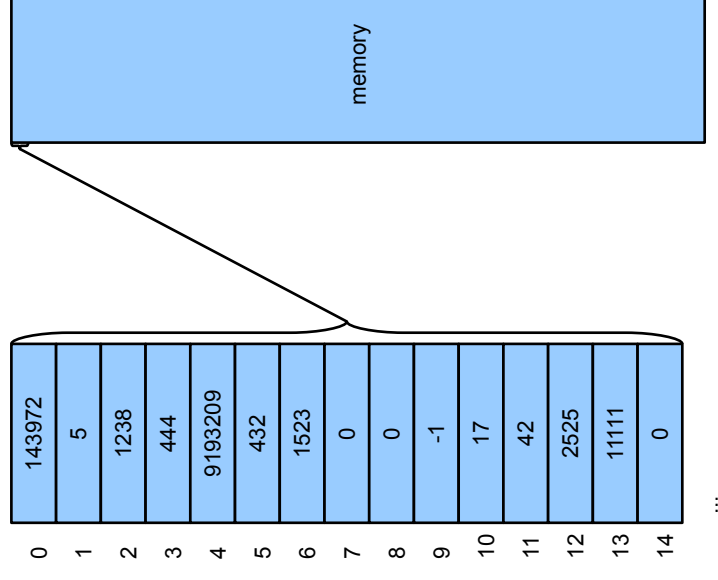


Abschnitt 4.2

Speicher und Datenstrukturen

0	143972
1	5
2	1238
3	444
4	9193209
5	432
6	1523
7	0
8	0
9	-1
10	17
11	42
12	2525
13	11111
14	0

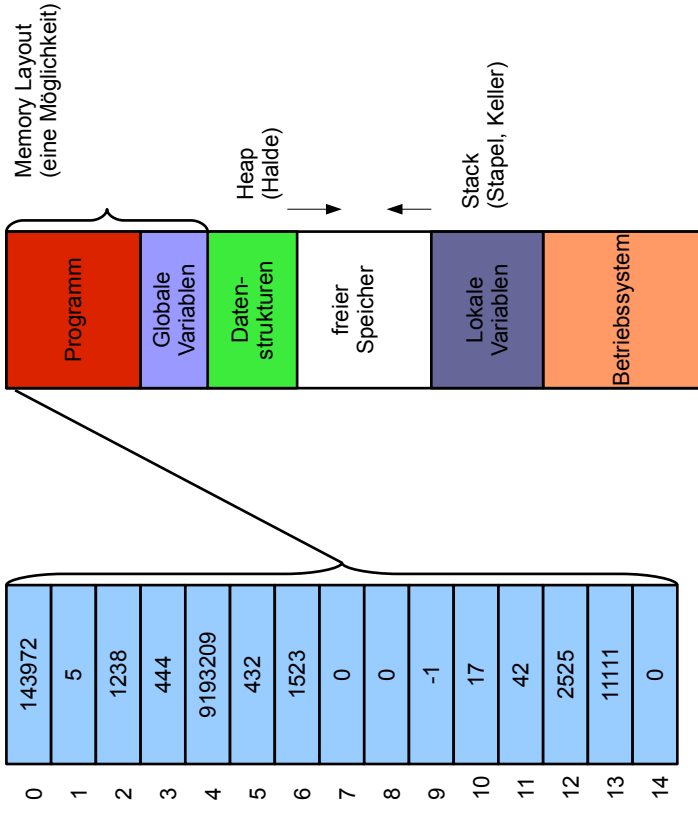
...



Unterabschnitt 4.2.1

Speicherorganisation und CPU

Unterabschnitt 4.2.2



©2010

TU Kaiserslautern

594

Listen

```
class List {
    int head;
    List tail;
    static List cons(int head, List tail) {
        List l = new List();
        l.head = head;
        l.tail = tail;
    }
    static example = cons(1000, cons(1001, cons(1002, null)));
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

595

CPU und Speicher

```
int[] memory = new int[10000000];
load(memory, "boot-image");

int pc = 0;
int a = 0;

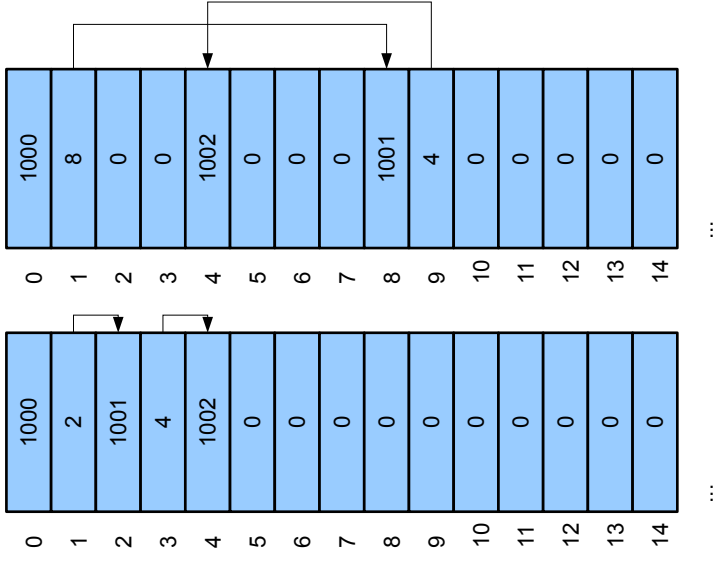
for(;;) {
    int instruction = memory[pc];
    switch(instruction) {
        case 0: pc++; break;
        case 1: a = 0; pc++; break;
        case 2: a = memory[pc+1]; pc += 2; break;
        case 3: a = memory[memory[pc+1]]; pc += 2; break;
        case 4: System.out.print((char)a); System.out.flush(); pc++; break;
        // many more cases
    }
}
```

©2010

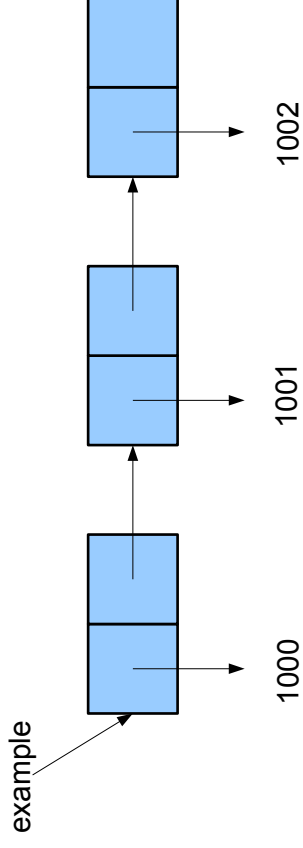
TU Kaiserslautern

593

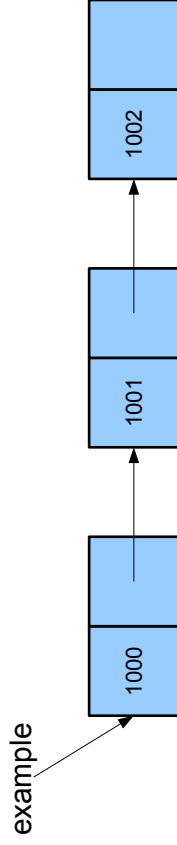
[1000,1001,1002]



[1000,1001,1002]



[1000,1001,1002]



- der Speicher ist eine nummerierte Folge von Worten
- jedes Wort kann eine Ganzzahl speichern
- Worte können als numerische Werte oder als Zeiger interpretiert werden
- Interpretation hängt vom Programm ab
- Visualisierung von Speicherinhalten durch Boxen, Pfeile und Werte
 - Boxen = Speicherzellen
 - Pfeile = Interpretation von Worten als Zeiger
 - Werte = Zahlen in Box

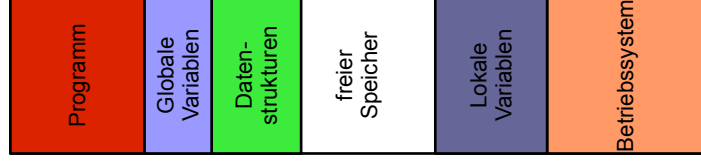
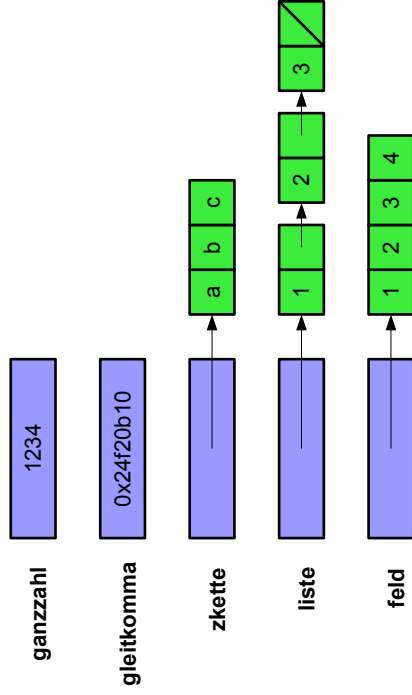
Datenstrukturen und Speicher

Unterabschnitt 4.2.3

Variablen, Datenstrukturen, Speicher

Globale Variablen

