

Kapitel 4: Dynamische Datenstrukturen

*Algorithmen und Datenstrukturen
WS 2023/24*

Prof. Dr. Sándor Fekete

Wie verwalten wir dynamische Mengen von Objekten?



Waschkorb

4.1 Grundoperationen

Aufgabenstellung:

- *Verwalten einer Menge S von Objekten*
- *Ausführen von verschiedenen Operationen (s.u.)*

Im Folgenden:

S	Menge von Objekten
k	Wert eines Elements (“Schlüssel”)
x	Zeiger auf Element
NIL	spezieller, “leerer” Zeiger

4.1 Grundoperationen

SEARCH(S,k): “Suche in S nach k”

Durchsuche die Menge S nach einem Element von Wert k.

**Ausgabe: Zeiger x, falls x existent
NIL, falls kein Element Wert k hat.**

4.1 Grundoperationen

INSERT(S,x): “Füge x in S ein”

Erweitere S um das Element, das unter der Adresse x steht.

4.1 Grundoperationen

DELETE(S,x): “Entferne x aus S”

Lösche das unter der Adresse x stehende Element aus der Menge S.

4.1 Grundoperationen

MINIMUM(S): “Suche das Minimum in S”

**Finde in S ein Element von kleinstem Wert.
(Annahme: Die Werte lassen sich vollständig
vergleichen!)**

Ausgabe: Zeiger x auf solch ein Element

4.1 Grundoperationen

MAXIMUM(S): “Suche das Maximum in S”

**Finde in S ein Element von größtem Wert.
(Annahme: Die Werte lassen sich vollständig
vergleichen!)**

Ausgabe: Zeiger x auf solch ein Element

4.1 Grundoperationen

PREDECESSOR(S,x):

“Finde das nächstkleinere Element”

**Für ein in x stehendes Element in S ,
bestimme ein Element von nächstkleinerem
Wert in S .**

Ausgabe: Zeiger y auf Element

NIL, falls x Minimum von S angibt

4.1 Grundoperationen

SUCCESSOR(S,x):

“Finde das nächstgrößere Element”

**Für ein in x stehendes Element in S ,
bestimme ein Element von nächstgrößerem
Wert in S .**

**Ausgabe: Zeiger y auf Element
NIL, falls x Maximum von S angibt**

4.1 Grundoperationen

Wie nimmt man das vor?

Wie lange dauert das,
in Abhängigkeit von der Größe von S?

Unsortierte Unterlagen:

Immer alles durchgehen, also: $O(n)$

Sortierte Unterlagen: Geht schneller!

4.1 Grundoperationen

Langsam:

- $O(n)$: *lineare Zeit*

Alle Objekte anschauen

Sehr schnell:

- $O(1)$: *konstante Zeit*

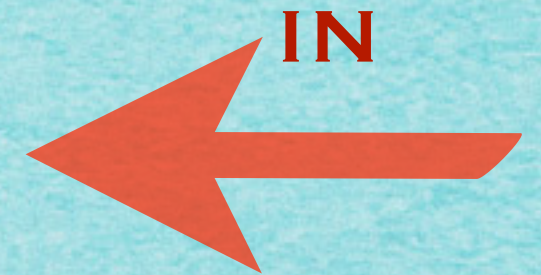
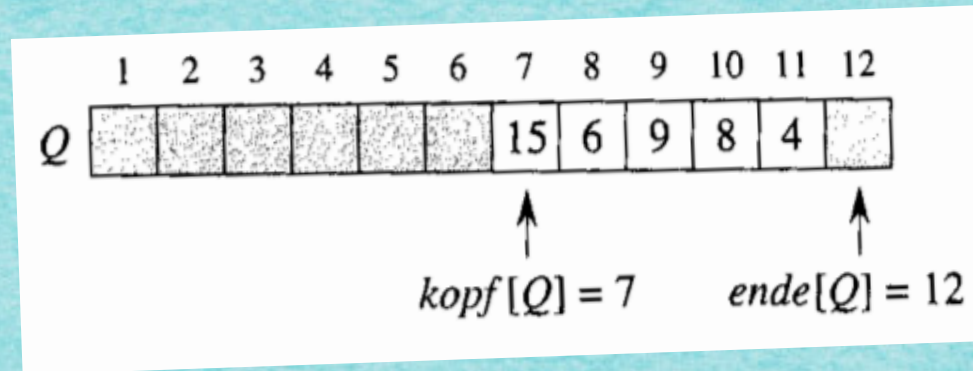
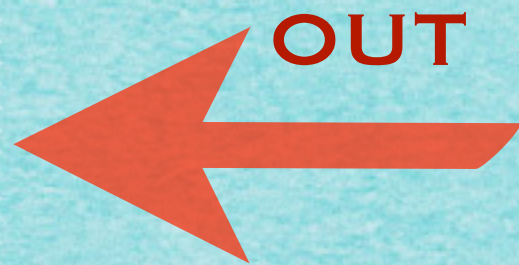
Immer gleich schnell, egal wie groß S ist.

Schnell:

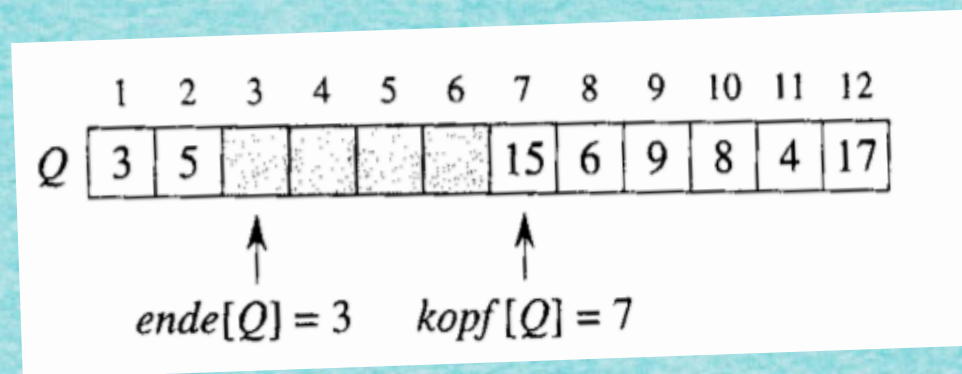
- $O(\log n)$: *logarithmische Zeit*

Wiederholtes Halbieren

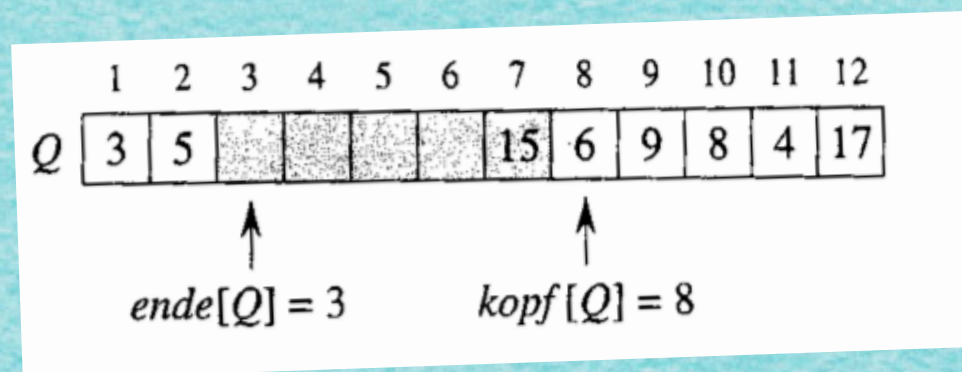
4.2 Stapel und Warteschlange



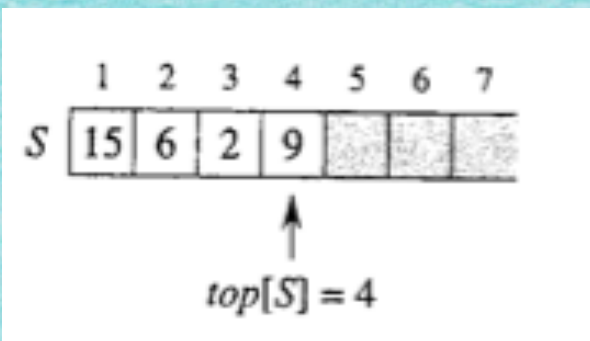
ENQUEUE: 17, 3, 5



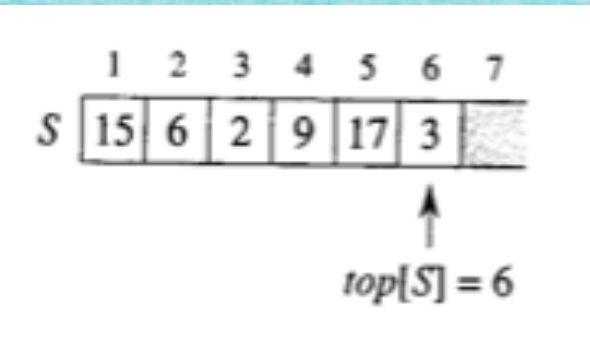
DEQUEUE:



