EINI
LogWing/WiMa/MP

Einführung in die Informatik für Naturwissenschaftler und Ingenieure

Vorlesung 2 SWS WS 22/23

Dr. Lars Hildebrand
Fakultät für Informatik – Technische Universität Dortmund
lars.hildebrand@tu-dortmund.de
http://ls14-www.cs.tu-dortmund.de

Thema

- **Kapitel 4**
  Grundlagen imperativer Programmierung:
  - **Funktionen**
  - **Rekursion**

- **Unterlagen**
  - Dißmann, Stefan und Ernst-Erich Doberkat*: Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java*, 2. Auflage. München [u.a.]: Oldenbourg, 2002, Kapitel 3.4 & 4.1. (→ ZB oder Volltext aus Uninetz)
  - Echtle, Klaus und Michael Goedicke: *Lehrbuch der Programmierung mit Java*. Heidelberg: dpunkt-Verl, 2000, Kapitel 4. (→ ZB)
  - Gumm, Heinz-Peter und Manfred Sommer: *Einführung in die Informatik*, 10. Auflage. München: De Gruyter, 2012, Kapitel 2.7 – 2.8. (→ Volltext aus Uninetz)

In diesem Kapitel:

Zwischenstand

- ✓ 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: while, do-while, for
- ➢ Verfeinerung
  - ➢ Unterprogramme, Prozeduren, Funktionen
  - ➢ Blockstrukturierung
- ► Rekursion

In diesem Kapitel:

- **Prolog**
- Funktionen
- Rekursion

Wiederholung

- Def. „Informatik“ (nach der Akademie Francaise):
  - von „informatique“
  - „**Behandlung von Information mit rationalen Mitteln**“

René Descartes

- „rationale Mittel“ nach Descartes (aus *Abhandlung über die Methode*, 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.
  - Dieses Konzept wird in Programmiersprachen durch **Unterprogramme** unterstützt.

Unterprogramme

- **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.

Konventionen

- 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**.

Wiederholung I

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.

Wiederholung II

```
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);
```


In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Beispiel double sqrt(double x)I

```
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 Variablen

m: Rückgabewert

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

Beispiel `double sqrt(double x)`II

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

- **Name:** aussagekräftig!
- **Rückgabewert:**
  - Deklaration des Datentyps
  - zur Rückgabe eines Ergebnisses an das Hauptprogramm
  - **`void`** → kein Rückgabewert
- **Parameter:**
  - optional
  - Klammern müssen **immer** angegeben werden!

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);
  }

  public static double sqrt(double x) {
    double uG = 0,  oG = x + 1,   m, epsilon = 0.001;
    …
    return (m);
  }
}
```


In diesem Kapitel:

- Prolog
- **Funktionen**
- Rekursion

Verwendung von Funktionen

Verwendung:

- Aufruf **ohne Rückgabewert**
- Aufruf **mit Rückgabewert**

```
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: nur in Ausdrücken

- Die Lösung von Teilproblemen durch Prozeduren (Funktionen) nennt man **prozedurale (funktionale) Abstraktion**.

Beispiel `main(…)`

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

- **Name:** main
- **Rückgabewert:** kein Rückgabewert
- **Parameter:**
  - vorhanden
  - aber: Wir nutzen die Parameter zur Zeit noch nicht.
- **public** (später im Rahmen der Objektorientierung)
- **static** (später im Rahmen der Objektorientierung)

Top-Down-Entwurf I

- Top-Down-Strategie:
  - Zerlege Problem in Teilprobleme.
  - Löse Teilprobleme.
  - Kombiniere Lösung der Teilprobleme zur Lösung des Gesamtproblems.

- Im Entwurf:
  - Zerlege Problem in Teilprobleme.
  - Deklariere für jedes Teilproblem eine Funktion, die im Entwurf **zunächst unausgefüllt** bleibt:
    - **Stubs & Skeleton**-Prinzip (**Stummel** & **Skelett**)
  - Löse Gesamtproblem (**Skelett**) mit Hilfe der **Stubs**.
  - Fülle die **Stubs**.

Top-Down-Entwurf II

- Definiere Teilprobleme möglichst so, dass sie als allgemeine und bekannte Probleme aus der Informatik erkennbar werden, für die es bekannte Lösungen in Software-Bibliotheken gibt!

- Funktionale Abstraktion = Zerlegung nach Funktionen /Aufgaben:
  - typisch für imperative Programmierung
  - Es existieren Alternativen, z.B. die Zerlegung nach Daten.
  - Sichtweise für objektorientierte Programmierung ist etwas anders.

Beispiel: Einfaches Spiel

