederum f **aufruft**.
 - ▶ Eine **Terminierungsbedingung** existiert.
 - ▶ Jede Eingabe nach **endlich** vielen Schritten **terminiert**.

```
void fee() {  
    wunsch();  
    wunsch();  
    fee();  
}
```

Anmerkung: In diesem Beispiel **fehlt** die Terminierungsbedingung!

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Rekursive Funktionen

Was ist also Rekursion?

- ▶ Eine Funktion f ist **rekursiv**, wenn
 - ▶ der Funktionsrumpf einen Aufruf der Funktion f **selbst** enthält oder einer Funktion g , die wiederum f **aufruft**.
 - ▶ Eine **Terminierungsbedingung** existiert.
 - ▶ Jede Eingabe nach **endlich** vielen Schritten **terminiert**.

```
void fee() {  
    wunsch();  
    wunsch();  
    if (noch_immer_nicht_genug())  
        fee();  
}
```

Anmerkung: In diesem Beispiel **existiert** die Terminierungsbedingung!

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Rekursive Funktionen

Beispiel: Fakultätsfunktion

- ▶ mathematische Definition

$$n! = \begin{cases} 1, & \text{falls } n = 0 \\ n \cdot (n-1)!, & \text{falls } n > 0 \end{cases}$$

- ▶ rekursive Funktion

```
int fakultaet(int n)
{
    if (n == 0) return(1) ;
    if (n > 0) return( n * fakultaet(n-1) ) ;
}
```

Rekursionsanker
Rekursion

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Aufbau der Rekursion

4! =

```
int fakultaet(int n) {  
    if (n == 0) return(1) ;  
    if (n > 0) return( n * fakultaet(n-1) ) ;  
}
```

n = 4 n != 0 return(n * fakultaet(n-1))

n = 3 n != 0 return(n * fakultaet(n-1))

n = 2 n != 0 return(n * fakultaet(n-1))

n = 1 n != 0 return(n * fakultaet(n-1))

n = 0 n == 0 return(1)

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Abbau der Rekursion

4! =

```
int fakultaet(int n) {  
    if (n == 0) return(1) ;  
    if (n > 0) return( n * fakultaet(n-1) ) ;  
}
```

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

n = 4 n != 0 return (n * fakultaet (n-1))

n = 3 n != 0 return (n * fakultaet (n-1))

n = 2 n != 0 return (n * fakultaet (n-1))

n = 1 n != 0 return (n * fakultaet (n-1))

n = 0 n == 0 return (1)



In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

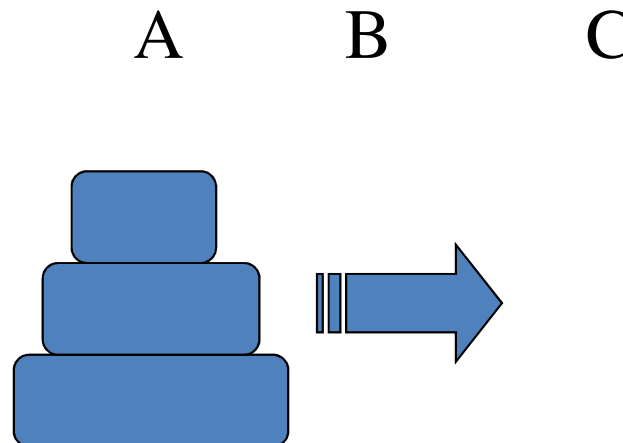
Beispiel: Türme von Hanoi

Ein Stapel von N Scheiben verschiedener Durchmesser sei als Turm aufgeschichtet. Der Durchmesser nimmt nach oben ab.

Der Turm steht auf Platz A, soll nach Platz C verlagert werden, wobei Platz B als Zwischenlager benutzt werden darf.