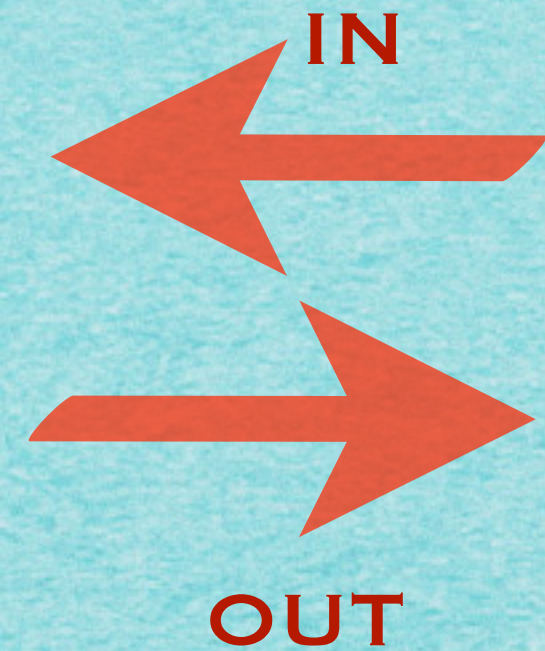
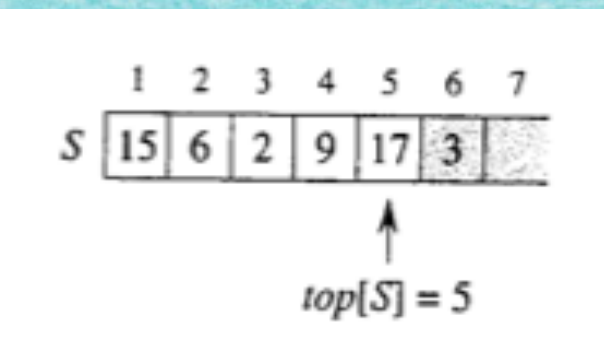
STACK AUF ARRAY UMGESETZT



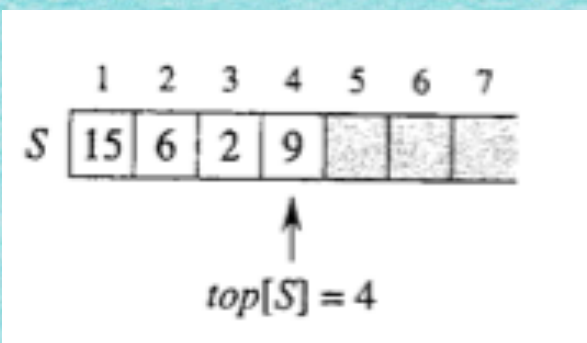
PUSH: 17, 3



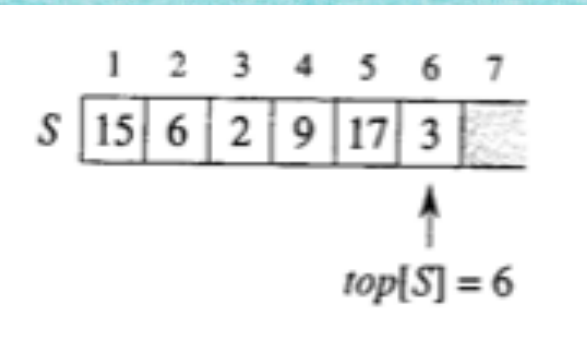
POP



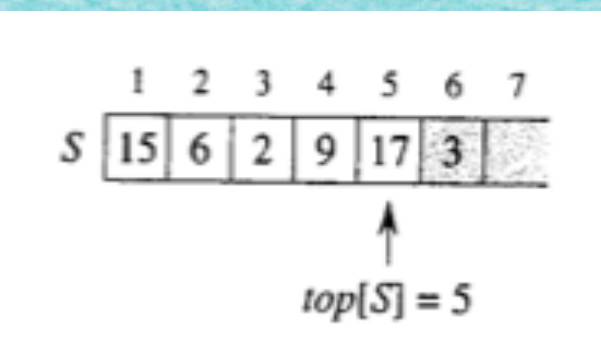
STACK AUF ARRAY UMGESETZT



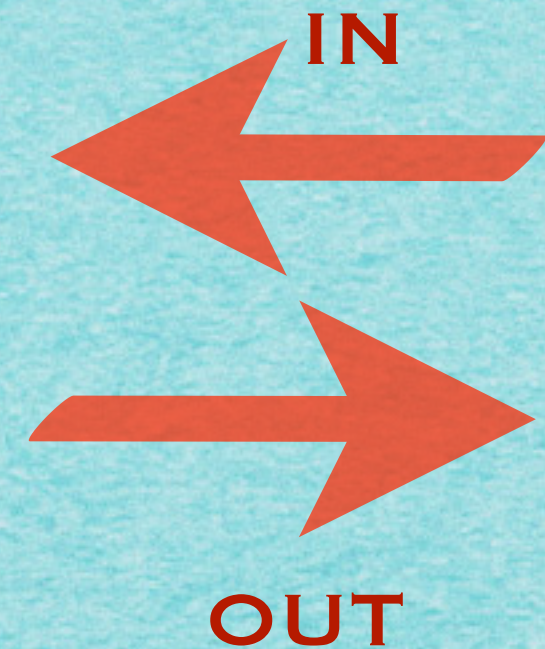
```
STACK-EMPTY(S)  
1  if  $top[S] = 0$   
2    then return WAHR  
3    else return FALSCH
```



```
PUSH(S, x)  
1   $top[S] \leftarrow top[S] + 1$   
2   $S[top[S]] \leftarrow x$ 
```



```
POP(S)  
1  if STACK-EMPTY(S)  
2    then error "Unterlauf"  
3    else  $top[S] \leftarrow top[S] - 1$   
4          return  $S[top[S] + 1]$ 
```



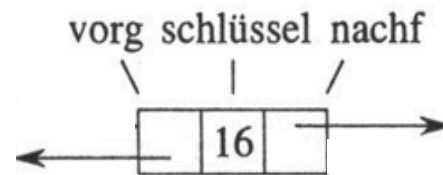
4.3 Verkettete Listen

Idee:

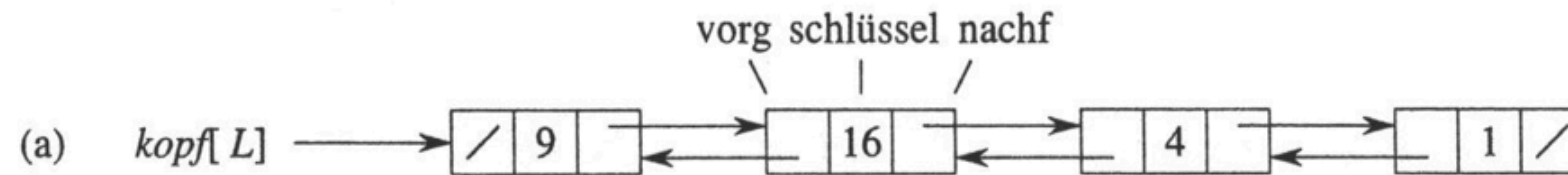


Ordne Objekte nicht explizit in aufeinanderfolgenden Speicherzellen an, sondern gib jeweils Vorgänger und Nachfolger an.

Struktur einer doppelt verketteten Liste

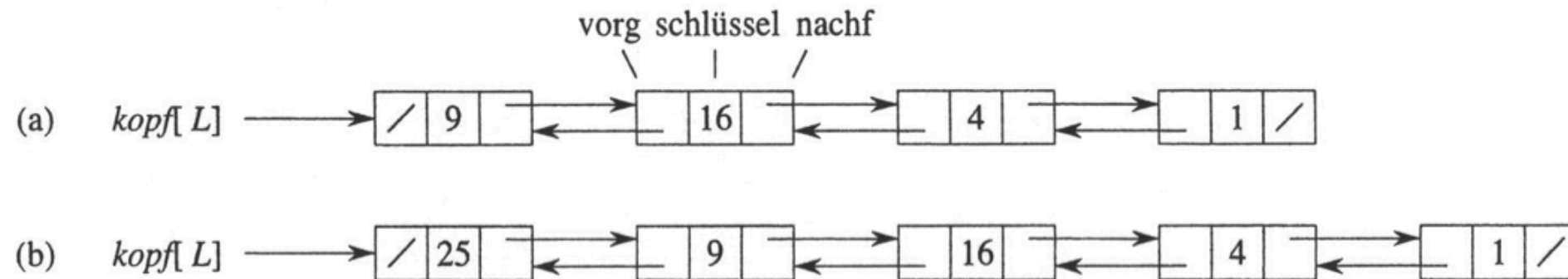


Struktur einer doppelt verketteten Liste



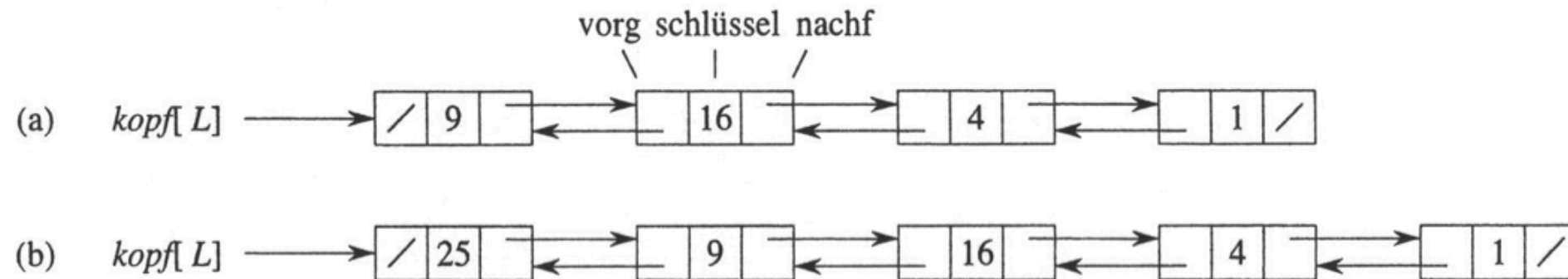
- **Füge vorne das Element mit Schlüssel 25 ein.**

