

**Gegeben:** Ein sortiertes Array **a** mit den **n** Komponenten **a[0], . . . , a[n-1]**

**Aufgabe:** Entscheide, ob ein für die Variable **value** eingegebener Wert als Wert einer Komponente des Arrays **a** vorkommt.

### **Beispiel**

**value** = 13

**n** = **len(a)** = 10

Wir übergeben **value** und die Liste **a[0], . . . , a[9]** der Booleschen Funktion **binarysearch**, welche **a[0], . . . , a[9]** als lokale Liste **array[0], . . . , array[9]** fortführt.

a[0]	a[1]	a[2]	a[3]	a[4]	a[5]	a[6]	a[7]	a[8]	a[9]
3	4	5	5	7	8	11	13	19	21

array[0]	array [1]	array [2]	array [3]	array [4]	array [5]	array [6]	array [7]	array [8]	array [9]
3	4	5	5	7	8	11	13	19	21

1. Schritt:

Wir bestimmen den mittleren Index des Arrays array:  $\text{len(array)}//2 = 5$

2. Schritt:

**midvalue** = **array**[**len(array)**//2] = **array**[10//2] = **array**[5] = 8

Wir vergleichen **value** mit **midvalue**:

Falls  $\text{value} == \text{midvalue}$ : **binarysearch** gibt den Wert **True** zurück; gefunden!

Falls  $\text{value} < \text{midvalue}$ : suche in der Liste  $a[0], \dots, a[4]$  links von  $a[5]$

Falls  $\text{value} > \text{midvalue}$ : suche in der Liste  $a[6], \dots, a[9]$  rechts von  $a[5]$

hier: wegen  $13 > 8$  suchen wir in der Liste  $a[6], \dots, a[9]$

Suche **value** in der Liste **a[6], . . . , a[9]**

$a[6]$	$a[7]$	$a[8]$	$a[9]$
11	13	19	21

Diese Liste **a[6], . . . , a[9]** und **value** übergeben wir der Booleschen Funktion **binarysearch**, welche **a[6], . . . , a[9]** als lokale Liste **array[0], . . . , array[3]** fortführt.

$\text{array}[0]$	$\text{array}[1]$	$\text{array}[2]$	$\text{array}[3]$
11	13	19	21

1. Schritt:

Wir bestimmen den mittleren Index des Arrays array:  $\text{len(array)}//2 = 4//2 = 2$

2. Schritt:

$\text{midvalue} = \text{array}[\text{len(array)}//2] = \text{array}[4//2] = \text{array}[2] = 19$

Wir vergleichen value mit midvalue:

Falls  $\text{value} == \text{midvalue}$ : **binarysearch** gibt den Wert **True** zurück; gefunden!

Falls  $\text{value} < \text{midvalue}$ : suche in der Liste  $\text{array}[0], \dots, \text{array}[1]$  links von  $\text{array}[2]$

Falls  $\text{value} > \text{midvalue}$ : suche in der Liste  $\text{array}[3]$  rechts von  $\text{array}[2]$

hier: wegen  $13 < 19$  suchen wir in der Liste  $\text{array}[0], \dots, \text{array}[1]$

Suche **value** in der Liste **array[0], . . . , array[1]**

array[0]	array[1]
11	13

Diese Liste **array[0], . . . , array[1]** und **value** übergeben wir der Booleschen Funktion **binarysearch**, welche **array[0], . . . , array[1]** als lokale Liste **array[0], . . . , array[1]** fortführt.

1. Schritt:

Wir bestimmen den mittleren Index des Arrays  $\text{array}$ :  $\text{len}(\text{array})//2 = 2//2 = 1$

2. Schritt:

$\text{midvalue} = \text{array}[\text{len}(\text{array})//2] = \text{array}[2//2] = \text{array}[1] = 13$

Wir vergleichen  $\text{value}$  mit  $\text{midvalue}$ :

Falls  $\text{value} == \text{midvalue}$ : **binarysearch** gibt den Wert **True** zurück; gefunden!

Falls  $\text{value} < \text{midvalue}$ : suche in der Liste  $\text{array}[0]$  links von  $\text{array}[1]$

Falls  $\text{value} > \text{midvalue}$ : suche in der leeren Liste  $[]$  rechts von  $\text{array}[1]$ , dann: **binarysearch** gibt den Wert **False** zurück; nicht gefunden!

hier: wegen  $13 = \text{value} = \text{midvalue} = 13$ : **binarysearch** gibt den Wert **True** zurück; gefunden!

Der Booleschen Funktion **binarysearch** werden das aus **n** Komponenten bestehende sortierte Feld **a** (in Python: Liste) und der zu suchende Wert **value** übergeben; **binarysearch** liefert den Wert **True**, falls eine Komponente von **a** mit **value** übereinstimmt, andernfalls den Wert **False**.

Die Variable **z** ermittelt die Anzahl der Aufrufe von **binarysearch**.