Randbedingungen

- jeweils nur 1 Scheibe darf bewegt werden
- es darf nie eine größere auf einer kleineren Scheibe liegen



Beispiel: Türme von Hanoi

Einfachster Fall: 1 Scheibe von A nach C

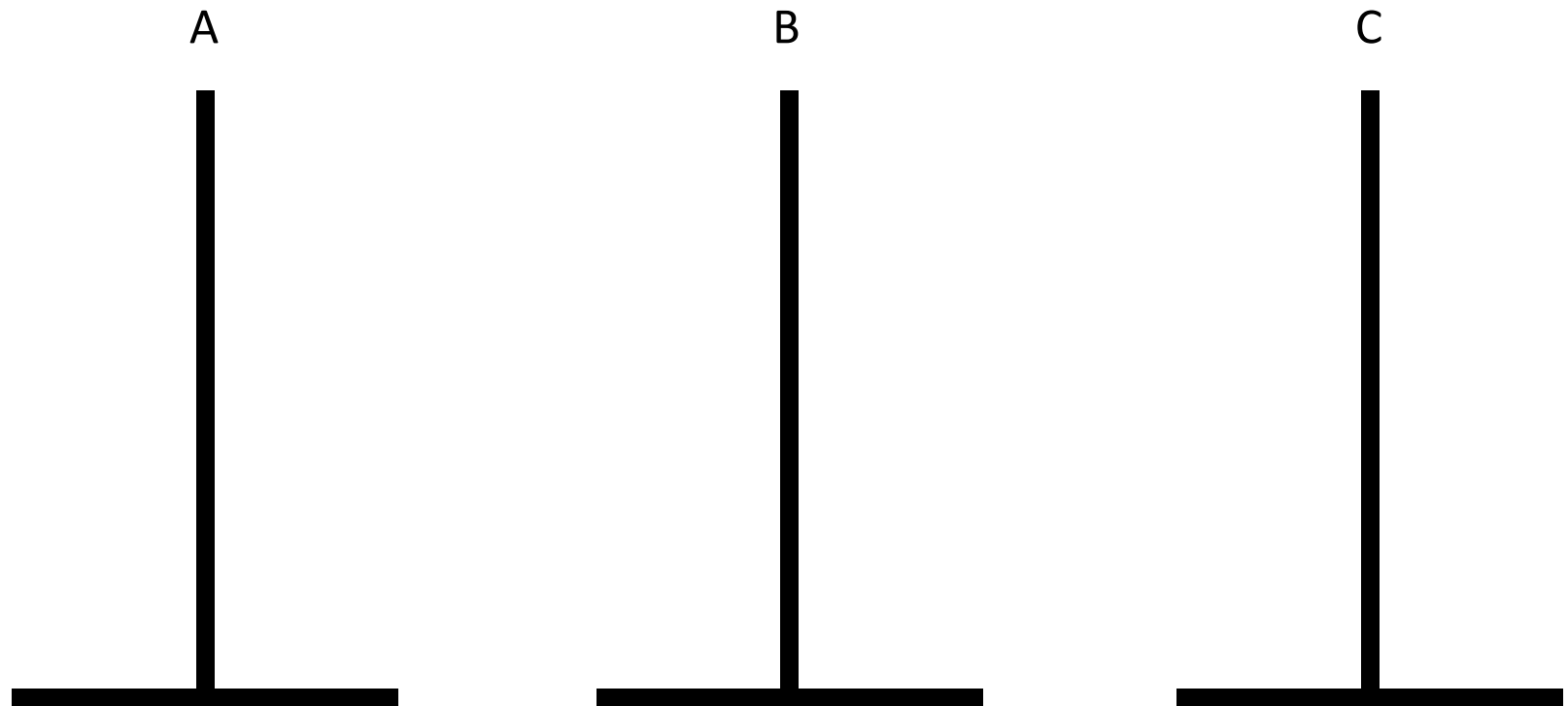
Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**