Struktur einer doppelt verketteten Liste



- **Füge vorne das Element mit Schlüssel 25 ein.**

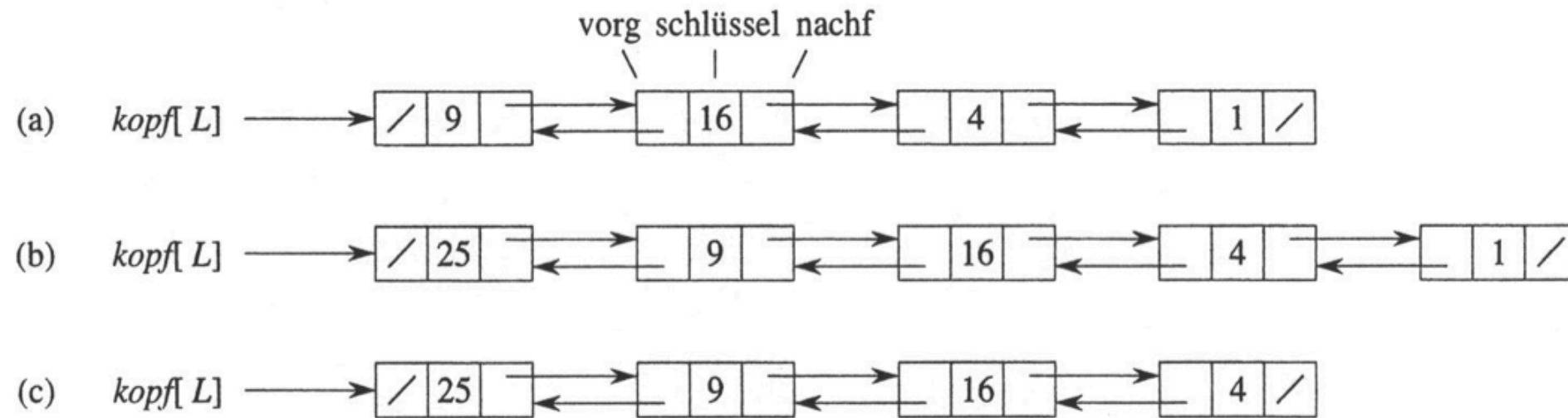
Struktur einer doppelt verketteten Liste



- **Füge vorne das Element mit Schlüssel 25 ein.**

- **Finde ein Element mit Schlüssel 1 und lösche es.**

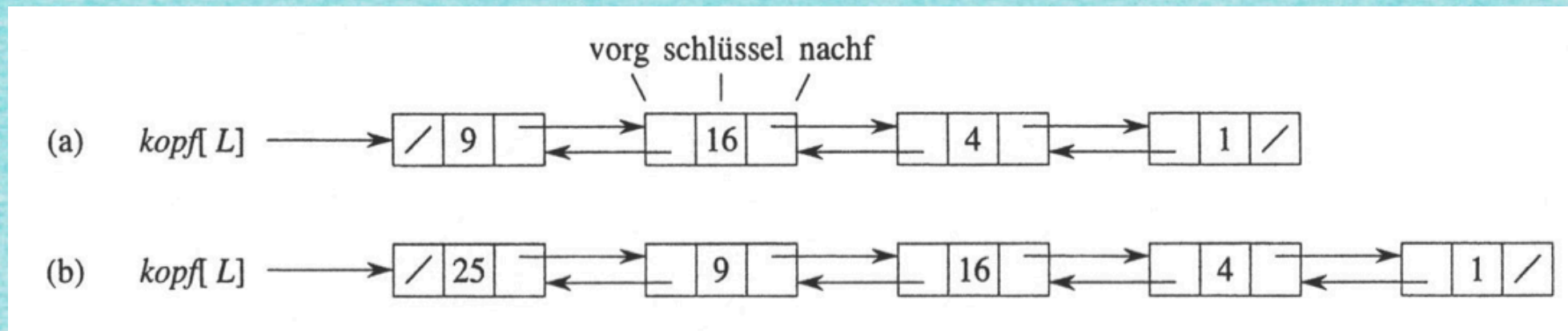
Struktur einer doppelt verketteten Liste



- **Füge vorne das Element mit Schlüssel 25 ein.**

- **Finde ein Element mit Schlüssel 1 und lösche es.**

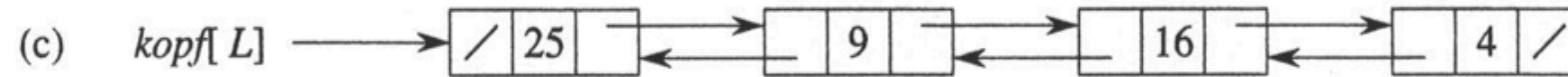
Einfügen in eine doppelt verkettete Liste



```
LIST-INSERT(L, x)  
1  nachf[x] ← kopf[L]  
2  if kopf[L] ≠ NIL  
3     then vorg[kopf[L]] ← x  
4  kopf[L] ← x  
5  vorg[x] ← NIL
```

Laufzeit: O(1)

Löschen aus einer doppelt verketteten Liste



Laufzeit: $O(n)$

LIST-SEARCH(L, k)

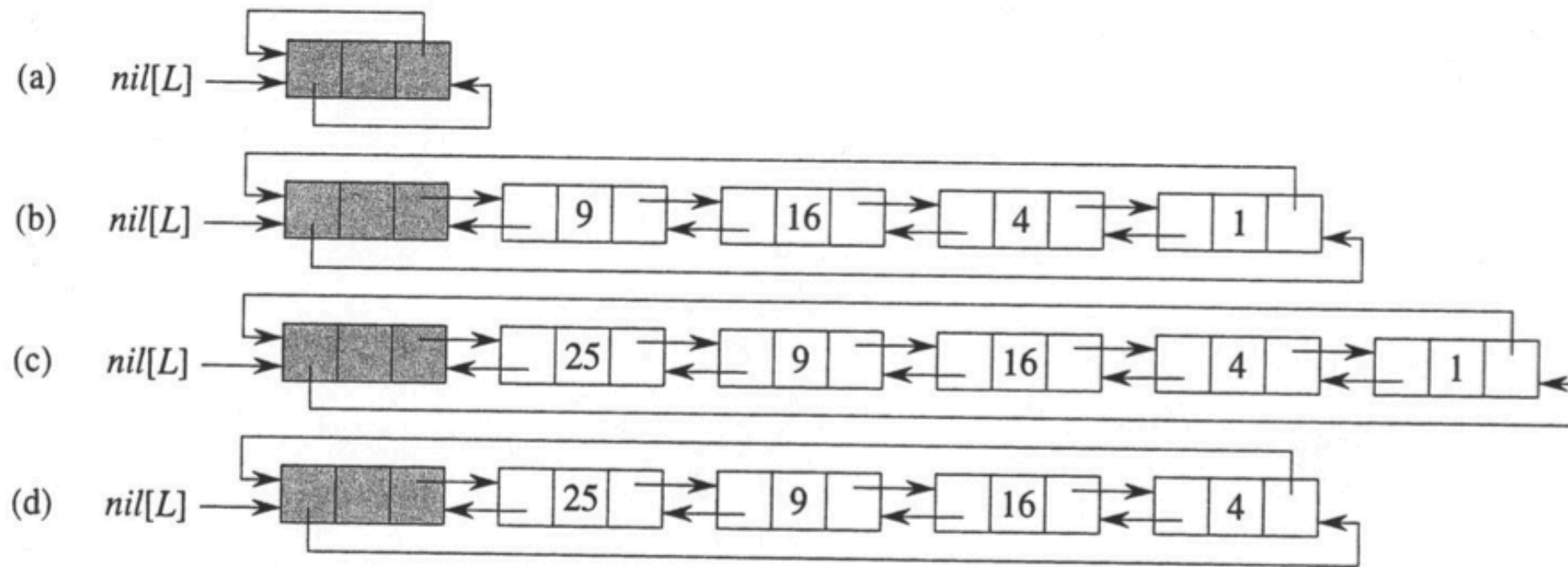
```
1  $x \leftarrow \text{kopf}[L]$ 
2 while  $x \neq \text{NIL}$  und  $\text{schlüssel}[x] \neq k$ 
3     do  $x \leftarrow \text{nachf}[x]$ 
4 return  $x$ 
```

LIST-DELETE(L, x)

```
1 if  $\text{vorg}[x] \neq \text{NIL}$ 
2     then  $\text{nachf}[\text{vorg}[x]] \leftarrow \text{nachf}[x]$ 
3     else  $\text{kopf}[L] \leftarrow \text{nachf}[x]$ 
4 if  $\text{nachf}[x] \neq \text{NIL}$ 
5     then  $\text{vorg}[\text{nachf}[x]] \leftarrow \text{vorg}[x]$ 
```