```
int    ganzzahl = 1234;
float  gleitkomma = 1.298324e20;
String zketten = "abc";
List list = cons(1,cons(2,cons(3,null)));
int[] feld = {1,2,3,4};
```

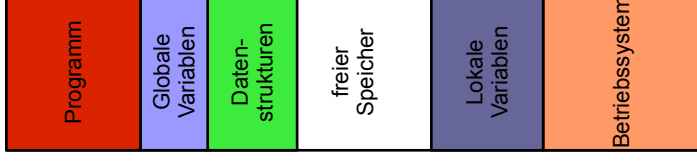
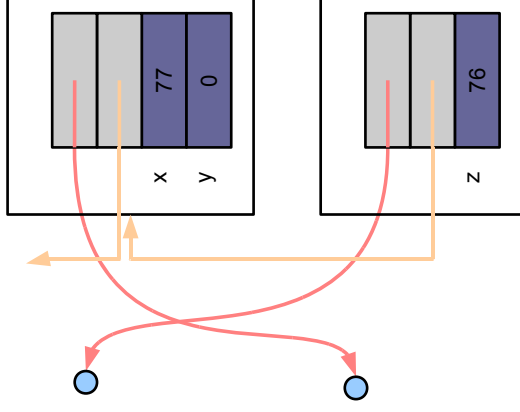


Lokale Variablen

```
int f(int x) {
  int y = g(x-1);
  return 2*y;
}

int g(int z) {
  return -z;
}

f(77);
```

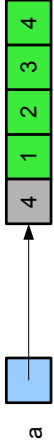


Variablen

- globale Variablen sind an festen Adressen bei Programmstart
- lokale Variablen werden in speziellen internen Datenstrukturen abgelegt
- Datenstrukturen des Benutzers werden in einem separaten Bereich angelegt

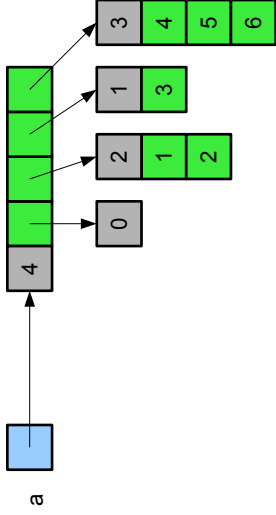
Verbundtypen und Felder

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



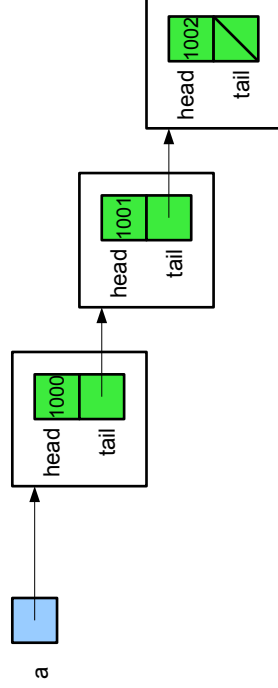
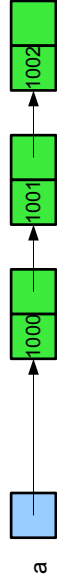
Ragged 2D Array

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



[1000,1001,1002]

```
class List {
    int head;
    List tail;
}
```



- Verbundtypen und Felder werden in Java immer im Heap angelegt
- Feld = Länge + variable Anzahl von Worten für Elemente
- Verbundtyp = Feste Anzahl von Worten, entsprechend der Komponenten
- In Java: Komponentennamen werden nicht explizit gespeichert

Unterabschnitt 4.2.4

Prozeduraufrufe

Prozeduraufruf

- erzeuge einen neuen Stackframe (eine "Inkarnation")
- speichere die Adresse des vorherigen Stackframes
- speichere den gegenwärtigen Programmschritt ("PC", "Zeile")
- erzeuge genügend Raum für die Argumente
- speichere die Argumente im Stackframe
- Springe zum Anfang der Prozedur
- erzeuge weiteren Raum für die lokalen Variablen
- initialisiere die lokalen Variablen
- führe die Prozedur aus
- lade den gespeicherten Schritt und kehre zurück
- lösche den Stackframe

©2010

TU Kaiserslautern

608

Prozeduraufruf (2)