```
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

Kommunikation Haupt- und Unterprogramm I

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

- **Kommunikation über globale Variable**:
  - Variablen, die als global deklariert sind, können auch in Unterprogrammen gelesen und verändert werden.
  - Verwendung von **globalen Variablen** in Funktionen führen dazu, dass deren genaue Auswirkungen schwierig überblickt werden können(→ **Seiteneffekte**).
    - Nur sehr begrenzt sinnvoll einsetzbar!

Kommunikation Haupt- und Unterprogramm II

- **Kommunikation über Parameter**:
  - **Eingabeparameter** (mehrere): Liefern Informationen, die innerhalb des Unterprogramms nur gelesen werden.
  - **Rückgabeparameter** (einer): Liefert Wert, der von der aufrufenden Funktion / Prozedur gelesen werden kann.
    - begrenzte Möglichkeiten
    - häufig für einfache Rückgaben (z.B. boolesche Resultate) und Auftreten von Fehlern genutzt

- Ausweg: **Variablenparameter** (Aufrufparameter, die Rückgabe erlauben)
  (bei Gumm/Sommer durch Bezug zur Sprache Pascal)

Werteparameter / Variablenparameter I

- Beobachtung: **Werteparameter**
  - Bei einem Funktionsaufruf werden die Parameter mit konkreten Werten belegt.
  - Sichtweise: Parameter sind **funktionslokale** Variablen, 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);
  }

  public static double sqrt(double x) {
    double uG = 0,  oG = x + 1,   m, epsilon = 0.001;
    …
    return (m) ;
  }
}
```


In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

Werteparameter / Variablenparameter II

- **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**

Abarbeiten von Funktionsaufrufen I

1. Idee: Textuelle Ersetzung

- Bei der Übersetzung des Quelltextes in Maschinensprache wird an jeder Stelle des Funktionsaufrufes der Quelltext eingefügt.

- **Nachteile:**
  - keine ineinander verschachtelten Funktionen
  - Bei Prozeduren okay, bei Funktionen wegen Rückgabeparametern umständlich.
  - Erzeugt unnötig umfangreichen Code in Maschinensprache.

- → Wird daher nur in speziellen Kontexten unterstützt.

Abarbeiten von Funktionsaufrufen II

2. Idee: Unterliegende Basismaschine (Prozessor) unterstützt Funktionsaufrufe.

- Prozess besteht aus Speicherbereichen für
  - **Verwaltungsinformationen** des Betriebssystems (Prozessorstatuswort, Programmzähler, ...)
  - **Programmcode**
  - **Heap** (= Haufen)
    - Menge aller Variablen, die zur Laufzeit verwendet wurden und noch nicht freigegeben wurden.

Abarbeiten von Funktionsaufrufen III

2. Idee: Unterliegende Basismaschine (Prozessor) unterstützt Funktionsaufrufe. (Forts.)

- **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.

- **→ Erlaubt ineinander verschachtelte Funktionen.**

Zwischenstand

- ✓ 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: while, do-while, for
- ✓ Verfeinerung
  - ✓ Unterprogramme, Prozeduren, Funktionen
  - ✓ Blockstrukturierung
- ➢ Rekursion

In diesem Kapitel:

- **Prolog**
- Funktionen
- Rekursion

Funktionen

Artikel im EINI-Wiki:

- → **Methode**
  - →Parameter
  - →Rückgabe
- → **Main**
- → **Nebeneffekt**
- → **Call by Value**
- → **Call by Reference**
- → **Stack**
- → **Heap (Speicher)**

Rekursive Funktionen I

- **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 eine Funktion g, die wiederum f **aufruft**.
  - eine **Terminierungsbedingung** existiert.
  - jede Eingabe nach **endlich** vielen Schritten **terminiert**.

Was ist Rekursion?

Eine kle

Ein Mar

Beobachtung:

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

Was ist Rekursion?

Noch

Beobachtung:

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

Was ist Rekursion?

Ein In

Beobachtung:

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

Rekursive Funktionen II

Was ist also Rekursion?

- Eine Funktion f ist **rekursiv**, wenn
  - der Funktionsrumpf einen Aufruf der Funktion f **selbst** enthält oder eine 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!

Rekursive Funktionen III

Was ist also Rekursion?

- Eine Funktion f ist **rekursiv**, wenn
  - der Funktionsrumpf einen Aufruf der Funktion f **selbst** enthält oder eine 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!

Rekursive Funktionen

Beispiel: Fakultätsfunktion

- mathematische Definition

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

- rekursive Funktion

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

Rekursionsanker

Rekursion

Aufbau der Rekursion

4! =