Laufzeit: $O(1)$

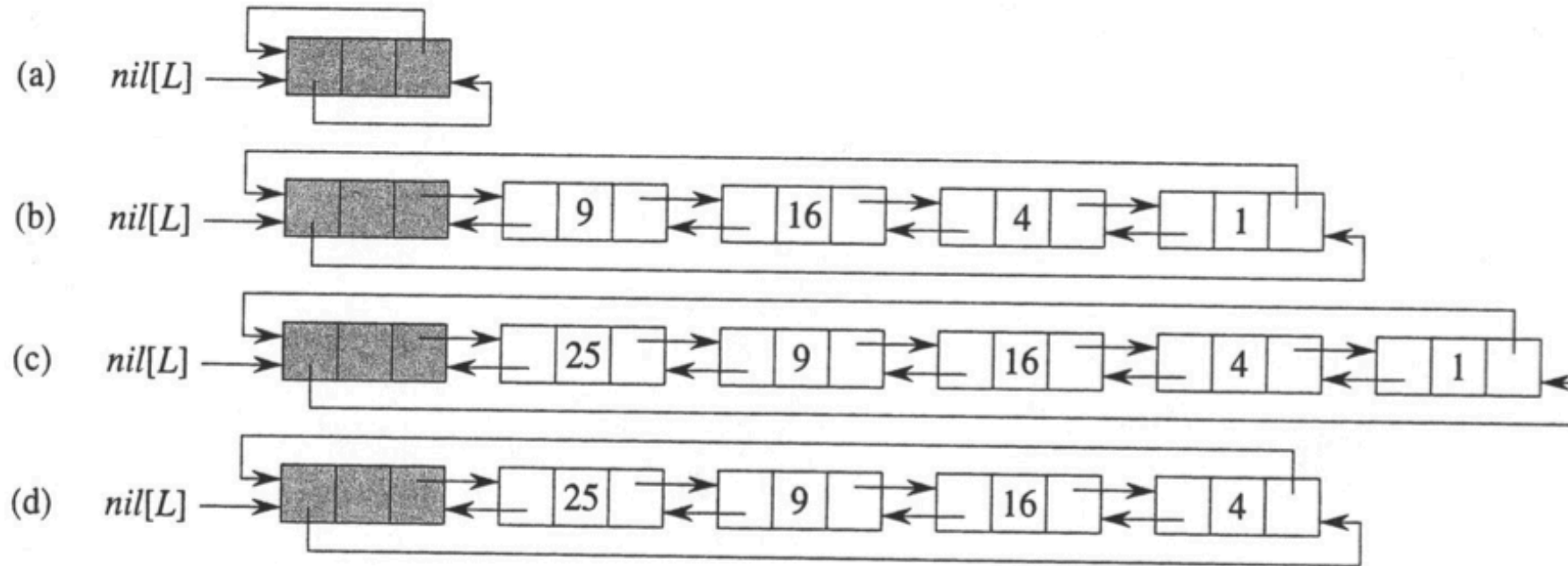
Alternative: Zyklische Struktur mit "Wächter" nil[L]



LIST-INSERT'(L, x)

- 1 $nachf[x] \leftarrow nachf[nil[L]]$
- 2 $vorg[nachf[nil[L]]] \leftarrow x$
- 3 $nachf[nil[L]] \leftarrow x$
- 4 $vorg[x] \leftarrow nil[L]$

Alternative: Zyklische Struktur mit Wächter "nil[L]"



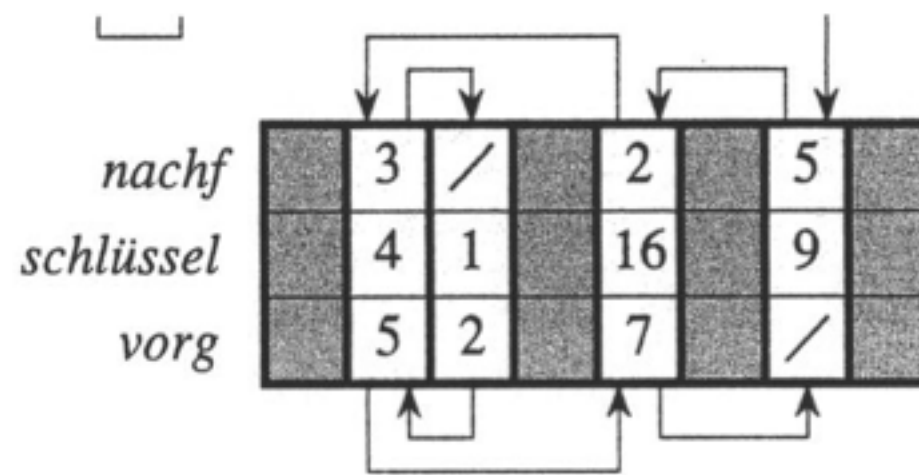
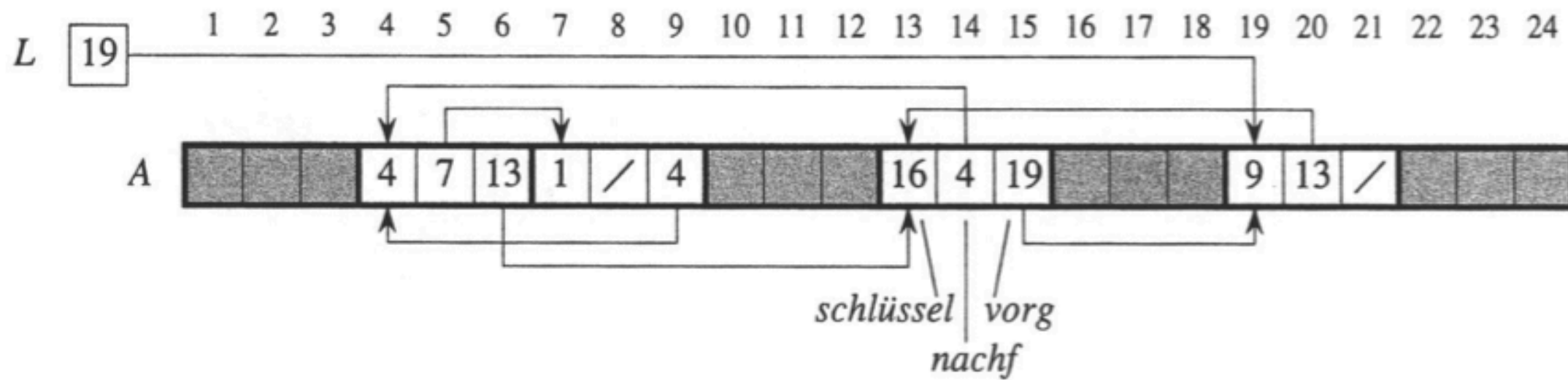
LIST-SEARCH'(L, k)

```
1  $x \leftarrow nachf[nil[L]]$   
2 while  $x \neq nil[L]$  und  $schlüssel[x] \neq k$   
3   do  $x \leftarrow nachf[x]$   
4 return  $x$ 
```

LIST-DELETE'(L, x)

```
1  $nachf[vorg[x]] \leftarrow nachf[x]$   
2  $vorg[nachf[x]] \leftarrow vorg[x]$ 
```


Speicherung kann irgendwo erfolgen!



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

<



>

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

< ? >

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



?

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



?



100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*

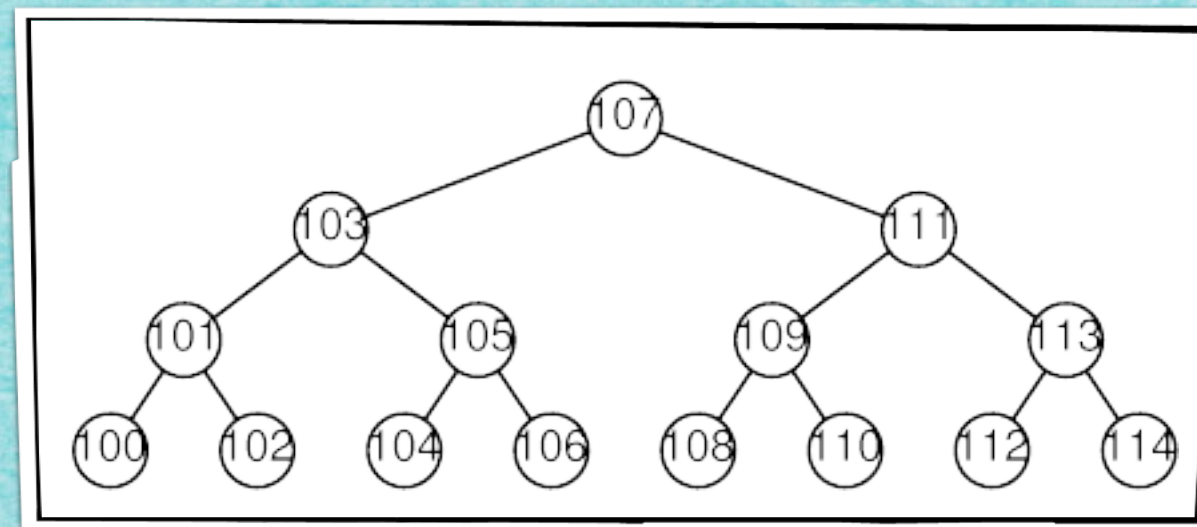
100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 **110** 111 112 113 114

!

4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

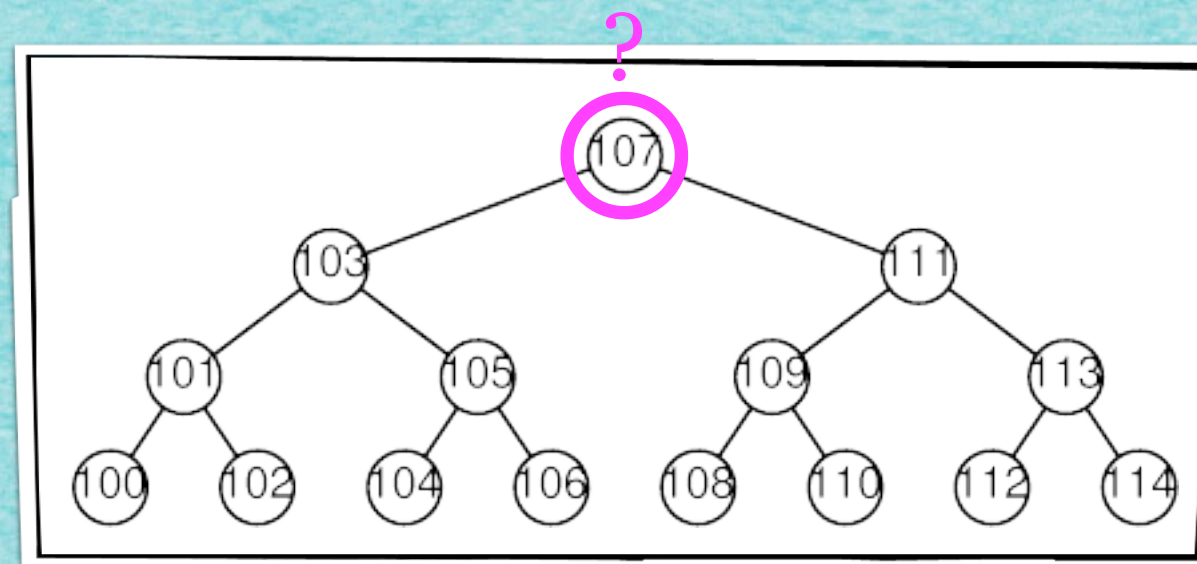
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