```
void f() {
    g();
}
void g() {
    h();
}
void h() {
    print("hello");
}
```

- erzeuge Inkarnation von f
- erzeuge Inkarnation von g
- erzeuge Inkarnation von h
- zerstöre Inkarnation von h
- zerstöre Inkarnation von g
- zerstöre Inkarnation von f

©2010

TU Kaiserslautern

609

Prozeduraufruf (3)

- In Java und C sind Funktionsaufrufe immer "geklammert". Dies erlaubt die Verwendung eines Stapelspeichers (LIFO usw.) für Inkarnationen
- In Haskell können Inkarnationen als Werte behandelt werden. Dies erfordert komplexere Strategien.

©2010

TU Kaiserslautern

610

Variablen in Programm und Speicher

Jede Variablendeklaration definiert eine *Programmvariable*. Wir unterscheiden:

- globale Variablen
- (prozedur-)lokale Variablen
- Klassenvariablen, Attribute, usw.

©2010

TU Kaiserslautern

611

Variablen in Programm und Speicher (2)

Jeder Programmvariablen entsprechen zur Ausführungszeit/Laufzeit des Programms eine oder mehrere Speichervariablen:

- Jeder globalen Variablen ist genau eine Speichervariable zugeordnet.
- Ist v eine lokale Variable zur Prozedur p , dann gibt es zu jeder Inkarnation von p eine Speichervariable für v .
- (andere Variablentypen behandeln wir später).

Definition: (Lebensdauer von Variablen)

Die **Lebensdauer** einer Speichervariable ist der Teil des Ablaufs, in dem sie für die Ausführung bereit steht.

Die Lebensdauer globaler Variablen erstreckt sich über den gesamten Ablauf des Programms.

Variablen zu lokalen Deklarationen leben solange wie die zugehörige Prozedurinkarnation bzw. über die Dauer der Ausführung ihres Blocks.

Bemerkung:

Es gibt auch Variablen, deren Lebensdauer direkt über Anweisungen gesteuert werden kann.

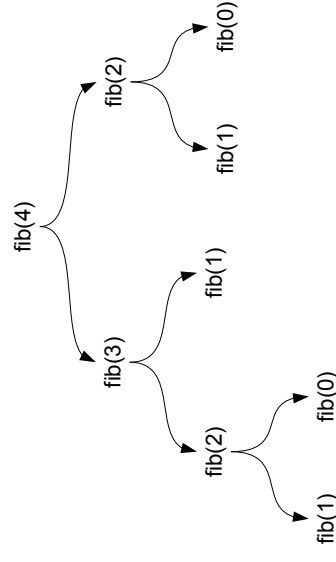
Prozedurbaum

Der **Prozeduraufbaum** beschreibt die Prozeduraufstruktur in einem Programm- oder Prozedurablauf.

Seine Baumknoten sind mit Prozedurinkarnationen markiert, so dass jede Inkarnation PI genau die Inkarnationen als Kinder hat, die von PI aus erzeugt wurden und zwar in der Reihenfolge des Ablaufs.

Prozeduraufbaum

```
int fib(int i) {
    if(i==0) return 0;
    if(i==1) return 1;
    return fib(i-1)+fib(i-2);
}
```



Visualisierung - Prozedurbaum (2)

```

begin fib (4)
  begin fib (3)
    begin fib (2)
      begin fib (1)
        end fib (1)
      begin fib (0)
        end fib (0)
      end fib (2)
    begin fib (1)
      end fib (1)
    end fib (3)
  begin fib (2)
    begin fib (1)
      end fib (1)
    end fib (2)
  end fib (4)

```

©2010

TU Kaiserslautern

618

Visualisierung - Prozedurbaum (3)

- Buchführung über Tiefe durch Inkrement/Dekrement am Anf./Ende
- nützliche Technik für Tracing
- call/return sind geklammert
- vgl. kontextfreie Grammatik / Stack / Klammerung

©2010

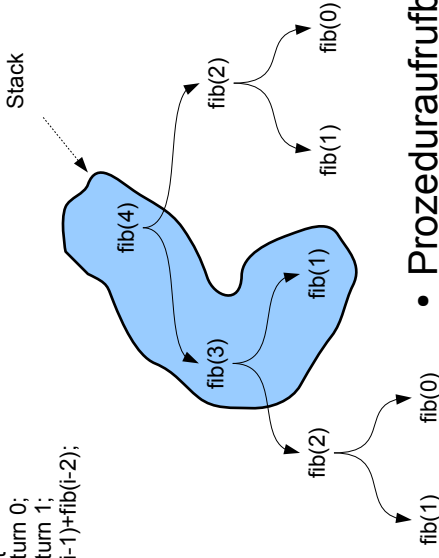
TU Kaiserslautern

619

```

int fib(int i) {
  if(i==0) return 0;
  if(i==1) return 1;
  return fib(i-1)+fib(i-2);
}

```



- Prozeduraufbaum = Geschichte der Aufrufe
- Stack = Datenstruktur, gegenwärtige Aufrufe

Visualisierung - Prozedurbaum

```

int depth = 0; // Groesse des Stacks
int fib(int i) {
  depth++; indent(4*depth); print("begin fib("+i+")");
  int result;
  if(i==0) result = 0;
  else if(i==1) result = 1;
  else result = fib(i-1)+fib(i-2);
  indent(4*depth); print("end fib("+i+")"); --depth;
  return result;
}
print(fib(4));

```

©2010

TU Kaiserslautern

617

Bemerkung:

Die Lebensdauern von Inkarnationen der gleichen Prozedur können sich überlappen.

Deshalb muss es ggf. mehrere Kopien/Instanzen der gleichen lokalen Variablen geben.

Unterabschnitt 4.2.5

Listentyp

```
public class List {
    int head;
    List tail;

    // NB: Can write procedures inside the data type definition.

    static List cons(int head, List tail) {
        List result = new List();
        result.head = head;
        result.tail = tail;
        return result;
    }
};
```

Listentyp (2)

```
static int length(List l) {
    int n = 0;
    while(l != null) {
        n++;
        l = l.tail;
    }
    return n;
}
```

Listenalgorithmen in Java

Listentyp (3)

```

static List list() {
    return null;
}
static List list(int x) {
    return cons(x, null);
}
static List list(int x, int y) {
    return cons(x, cons(y, null));
}
static List list(int x, int y, int z) {
    return cons(x, cons(y, cons(z, null)));
}

```

Beachte: Overloading

©2010

TU Kaiserslautern

624

Listentyp (4)

```

static void print(List l) {
    bool first = true;
    System.out.print("(");
    while (l != null) {
        if (first) first = false; else System.out.print(" ");
        System.out.print(""+l.head);
        l = l.tail;
    }
    System.out.println(")");
}

```

Beachte: ""+value, first flag

©2010

TU Kaiserslautern

625

Listentyp (5)