Beispiel: Türme von Hanoi

Nächster Fall: 2 Scheiben von A nach C

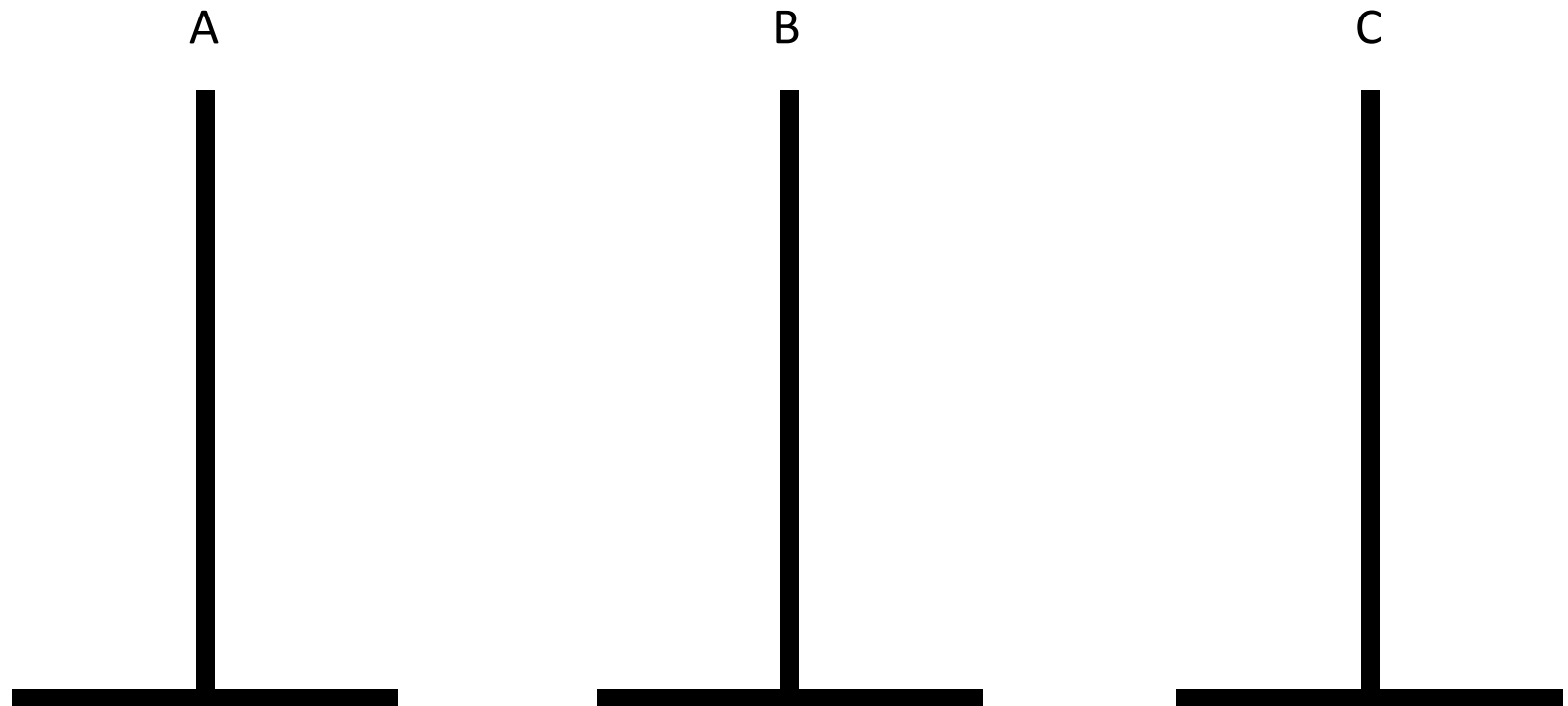
Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**



Beispiel: Türme von Hanoi

Lösungsidee

- ▶ Falls Turm mit $N-1$ Scheiben auf B, größte Scheibe auf A, dann kann einfach die Scheibe von A nach C verschoben werden, und äquivalentes Problem mit $N-1$ Scheiben für Start B, Ziel C und Zwischenlager A tritt auf.

```
int hanoi(int n, platz start, zwischen, ziel) {
    if (n==1) verschiebeScheibe(start,ziel) ;
    else
    {
        hanoi(n-1, start, ziel, zwischen) ;
        verschiebeScheibe(start,ziel) ;
        hanoi(n-1, zwischen, start, ziel) ;
    }
}
```

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Beispiel: Türme von Hanoi

Anzahl Scheiben

Benötigte Zeit*

5

31 Sekunden

10

17,1 Minute

20

12 Tage

30

34 Jahre

* Verschieben einer Scheibe dauert 1 Sekunde

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Beispiel: Türme von Hanoi

Anzahl Scheiben

5

10

20

30

40

60

64

Benötigte Zeit*

31 Sekunden

17,1 Minute

12 Tage

34 Jahre

34.800 Jahre

36,6 Milliarden Jahre**

585 Milliarden Jahre

* Verschieben einer Scheibe dauert 1 Sekunde

** Alter des Universums: 13,7 Milliarden Jahre

Eini LogWing /
WiMa

Kapitel 4

Grundlagen
imperativer
Programmierung

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Nächste Termine

- ▶ Nächste Vorlesung – WiMa 12.12.2013, 08:15
- ▶ Nächste Vorlesung – LogWIng 13.12.2013, 08:30