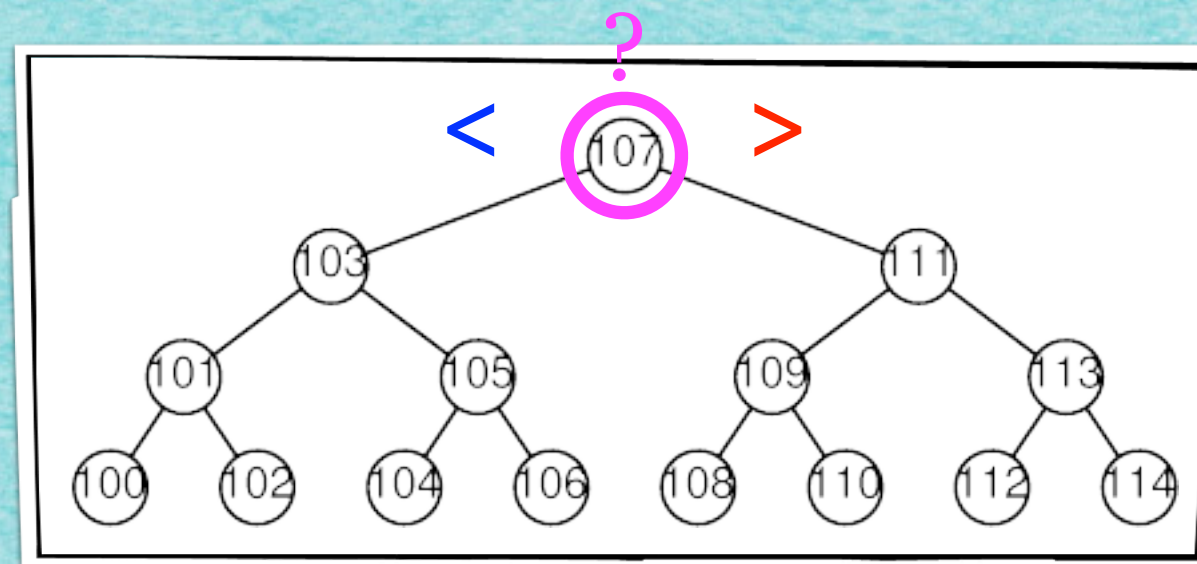
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

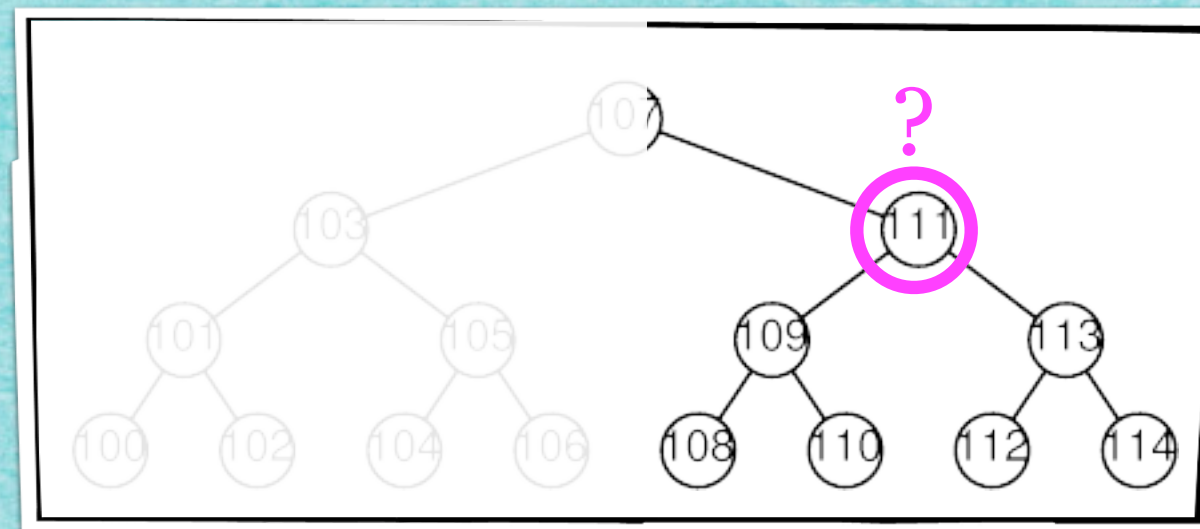
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

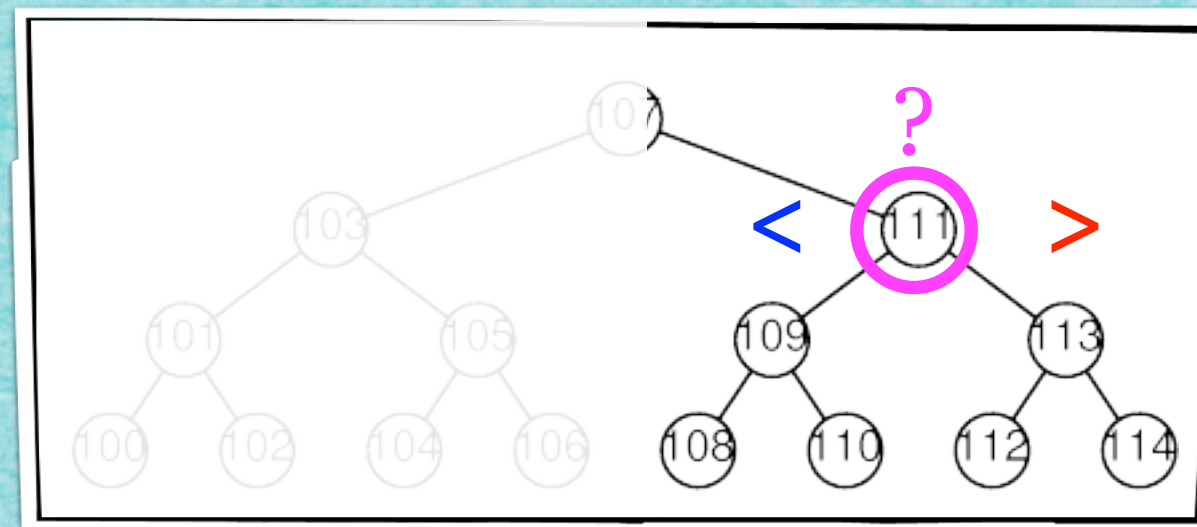
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

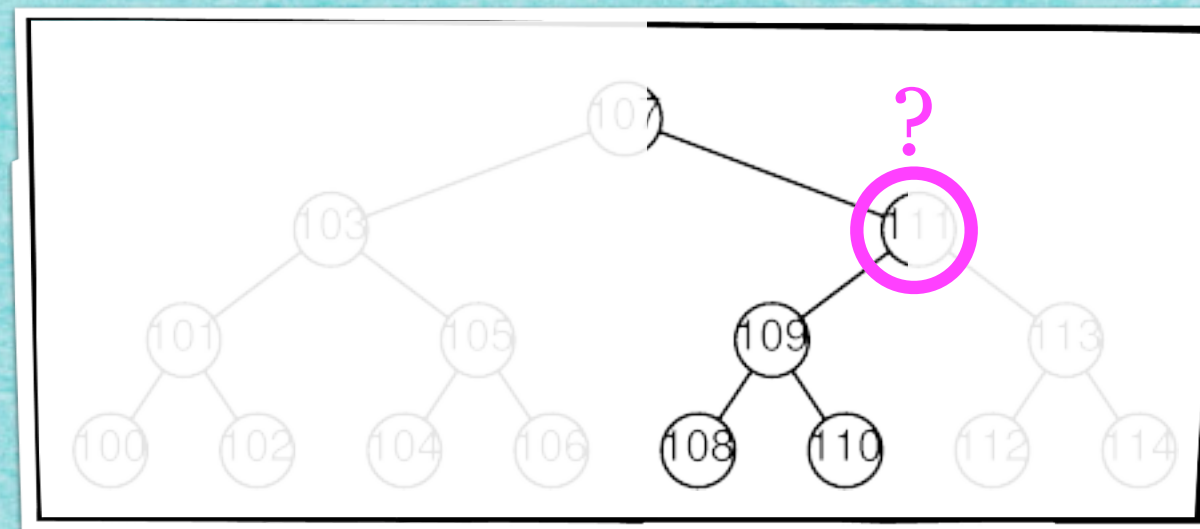
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