```

static List prepend(List l, int x) {
    return cons(x, l);
}
static List last(List l) {
    while (l.tail != null) l = l.tail;
    return l;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

626

Listentyp (6)

```

static List append1(List l, int x) {
    if (l == null) return cons(x, null);
    last(l).tail = cons(x, null);
    return l;
}
List l = List.list(1,2,3);
ListAlg.append1(l,99); // FALSCH
l = ListAlg.append1(l,99); // RICHTIG

```

©2010

TU Kaiserslautern

627

Listentyp (7)

```

static List conc(List l, List l2) {
    if (l==null) return l2;
    last(l).tail = l2;
    return l;
}

bsh % l = List.list(1,2,3);
bsh % m = List.list(4,5,6);
bsh % r = ListAlg.conc(l,m);
bsh % List.print(r);
(1 2 3 4 5 6)
bsh % List.print(l); // BEACHTEN
(1 2 3 4 5 6)
bsh %

```

©2010

TU Kaiserslautern

628

Listentyp (8)

```

static List insert_sorted(List initial, int x) {
    List l = initial;
    if (l==null) return List.cons(x, null);

    List last = null;
    while (l!=null && x>l.head) {
        last = l;
        l = l.tail;
    }
    if (last==null) return cons(x, l);

    last.tail = cons(x, l);
    return initial;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

629

Listentyp (9)

```

static boolean sorted(List l) {
    if (l==null) return true;
    while (l.tail!=null) {
        if (l.head>l.tail.head) return false;
    }
    return true;
}

static boolean member(int x, List l) {
    while (l!=null) {
        if (l.head==x) return true;
    }
    return false;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

630

Listentyp (10)

```

static List insert_sorted1(List initial, int x) {
    if (!sorted(initial)) error("not sorted");
    int n = length(initial);

    List result = insert_sorted(initial, x);
    if (length(result)!=n+1) error("wrong length of result");
    if (!sorted(result)) error("result not sorted");
    if (!member(x, result)) error("element not found in result");
    return result;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

631

Listentyp (11)

```
static List insert_sorted1(List initial, int x) {
    assert sorted(initial);
    int n = length(initial);
    List result = insert_sorted(initial, x);
    assert length(result)==n+1;
    assert sorted(result);
    assert member(x, result);
    return result;
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

632

Listentyp (12)

Assertion (Zusicherung):

- assert hilft beim Testen
- einige Tests dauern lange und sollten nicht im Produktionsmodus verwendet werden
- assert kann ein/ausgeschaltet werden und sollte keine Seiteneffekte haben
- assert dokumentiert erwartete Eigenschaften des Programms
- assert hilft, Fehler bei Veränderungen des Programms sofort zu identifizieren
- assert am Anfang einer Prozedur: **precondition**
- assert am Ende einer Prozedur: **postcondition**
- assert in einer Schleife: i.A. **loop invariant**

©2010

TU Kaiserslautern

633

Listentyp (13)

```
delete [] x = []
delete (h:t) x | h==x = delete t x
delete (h:t) x = h : delete t x

static List delete(List l, int x) {
    if (l==null) return null;
    if (l.head==x) return delete(l.tail, x);
    return cons(l.head, delete(l.tail, x));
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

634

Listentyp (14)

```
static List destructive_delete(List l, int x) {
    if (l==null) return null;
    while (l!=null && l.head==x) {
        l = l.tail;
    }
    if (l==null) return null;
    List start = l;
    while (l.tail!=null) {
        if (l.tail.head==x) {
            l.tail = l.tail.tail;
        } else {
            l = l.tail;
        }
    }
    return start;
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

635

Listentyp (15)

Verlinkte Listen

- “traditionelle” Datenstruktur
- destruktive und nicht-destruktive Funktionen
- nicht-destruktiv wie in Haskell (und ähnlich einfach)
- destruktiv
 - effizienter (warum?)
 - komplexer
 - müssen Ergebnis zuweisen
 - Zuweisung vergessen = manchmal (!) falsch
 - unerwartete Veränderung von Werten von anderen Variablen
- i.A. besser: Felder mit “exponential doubling”

Unterabschnitt 4.2.6

Destruktive Bäume

Bemerkung:

```
class Node {
    int mark;
    Node left;
    Node right;

    static Node make(int x, Node left, Node right) {
        Node result = new Node();
        result.mark = x;
        result.left = left;
        result.right = right;
        return result;
    }
}
```

Bemerkung: (2)

```
static Node insert(Node t, int x) {
    if (t==null)
        return make(x, null, null);
    if (t.mark==x)
        return make(t.mark, t.left, t.right);
    if (t.mark>x)
        return make(t.mark, insert(t.left, x), t.right);
    if (t.mark<x)
        return make(t.mark, t.left, insert(t.right, x));
}
```

Bemerkung: (3)

```

static Node destructive_insert(Node t, int x) {
    if (t==null)
        return make(x, null, null);
    if (t.mark==x)
        return t;
    if (t.mark>x)
        t.left = insert(t.left, x);
    else if (t.mark<x)
        t.right = insert(t.right, x);
    return t;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

640

Unterabschnitt 4.2.7

©2010

TU Kaiserslautern

642

Manuelle Speicherverwaltung mit Listen

Manuelle Speicherverwaltung ist *notwending* in Sprachen, wie C.

In Java ist manuelle Speicherverwaltung (mittels *Pools*) *optional* und kann zur Beschleunigung von Programmen verwendet werden.

```

public class List {
    int head;
    List tail;
    static List cons(int head, List tail) ...
    static void free(List l) ...
    static void used(String msg) ...
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

643

Manuelle Speicherverwaltung

©2010

TU Kaiserslautern

641

Manuelle Speicherverwaltung mit Listen (2)

```

bsh % List.used();
in use: 0
bsh % l = List.cons(3, null);
bsh % List.used();
in use: 1
bsh % List.free(l);
bsh % List.used();
in use: 0
bsh %

```

©2010

TU Kaiserslautern

644

Manuelle Speicherverwaltung mit Listen (3)

```

static List destructive_delete(List l, int x) {
    if(l==null) return null;
    while(l!=null && l.head==x) {
        List temp = l;
        l = l.tail;
        List.free(temp);
    }
    if(l==null) return null;
    List start = l;
    while(l.tail!=null) {
        if(l.tail.head==x) {
            List temp = l.tail;
            l.tail = l.tail.tail;
            List.free(temp);
        } else {
            l = l.tail;
        }
    }
    return start;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

645

Manuelle Speicherverwaltung mit Listen (4)

Memory Leak