```
int fakultaet(int n) {
     if (n = = 0)   return(1);
     else           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)**

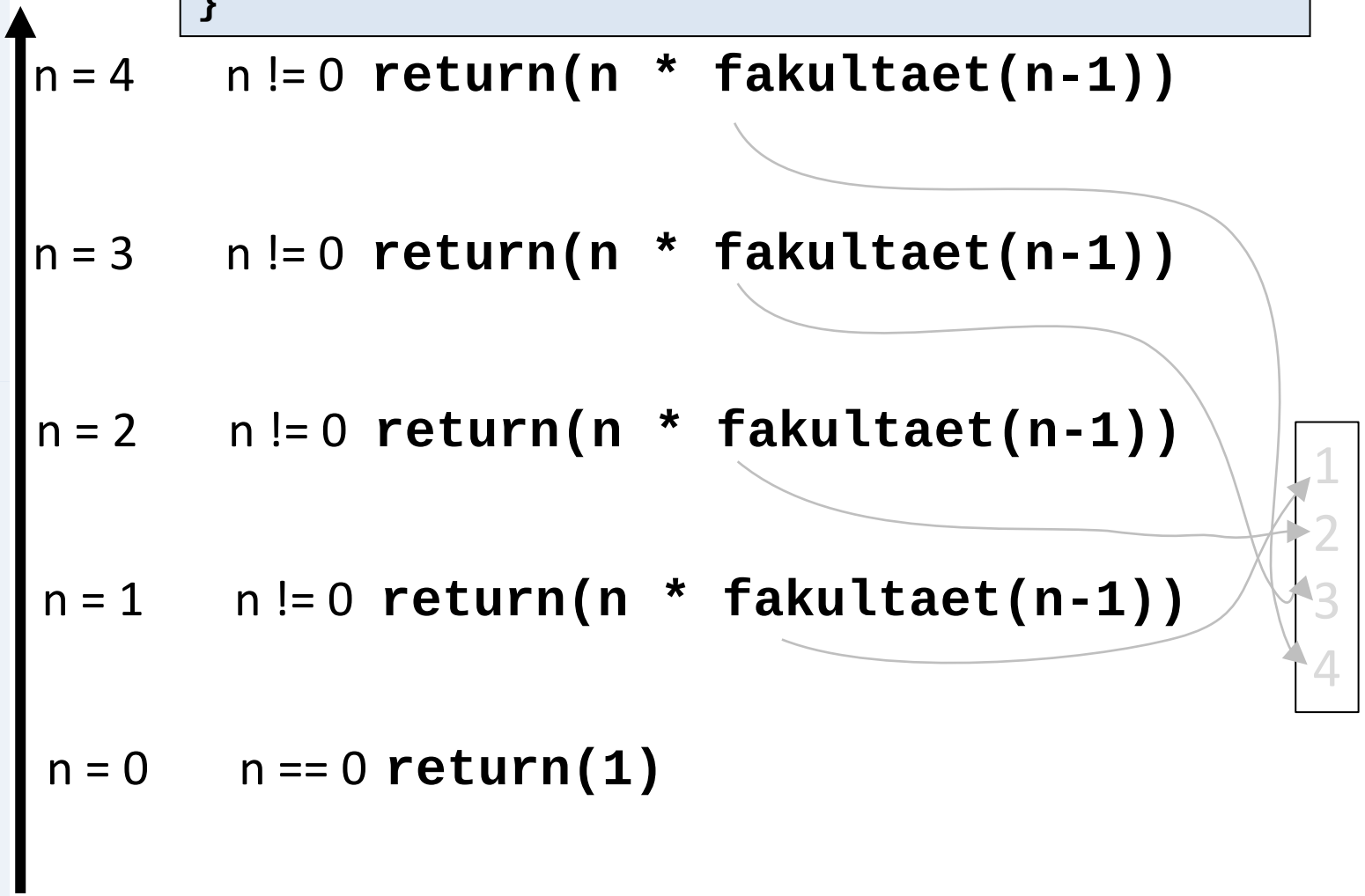
In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- **Rekursion**