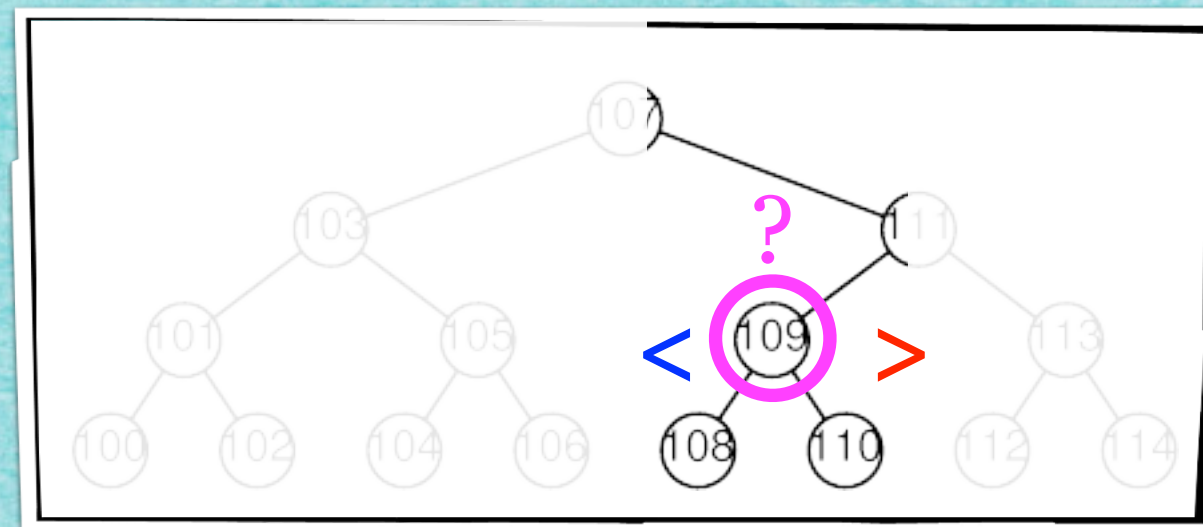
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

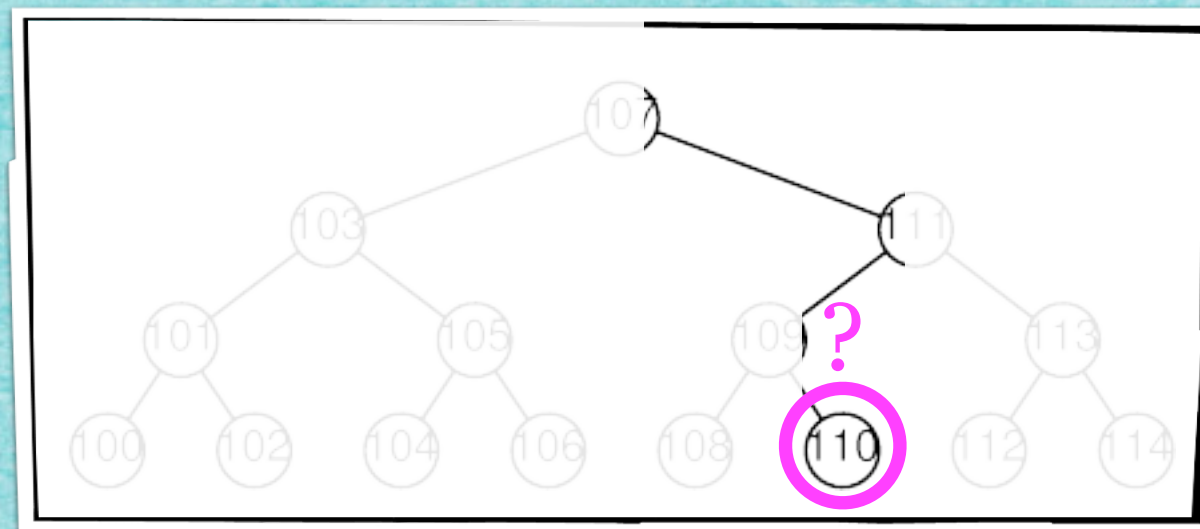
- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



4.4 Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Rate eine Zahl zwischen 100 und 114!*



Algorithmus 4.1

INPUT: Sortierter Array mit Einträgen $S[I]$, Suchwert WERT,
linke Randposition LINKS, rechte Randposition RECHTS,

OUTPUT: Position von WERT zwischen Arraypositionen LINKS und RECHTS, falls existent

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {
 - 1.1. MITTE := $\left\lfloor \frac{\text{LINKS} + \text{RECHTS}}{2} \right\rfloor$
 - 1.2. IF (S[MITTE]=WERT) THEN
 - 1.2.1. RETURN MITTE
 - 1.3. ELSEIF (S[MITTE]>WERT) THEN
 - 1.3.1. RECHTS:=MITTE-1
 - 1.4. ELSEIF
 - 1.4.1. LINKS:=MITTE+1}
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS																RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96			

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN
        1.2.1. RETURN MITTE
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1
    1.4. ELSEIF
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1
}
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS							MITTE								RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96		

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS							MITTE								RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96		

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	WERT=42													
							MITTE	LINKS						RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

		WERT=42													
								LINKS			MITTE				RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
}  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	WERT=42													
								LINKS			MITTE			RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

WERT=42

								LINKS		RECHTS	MITTE			
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

WERT=42

								LINKS	MITTE	RECHTS				
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

WERT=42

								LINKS	MITTE	RECHTS				
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

WERT=42

								LINKS	MITTE	RECHTS				
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

RETURN 9

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE :=  $\left\lfloor \frac{\text{LINKS} + \text{RECHTS}}{2} \right\rfloor$   
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

WERT=7

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS																RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96			

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS							MITTE							RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS																RECHTS
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96			

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS		WERT=7		RECHTS	MITTE								
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
}  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS		MITTE			RECHTS								
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	LINKS		MITTE			RECHTS								
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

			MITTE	LINKS		RECHTS								
			WERT=7											
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

			WERT=7	LINKS	MITTE	RECHTS									
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

			WERT=7	LINKS	MITTE	RECHTS									
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

				RECHTS	MITTE										
			WERT=7												
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊  $\frac{LINKS + RECHTS}{2}$  ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

				WERT=7											
				LINKS											
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

	WERT=7													
	LINKS													
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

				WERT=7											
				RECHTS											
				LINKS											
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

BINÄRESUCHE(S,WERT,LINKS,RECHTS)

```
1. WHILE (LINKS ≤ RECHTS) DO {  
    1.1. MITTE := ⌊ (LINKS + RECHTS) / 2 ⌋  
    1.2. IF (S[MITTE] = WERT) THEN  
        1.2.1. RETURN MITTE  
    1.3. ELSEIF (S[MITTE] > WERT) THEN  
        1.3.1. RECHTS := MITTE - 1  
    1.4. ELSEIF  
        1.4.1. LINKS := MITTE + 1  
    }  
2. RETURN "WERT nicht gefunden!"
```

Binäre Suche

Aufgabenstellung:

- *Finde eine gesuchte Zahl in der gegebenen sortierten Menge!*

				WERT=7											
				RECHTES											
				LINKS											
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S[i]	1	2	5	6	13	17	28	33	42	47	52	64	89	96	

WERT nicht gefunden!