```

bsh % List.used();
in use: 0
bsh % l = List.cons(3, null);
bsh % List.used();
in use: 1
bsh % m = List.cons(4, null);
bsh % List.used();
in use: 2
bsh % List.free(m);
bsh % List.used();
in use: 1
bsh % l = List.cons(5, null);
bsh % List.used();
in use: 2
bsh % List.free(l);
bsh % List.used();
in use: 1
bsh %

```

©2010

TU Kaiserslautern

646

Manuelle Speicherverwaltung mit Listen (5)

Dangling Reference (baumeinander Zeiger)

```

bsh % l = List.cons(3, null);
bsh % List.free(l);
bsh % m = List.cons(4, null);
bsh % List.print(m);
(4)
bsh % l.head = 99;
bsh % List.print(m);
(99)
bsh %

```

©2010

TU Kaiserslautern

647

Listen im Speicher

```

public class PC {
    int[] memory;
}

public class List {
    int head;
    int tail;
    static int head(int l) {
        return PC.memory[l];
    }
    static int tail(int l) {
        return PC.memory[l+1];
    }
    static int set_head(int l, int x) {
        PC.memory[l] = x;
    }
    static int set_tail(int l, int l2) {
        PC.memory[l+1] = l2;
    }
    ...
};

```

©2010

TU Kaiserslautern

648

Listen im Speicher (2)

```

static int cons(int head, int tail) {
    int l = ... find free pair ...;
    PC.memory[l] = head;
    PC.memory[l+1] = tail;
}
static void free(List l) {
    ...
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

649

Listen im Speicher (3)

Fehlerchecking (oft größtenteils in Hardware):

```

public class List {
    int head;
    int tail;
    static int NULL = -1;
    static int head(int l) {
        assert l!=NULL && l%2==0 && l<PC.memory.length && l >=0;
        return PC.memory[l];
    }
    ...
};

```

©2010

TU Kaiserslautern

650

Listen im Speicher (4)

Grundidee:

Freie Elemente können auch als Liste repräsentiert werden (s.o.).

Erzeuge eine Liste aller Elemente am Anfang, dann gib daraus freie Elemente zurück.

©2010

TU Kaiserslautern

651

Listen im Speicher (5)

```

static int free_list;

static void init_free_list() {
    free_list = 0;
    int i;
    for(i=0; i<PC.memory.length-1; i+=2) {
        PC.memory[i+1] = i+2;
    }
    PC.memory[i+1] = NULL;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

652

Listen im Speicher (6)

```

static int free_list;

static int cons(int head, int tail) {
    assert free_list!=NULL;
    int result = free_list;
    free_list = tail(free_list);
    PC.memory[result] = head;
    PC.memory[result+1] = tail;
}

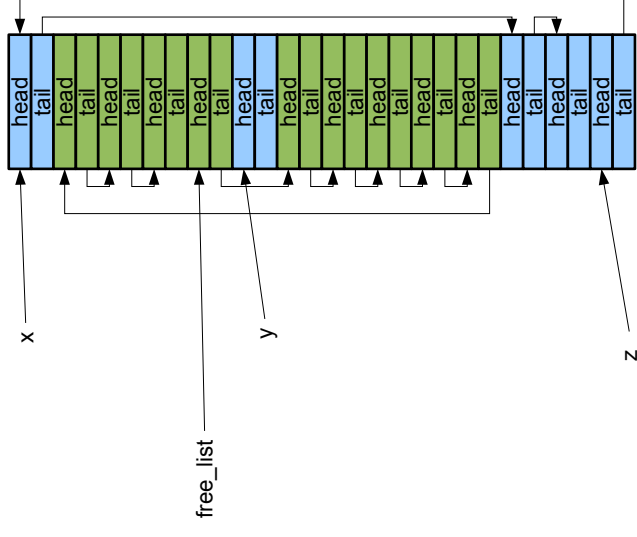
static void free(int l) {
    set_head(l, -1);
    set_tail(l, free_list);
    free_list = l;
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

653



Unterabschnitt 4.2.8

Felder als Listen

©2010

TU Kaiserslautern

655

Felder als "Listen"

```

public class Flist {
    int[] data;
    int fill;

    static Flist make(int n) {
        Flist l = new Flist();
        l.data = new int[n];
        l.fill = 0;
    }
    static void push(Flist l, int x) {
        l.data[fill++] = x;
    }
    static int pop(Flist l) {
        return l.data[--fill];
    }
    static int at(Flist l, int i) {
        return l.data[i];
    }
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

656

Felder als "Listen" (2)

```

public class Flist {
    int[] data;
    int fill;

    static Flist make(int n) {
        assert n>0;
        Flist l = new Flist();
        l.data = new int[n];
        l.fill = 0;
    }
    static void push(Flist l, int x) {
        assert fill<data.length;
        data[fill++] = x;
    }
    static int pop() {
        assert fill>0;
        return data[--fill];
    }
    static int at(int i) {
        assert i>=0 && i<data.length;
        return data[i];
    }
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

657

Felder als "Listen" (3)

```

    }
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

658

Felder als "Listen" (4)

exponentielles Wachstum

```

public class Flist {
    int[] data;
    int fill;

    static void push(Flist l, int x) {
        if (l.fill==l.data.length) {
            int ndata = new int[2*l.data.length];
            for (int i=0; i<fill; i++) ndata[i] = l.data[i];
            l.data = ndata;
        }
        assert fill<data.length;
        data[fill++] = x;
    }
    ...
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

659

Felder als "Listen" (5)

Aufwandsabschätzung: Hinzufügen von 1024 Elementen

verlinkte Listen: rufe `cons` 1024 mal auf, 1024 Zuweisungen

Stacks: rufe `new int` 9 mal auf mit Größen 1-1024, kopiere
 $1 + 2 + 4 + 8 + \dots + 512$ mal Elemente in `push`, dann weise insgesamt
 1024 mal zu.

Element 1025 führt zu Vergrößerung auf 2048; diese große Arbeit wird
 dann aber *amortisiert*, und wenn wir mit n Elementen arbeiten ist der
 Aufwand dafür immer höchstens $2n$

Felder als "Listen" (6)

Speicheraufwand

verlinkte Listen: 1024 Worte für heads, 1024 Worte für tails (plus
 3×1024 für Java!)