Abbau der Rekursion

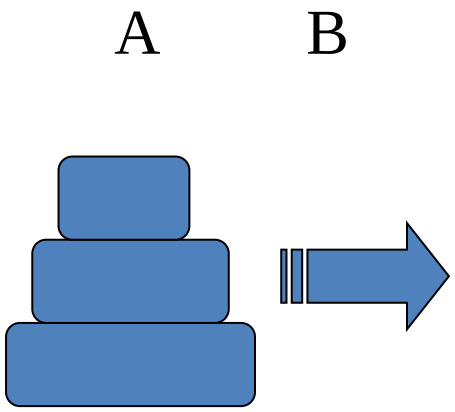
4! =

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



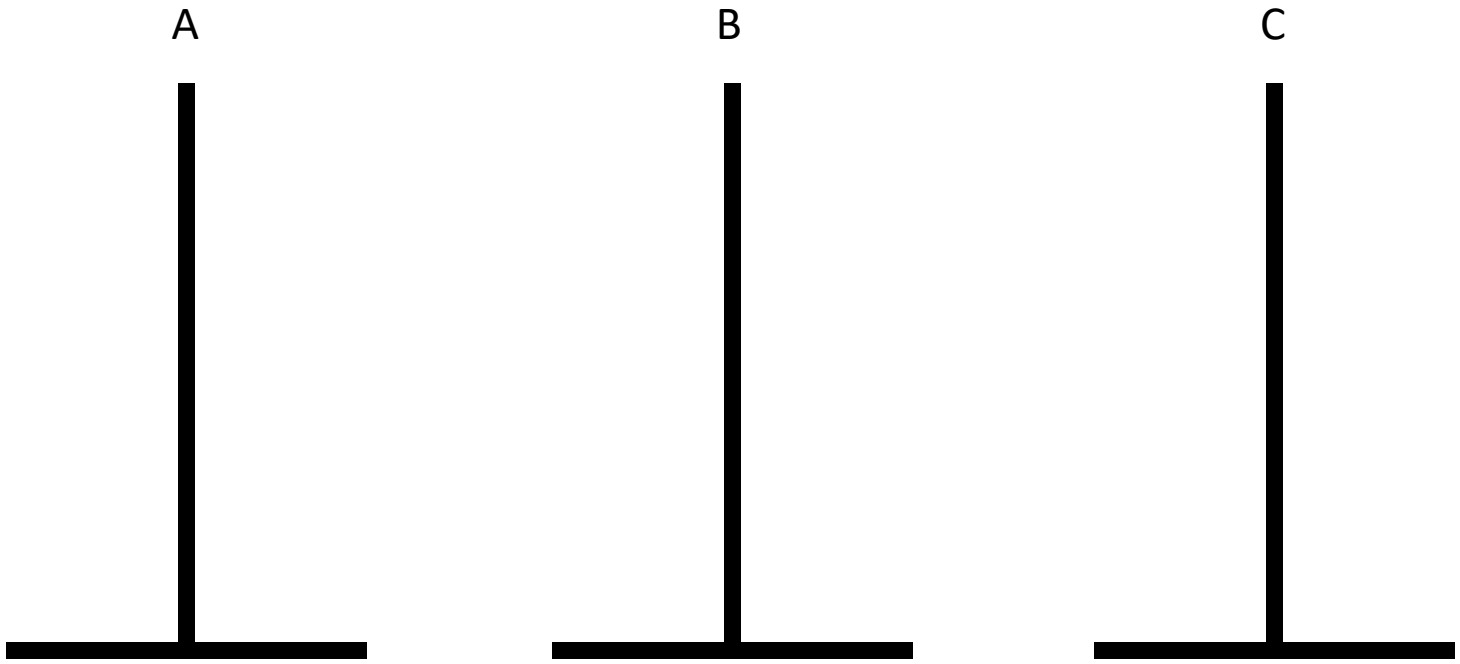
Beispiel: Türme von Hanoi I

- 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:
  - Es darf jeweils nur 1 Scheibe bewegt werden.
  - Es darf nie eine größere auf einer kleineren Scheibe liegen.