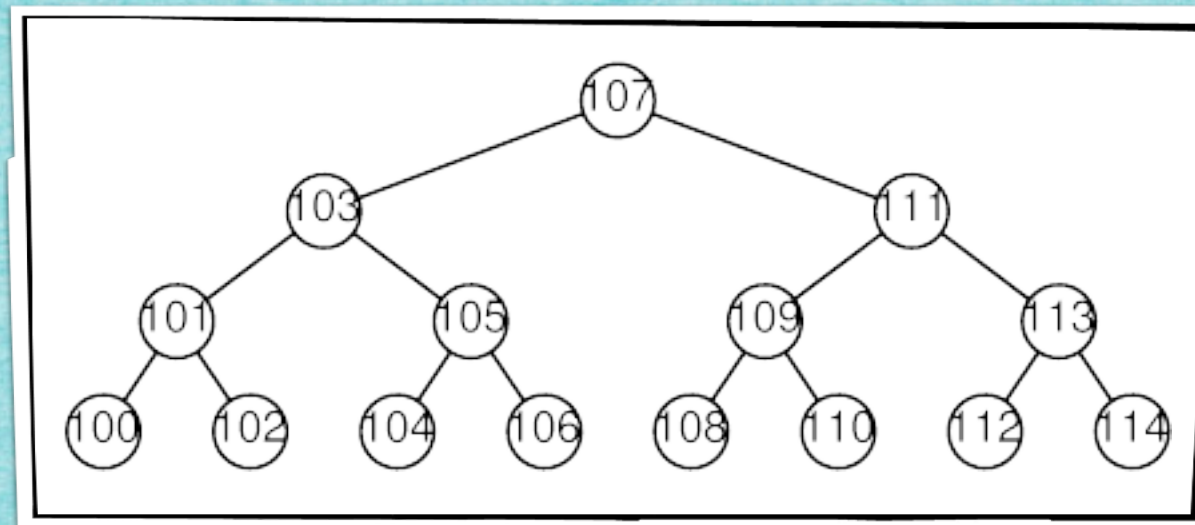
4.4 Binäre Suche

Satz 4.2

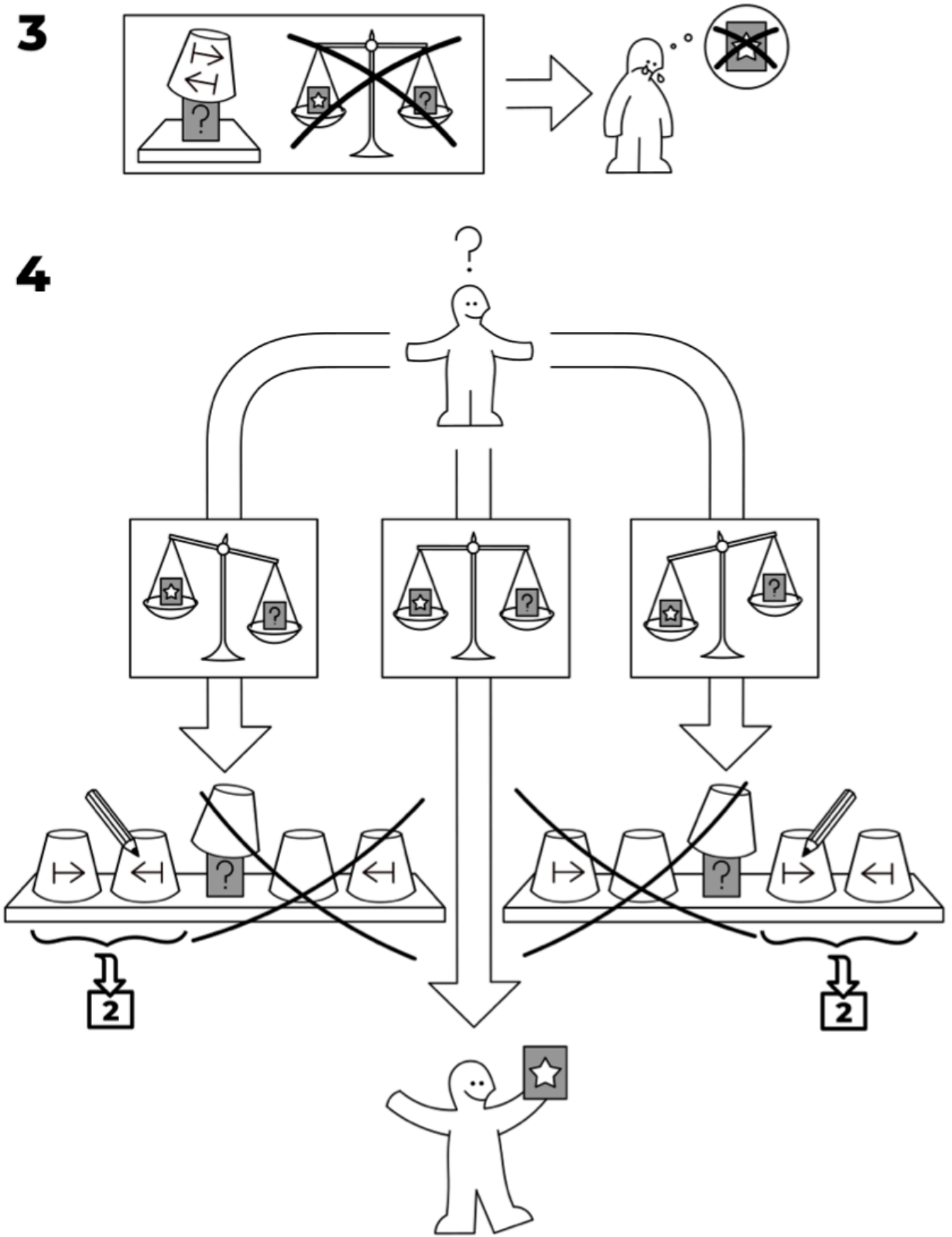
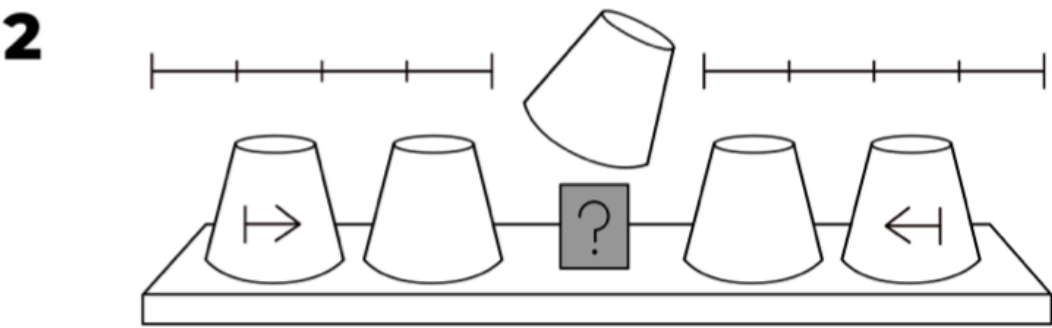
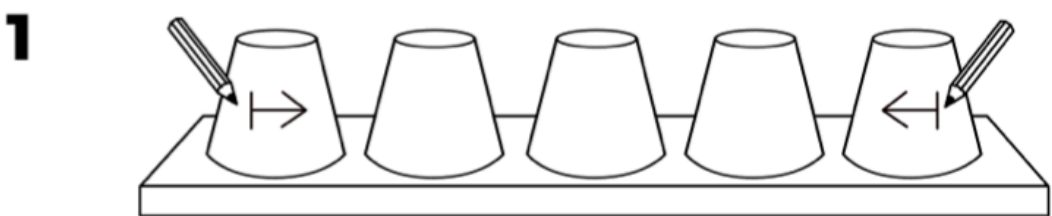
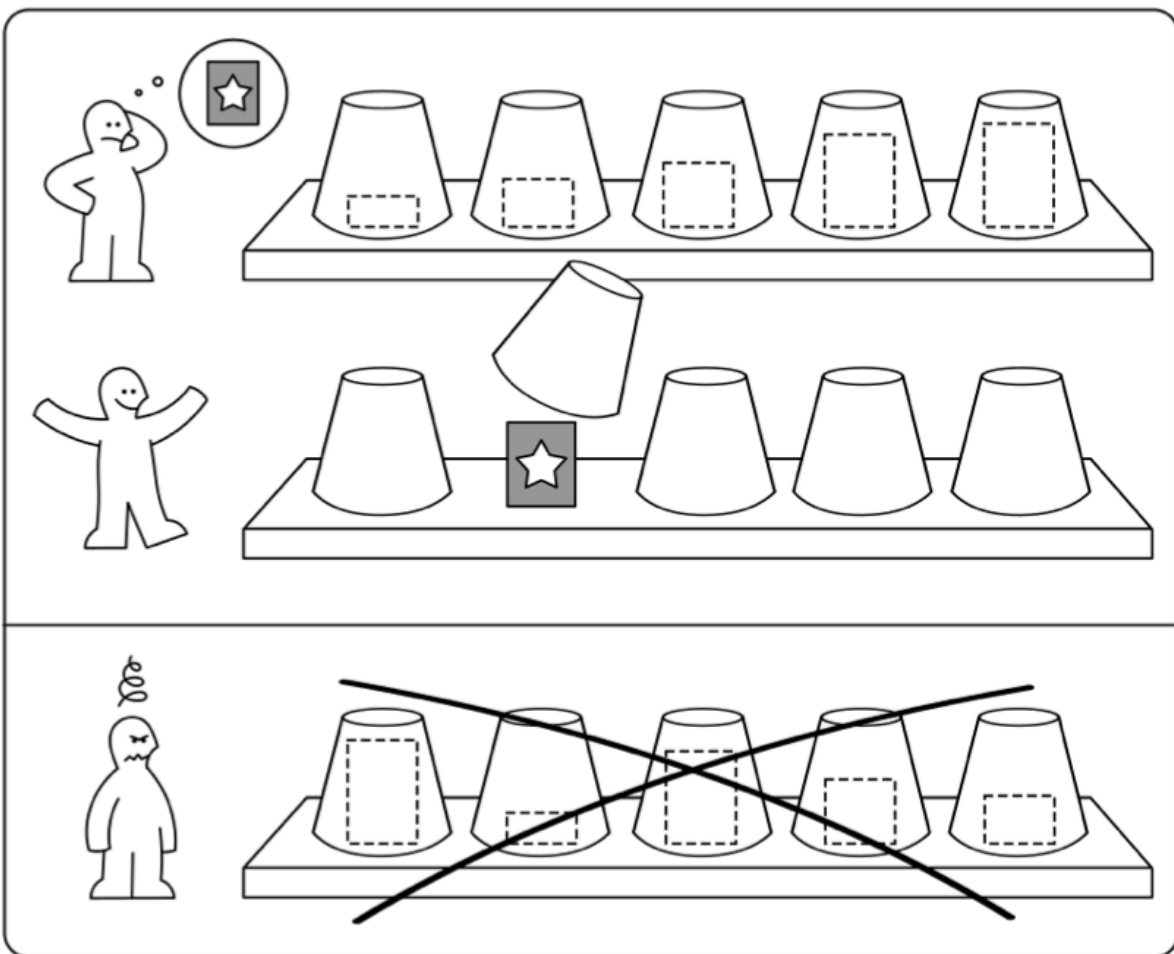
Die binäre Suche terminiert in $O(\log(\text{RECHTS-LINKS}))$ Schritten (für $\text{RECHTS} > \text{LINKS}$).

Beweis:

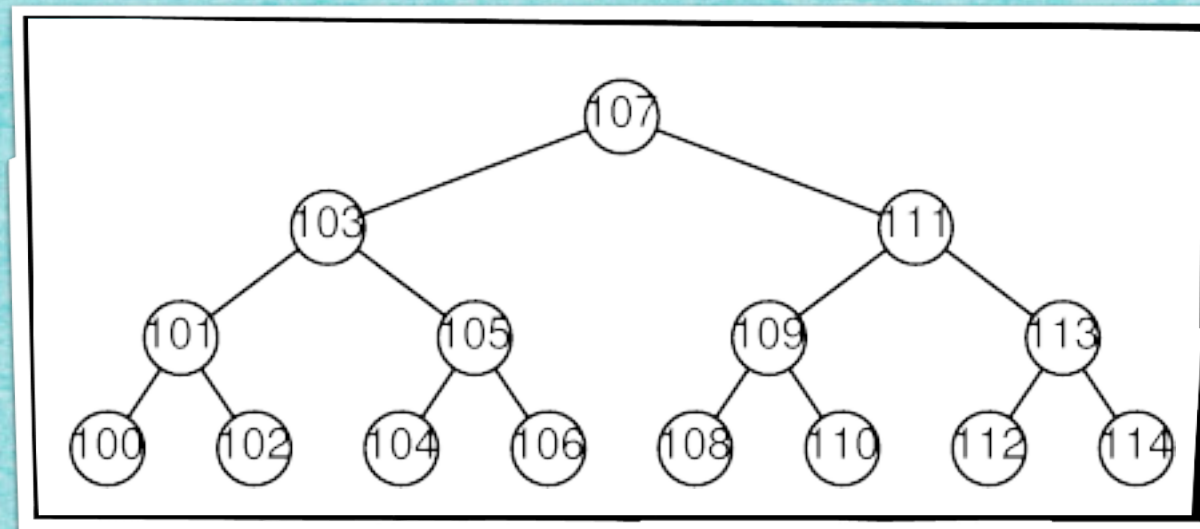
Selbst!