Stacks: aktiv ein Feld von 1024 Elementen = 1024 Worte (plus 3 für
 Java)

Element 1024 führt zum Verbrauch von 2048 Worten, aber immer
 noch nicht höher als verlinkte Listen

Felder als "Listen" (7)

Operation	verlinkt	feldbasiert
erzeugen von List mit n Elementen	$O(n)$	$O(n)$
Bestimmen der Länge	$O(n)$	$O(1)$
voranstellen / prepend	$O(1)$	$O(n)$
anhängen / append	$O(n)$	$O(1)$
Zugriff auf Element in der Mitte	$O(n)$	$O(1)$
Einfügen in der Mitte	$O(n)$	$O(n)$
Löschen aus der Mitte	$O(n)$	$O(n)$

- $O(1)$ = Anzahl von Schritten unabhängig von Listenlänge
- $O(n)$ = Anzahl von Schritten i.A. proportional zu Listenlänge
- $O(n^2)$ = Anzahl von Schritten i.A. proportional zum Quadrat der
 Listenlänge

Dies wird später noch vertieft.

Felder als "Listen" (8)

"Listen" in vielen modernen Programmiersprachen sind feldbasiert,
 nicht verlinkt.

Effizienz wird durch exponentielles Wachstum der Feldgröße bei
 Bedarf erreicht.

Aufwand ist i.A. gleich oder besser als Listen.

Achtung: bei verlinkten Listen ist voranstellen einfacher, bei
 feldbasierten Listen das Anhängen.

Felder als "Listen" (9)

Stimmt die Analyse noch für dies?

```
if (fill == data.length) {  
    int ndata = new int[data.length + data.length / 5];  
    for (int i = 0; i < fill; i++) ndata[i] = data[i];  
    l.data = ndata;  
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

664

Felder als "Listen" (10)

Stimmt die Analyse noch für dies?

```
if (fill == data.length) {  
    int ndata = new int[data.length + 1000];  
    for (int i = 0; i < fill; i++) ndata[i] = data[i];  
    l.data = ndata;  
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

665

Unterabschnitt 4.2.9

Felder im Speicher

©2010

TU Kaiserslautern

666

Felder im Speicher

```
public class PC {  
    static int[] memory;  
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

667

Felder im Speicher (2)

```

public class MyArray {
    int start;
    int length;

    static int get(MyArray a, int index) {
        assert index >= 0 && index < a.length;
        return PC.memory[a.start+index];
    }

    static void put(MyArray a, int index, int value) {
        assert index >= 0 && index < a.length;
        PC.memory[a.start+index] = value;
    }

    static MyArray alloc(int n) {
        ... finde unbenutzten Bereich von Laenge n ...
        ... markiere ihn als benutzt ...
        ... gib einen Deskriptor zurueck ...
    }

    void free(MyArray a) {
        ...
    }
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

668

Felder im Speicher (3)

```

public class MyArray {
    static int alloc(int n) {
        ... finde unbenutzten Bereich von Laenge n+2 ...
        ... markiere ihn als benutzt ...
        ... gib den Index des ersten Elements im Speicher zurueck ...
    }

    static void free(int a) {
        ...
    }

    static int get(int a, int index) {
        int length = PC.memory[a-1];
        assert index >= 0 && index < length;
        return PC.memory[a+index];
    }

    static void put(int a, int index, int value) {
        int length = PC.memory[a-1];
        assert index >= 0 && index < length;
        PC.memory[a+index] = value;
    }
}

```

©2010

TU Kaiserslautern

669

Felder im Speicher (4)

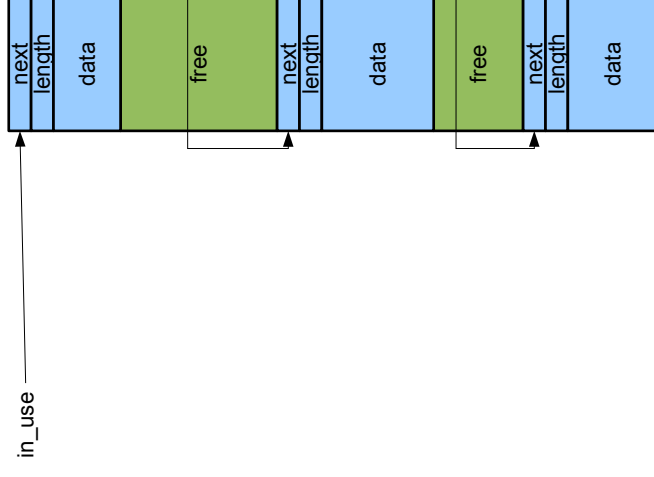
Im Speicher werden Felder als fortlaufende Bereiche von Worten dargestellt und durch einen **Zeiger** repräsentiert.
Ein Zeiger ist die Nummer des Wortes wo die Element des Feldes anfangen.

Zusätzliche Worte werden für Speicherverwaltung benötigt.
Einfache Speicherverwaltung: verlinkte Liste von gebrauchten oder gebrauchten+benutzten Blöcken.
Implementierung? Versuchen Sie sich dran.

©2010

TU Kaiserslautern

670



Mini-Facebook

We define a very simple “Facebook” application. There are members and there are pages. Each member has a name and a number of pages. Pages have a title and a list of related pages.

```
class Member {
    String name;
    Page[] pages;
}

class Page {
    String title;
    Page[] related;
    boolean marked;
}

class Facebook {
    Member[] members;
    Page[] pages;
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

674

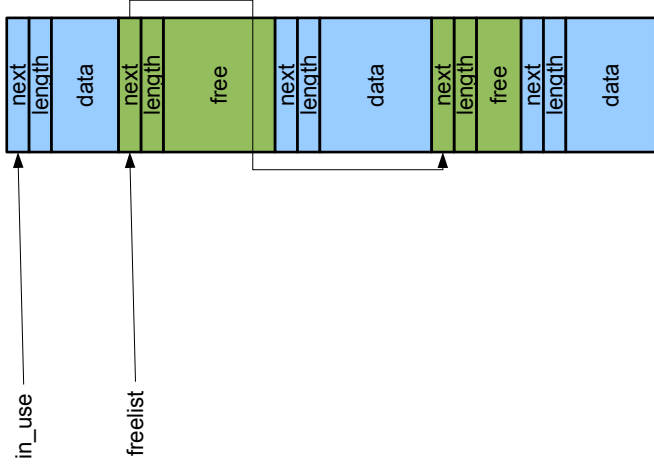
Mini-Facebook (2)

```
print("adding members");
Facebook fb = new Facebook();
fb.members = new Member[100];
for(int i=0;i<fb.members.length;i++) {
    fb.members[i] = new Member();
    fb.members[i].name = "Member #" + i;
    fb.members[i].pages = new Page[100];
}
... same for pages ...
```

©2010

TU Kaiserslautern

675



Unterabschnitt 4.2.10

Garbage Collection

©2010

TU Kaiserslautern

673

Mini-Facebook (3)

Users can add pages to their member profile.