Beispiel: Türme von Hanoi II

Einfachster Fall: 1 Scheibe von A nach C

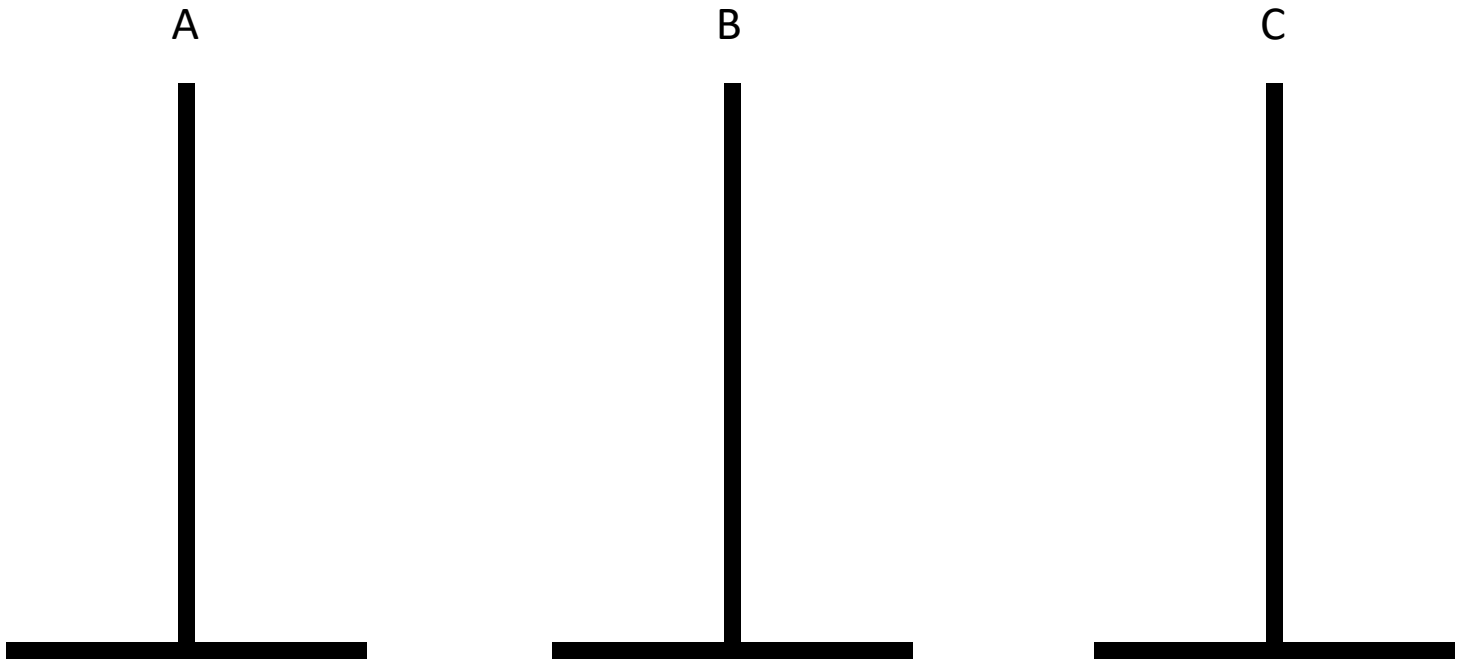


In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

Beispiel: Türme von Hanoi III

Nächster Fall: 2 Scheiben von A nach C



In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

Beispiel: Türme von Hanoi IV

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);
   }
}
```

Beispiel: Türme von Hanoi V

Anzahl Scheiben	Benötigte Zeit*
5	31 Sekunden
10	17,1 Minute
20	12 Tage
30	34 Jahre

* Verschieben einer Scheibe dauert 1 Sekunde.

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

Beispiel: Türme von Hanoi VI

Anzahl Scheiben	Benötigte Zeit*
5	31 Sekunden
10	17,1 Minute
20	12 Tage
30	34 Jahre
40	34.800 Jahre
60	36,6 Milliarden Jahre**
64	585 Milliarden Jahre

* Verschieben einer Scheibe dauert 1 Sekunde.

** Alter des Universums: 13,7 Milliarden Jahre

In diesem Kapitel:

- Prolog
- Funktionen
- Rekursion

Rekursion

Artikel im EINI-Wiki:

→ **Rekursion**

Übersicht

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Nächste Termine

- Nächste Vorlesung – WiMa 1.12.2022, 08:15
- Nächste Vorlesung – LogWing 2.12.2022, 08:15