BINÄRY SEARCH



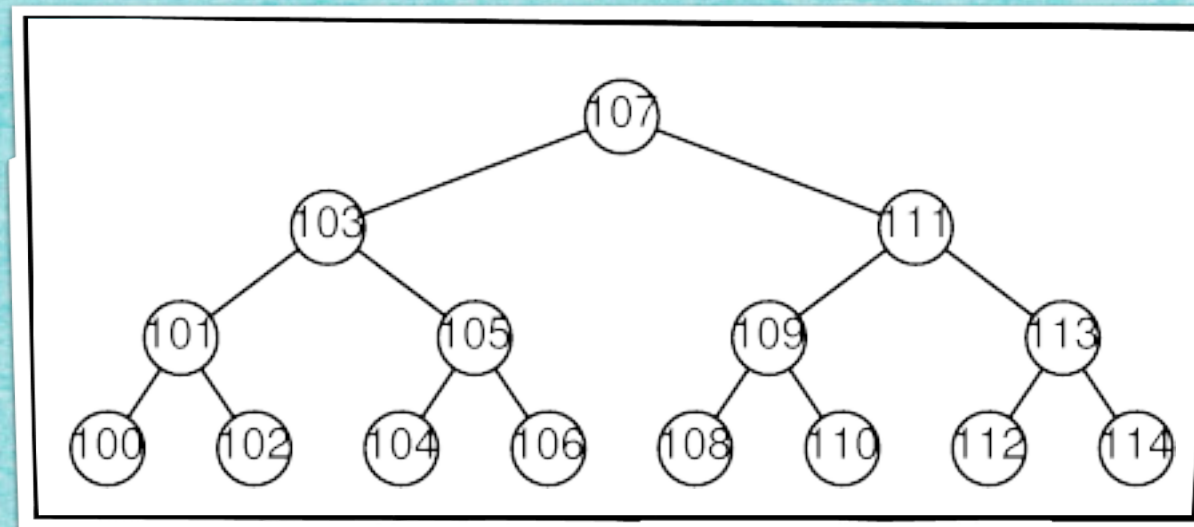
4.5 Binäre Suchbäume



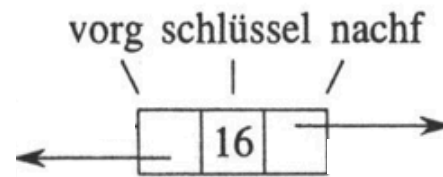
4.5 Binäre Suchbäume

Ideen:

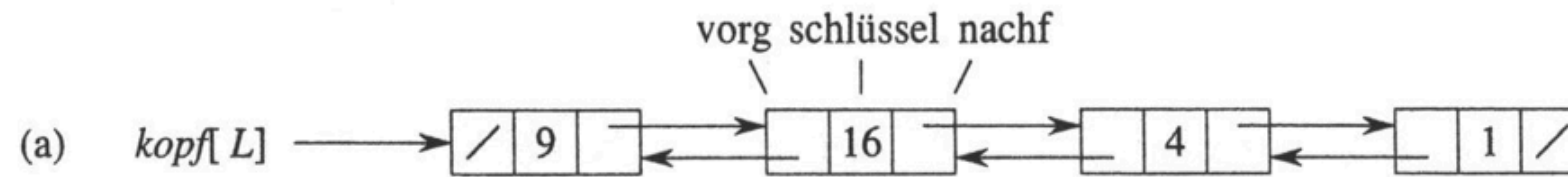
- **Strukturiere Daten wie im möglichen Ablauf einer binären Suche!**
- **Erziele logarithmische Zeiten!**



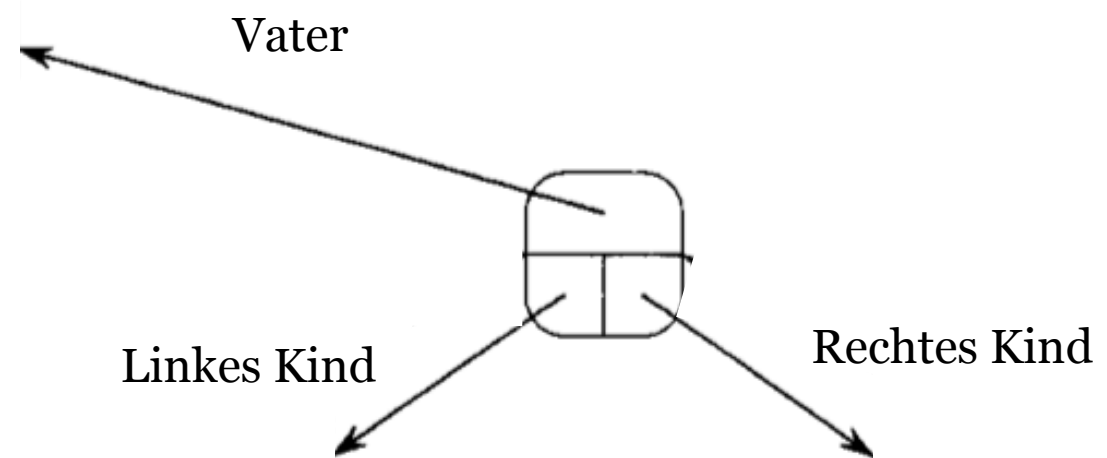
Struktur einer doppelt verketteten Liste



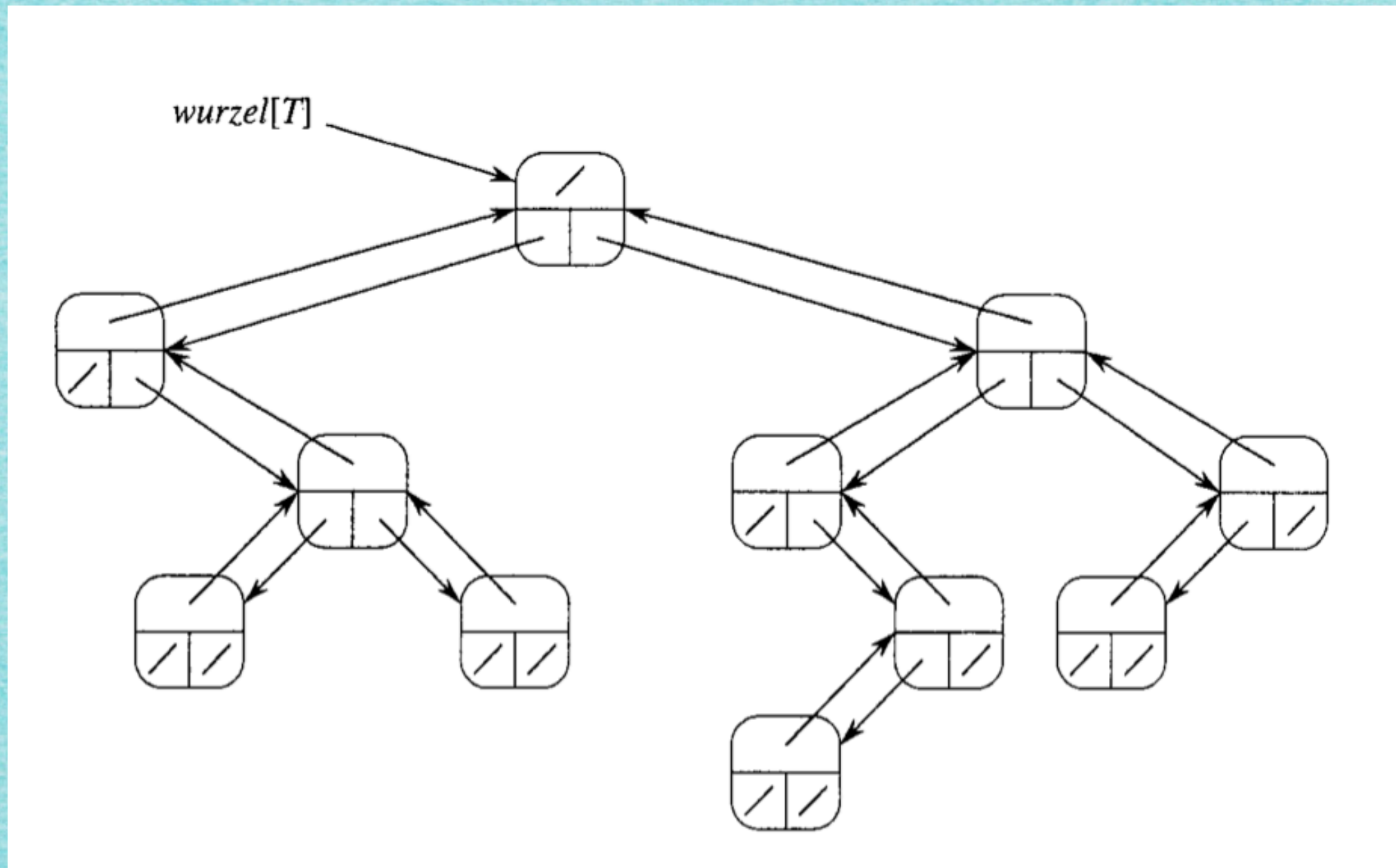
Struktur einer doppelt verketteten Liste



Binärer Suchbaum



Binärer Suchbaum



Außerdem wichtig: Struktur der Schlüsselwerte!

Mehr demnächst!

s.fekete@tu-bs.de