```
boolean add_page(Member member, Page page) {
    if (member == null || page == null) return false;
    for (int i = 0; i < member.pages.length; i++) {
        if (member.pages[i] != null) continue;
        member.pages[i] = page;
        return true;
    }
    return false;
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

676

Mini-Facebook (4)

Users can add pages to other pages.

```
boolean add_related(Page page, Page related) {
    if (page == null || page == null || page == related) return false;
    for (int i = 0; i < page.related.length; i++) {
        if (page.related[i] != null) continue;
        page.related[i] = related;
        return true;
    }
    return false;
}
```

Dies erzeugt ein **Geflecht**

©2010

TU Kaiserslautern

677

Mini-Facebook (5)

Now we simulate user activity. These kinds of simulations are quite common in computer science and let us test systems and measure their behavior.

We start off by picking a random member and a random page and have the user add that page to his profile.

```
print("adding pages to member profiles");
for (int i = 0; i < fb.pages.length; i++) {
    for (int j = 0; j < 3; j++) {
        Page page = fb.pages[random.nextInt(fb.pages.length)];
        Page related = fb.pages[random.nextInt(fb.pages.length)];
        add_related(page, related);
    }
}
... same for members ...
```

©2010

TU Kaiserslautern

678

Mini-Facebook (6)

After all this user activity, many pages are either directly on some member's list of pages, or they are at least related to some other page, even if they are not directly on someone's list of pages.

However, some pages have become "unreachable": that is, they are neither linked to directly from a member profile, nor are they linked to from another page. We want to find these unreachable pages so that we can delete them.

©2010

TU Kaiserslautern

679

Mini-Facebook (2)

Markieren aller Seiten, auf die sich andere Seiten beziehen.

```
void mark(Page page) {
    if (page==null || page.marked) return;
    // First, we mark the page as having been visited. We do
    // this before we mark related pages so that we don't recurse
    // on the same page twice.
    page.marked = true;
    // Now we step through the list of related pages and
    // mark all of those as well.
    for (int i=0;i<page.related.length;i++)
        mark(page.related[i]); // REKURSIV
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

682

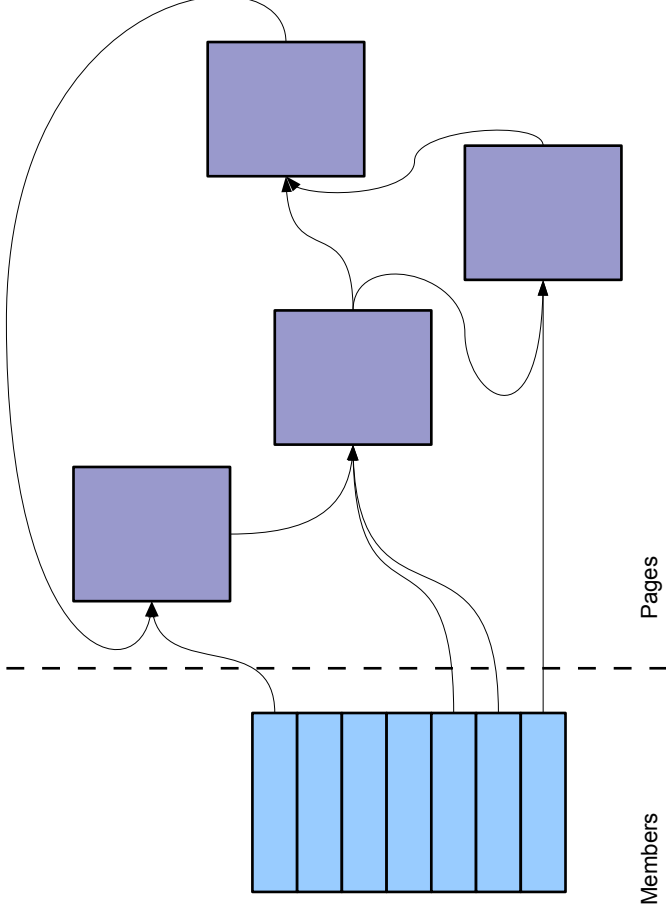
Mini-Facebook (3)

```
void remove_unreachable_pages() {
    // First, we clear all the marks on all the known pages.
    print("clearing marks");
    for (int i=0;i<fb.pages.length;i++)
        fb.pages[i].marked = false;
    // Next, we mark all the pages that are reachable from a member
    // profile.
    print("marking pages on member profiles");
    for (int i=0;i<fb.members.length;i++)
        mark(fb.members[i]);
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

683



Mini-Facebook

Markieren aller Seiten von Mitgliedern:

```
void mark(Member member) {
    if (member==null) return;
    // Marking a member is simple: we just step through each
    // page in his profile and mark that page.
    for (int i=0;i<member.pages.length;i++)
        mark(member.pages[i]);
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

681

Mini-Facebook (4)

```
// After the recursive marking step, any page that has not been
// marked is neither listed in a member profile, nor listed as
// related to any page that is reachable from a member profile.
// Those are the pages we can delete.
print("deleting unreachable pages");
ndeleted = 0;
for(int i=0;i<fb.pages.length;i++) {
    if(fb.pages[i].marked) continue;
    print("deleting: "+fb.pages[i].title);
    // We delete the page simply by setting its corresponding
    // entry to null. Of course, the Java storage manager
    // eventually cleans up the memory associated with that page.
    fb.pages[i] = null;
    ndeleted++;
}
print("deleted "+ndeleted+" unreachable pages");
}
```

©2010

TU Kaiserslautern

684

Mini-Facebook (5)

Garbage Collection

- **Roots** (Wurzeln) – Objekte, die namentlich referenziert werden können
- **Object Graph** (Geflecht) – Objekte, die sich gegenseitig referenzieren
- **Reachability** (Erreichbarkeit) – Objekte, zu denen wir von den Wurzeln durch Referenzen navigieren können.
- **Mark Phase** – Markierung aller Objekte, die von den Wurzeln erreichbar sind.
- **Sweep Phase** – Aufräumen aller Objekte, die nicht markiert sind.

©2010

TU Kaiserslautern

685

Mini-Facebook (6)

Konzept	Mini-Facebook	Java
Wurzeln	Personen	Variablen
Objekte	Seiten	beliebige Objekte
Mark Phase	rek. Markierung Seiten	rek. Markierung Objekte
Sweep Phase	Entfernung von Seiten	Rückgabe des Speichers

©2010

TU Kaiserslautern

686

Mini-Facebook (7)

- Garbage Collection in Java ist analog zu anderen Datenverwaltungsproblemen
- Garbage Collection is praktisch: wir brauchen uns keine (?) Gedanken um Speicherverwaltung zu machen
- Garbage Collection ist wichtig, um Speicherverwaltungsfehler zu vermeiden (dangling references, storage leaks)
- Amortisiert über Objekte ist Garbage Collection oft effizienter, als manuelle Speicherverwaltung.

©2010

TU Kaiserslautern

687

Unterabschnitt 4.2.11

Effizienz

praktische Effizienz

- **Laufzeit** – Anzahl der Schritte, die ein Programm braucht
Messen durch Stoppuhr oder Zählen der Schritte/Aufrufe (auch mittels Instrumentierung).
- **Speicherbedarf** – maximale Anzahl der Speicherworte, die das Programm benötigt
Messen durch Instrumentierung der Speicherfunktionen

praktische Effizienz (2)