Quelltext in Python:

```
.....
z = 0
.....
def binarysearch(array,value):
    global z
    z += 1
    print(array)
    if array == [] or (len(array) == 1 and array[0] != value):
        return False
    else:
        midvalue = array[len(array)//2]
        if midvalue == value:
            return True
        elif value < midvalue:
            return binarysearch(array[:len(array)//2],value)
        else:
            return binarysearch(array[len(array)//2 + 1:],value)
```

Aufruf der Funktion **binarysearch**:

```
binarysearch(a,value)
```

**Komplexität** des Algorithmus **binarysearch**:

Die Komplexität und damit der Rechenaufwand **A(n)** wird wesentlich bestimmt durch die Anzahl **z** der Aufrufe der rekursiv definierten Funktion **binarysearch**; o. B. d. A. sei **n** eine Potenz von 2, d. h. **n = 2<sup>k</sup>** mit **k = 0, 1, 2, 3, . . .**.

Beachte: die maximale Anzahl von Aufrufen (worst case) kann insbesondere dann auftreten, falls die Suche ergebnislos ist.

```
k = 0 ⇔ n = 1 ;      die Liste a hat die Komponente a[0].
# Aufrufe binarysearch = 1

k = 3 ⇔ n = 8 ;      die Liste a hat die Komponenten a[0], a[1], . . . . , a[7].
gesuchte Zahl: 79
[14, 50, 52, 70, 74, 80, 89, 97]
[80, 89, 97]
[80]
79 wurde nicht gefunden
# Aufrufe binarysearch = 3

k = 4 ⇔ n = 16 ;     die Liste a hat die Komponenten a[0], a[1], . . . . , a[15].
gesuchte Zahl: 80
[13, 33, 42, 42, 44, 44, 45, 45, 47, 52, 57, 59, 62, 72, 92, 94]
[52, 57, 59, 62, 72, 92, 94]
[72]
80 wurde nicht gefunden
# Aufrufe binarysearch = 4

gesuchte Zahl: 21
[20, 24, 31, 37, 38, 40, 44, 46, 48, 50, 52, 55, 89, 92, 94, 95]
[20, 24, 31, 37, 38, 40, 44, 46]
[20, 24, 31, 37]
[20]
21 wurde nicht gefunden
# Aufrufe binarysearch = 5
```

Eine Verdopplung von **n** impliziert höchstens einen weiteren Aufruf von **binarysearch** !

Offensichtlich gilt:

**$z \leq k + 1$**

Wegen  **$n = 2^k \Leftrightarrow k = \log_2(n)$**  folgt:

**$z \leq 1 + \log_2(n)$**

Somit hat der Algorithmus **binarysearch** logarithmische Komplexität:

$$A(n) \sim \log_2(n)$$

### Modifikation des Algorithmus **binarysearch**:

Wie modifizieren die rekursive Funktion **binarysearch** wie folgt: **binarysearch** liefert den booleschen Wert **False**, falls **value** in der Liste **a** nicht gefunden wird, andernfalls den Index **index** derjenigen Komponente der Liste **a**, deren Inhalt mit demjenigen von **value** übereinstimmt.

Die Gesamtliste **a**, der zu suchende Wert **value** sowie die Indices **begin** und **end** sind an die Funktion **binarysearch** zu übergeben, so daß **binarysearch** die Teilliste **a[begin] , . . . , a[end]** durchsucht.

Beachte: **index** wird innerhalb des Funktionsrumpfs als globale Variable definiert.

```

z = 0
. . .
def binarysearch(array, value, begin, end):
    global index
    global z
    z += 1
    print(array[begin:end+1])
    if begin > end: return False
    middle = (begin + end) // 2
    print('mittleres Element: a[',middle,',] = ',array[middle])
    if array[middle] == value:
        index = middle
    elif array[middle] < value:
        return binarysearch(array, value, middle + 1, end)
    else:
        return binarysearch(array, value, begin, middle - 1)

```

Aufruf der Funktion **binarysearch** zur Suche von **value** in der sortierten Liste **a[0], . . . , a[n-1]**:

```

binarysearch(a, value, 0, len(a)-1)

gesuchte Zahl: 521
[120, 162, 163, 181, 205, 392, 444, 521, 528, 557, 643, 663, 689, 810, 847, 899, 913, 992]
mittleres Element: a[ 8 ] = 528
[120, 162, 163, 181, 205, 392, 444, 521]
mittleres Element: a[ 3 ] = 181
[205, 392, 444, 521]
mittleres Element: a[ 5 ] = 392
[444, 521]
mittleres Element: a[ 6 ] = 444
[521]
mittleres Element: a[ 7 ] = 521
521 wurde gefunden an der Stelle 7
a[ 7 ] = 521
# Aufrufe binarysearch = 5

gesuchte Zahl: 241
[173, 183, 187, 243, 265, 307, 345, 376, 589, 622, 868, 976]
mittleres Element: a[ 5 ] = 307
[173, 183, 187, 243, 265]
mittleres Element: a[ 2 ] = 187
[243, 265]
mittleres Element: a[ 3 ] = 243
[]
241 wurde nicht gefunden
# Aufrufe binarysearch = 4

```