```
$ cat fib.hs
import System (getArgs)

fib 0 = 1
fib 1 = 1
fib n = (fib (n-1)) + (fib (n-2))

fib_main :: [String] -> Int
fib_main [arg] = fib (read arg)

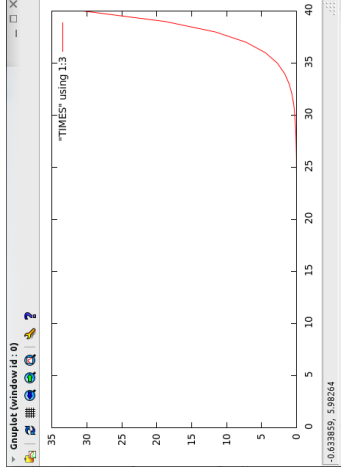
main = do
  args <- getArgs
  print (fib_main args)
$
```

praktische Effizienz (3)

```
$ seq 40 | while read x; do
  echo $x $(/usr/bin/time -f '%U\n' a.out $x 2>&1);
done > TIMES
$ tail TIMES
31 2178309 0.40
32 3524578 0.65
33 5702887 1.04
34 9227465 1.70
35 14930352 2.74
36 24157817 4.44
37 39088169 7.18
38 63245986 11.64
39 102334155 18.79
40 165580141 30.45
```

praktische Effizienz (4)

```
$ gnuplot
...
gnuplot> plot "TIMES" using 1:3 with lines
$
```



©2010

TU Kaiserslautern

692

praktische Effizienz (5)

```
$ cat fib.bsh
fib(i) {
  if (i < 2) return 1;
  return fib(i-1)+fib(i-2);
}

n = Integer.parseInt(bsh.args[0]);
print (fib(n));
$
```

©2010

TU Kaiserslautern

693

praktische Effizienz (6)

```
$ cat fib.c
#include <stdio.h>

int fib(int n) {
  if (n < 2) return 1;
  return fib(n-1)+fib(n-2);
}

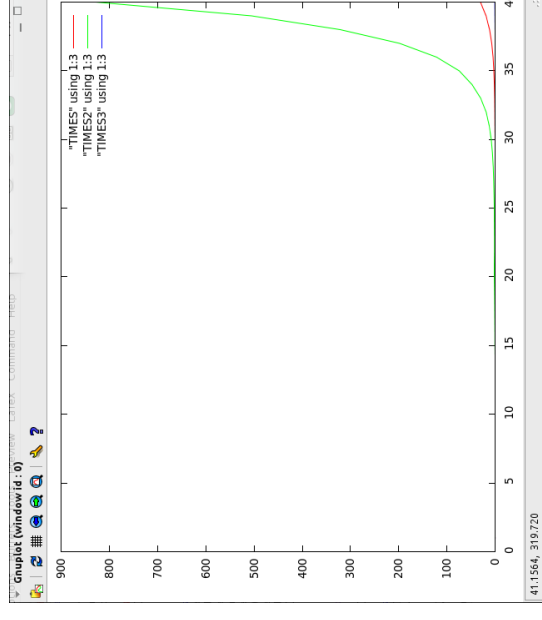
int main(int argc, char **argv) {
  int n = atoi(argv[1]);
  printf("%d\n", fib(n));
  return 0;
}$
```

©2010

TU Kaiserslautern

694

praktische Effizienz (7)

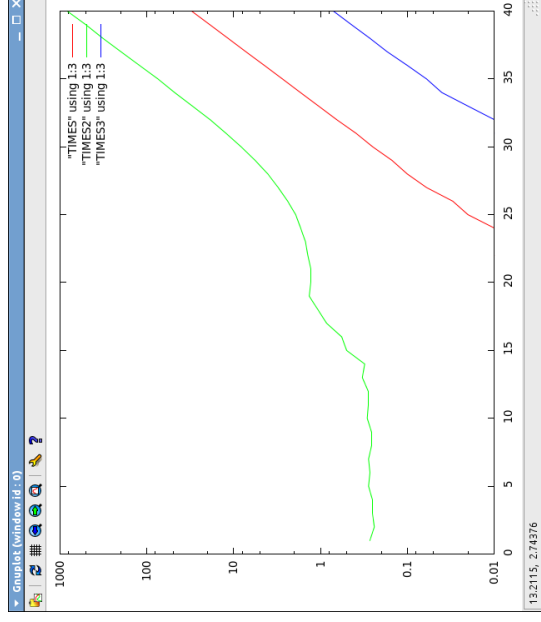


©2010

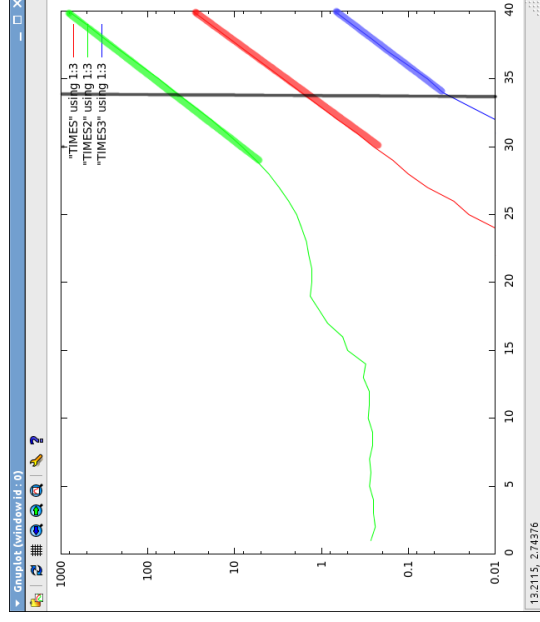
TU Kaiserslautern

695

praktische Effizienz (8)



praktische Effizienz (9)



praktische Effizienz (10)

- Laufzeit und Speicherbedarf sind abhängig von Eingabedaten, -werten
- Laufzeit und Speicherbedarf können empirisch bestimmt werden.
- **Asymptotisch** wird das Laufzeitverhalten verschiedener Implementierungen desselben Algorithmus ugf. proportional