

## Wie funktioniert das Sortieren einer Reihe von Zufallszahlen mit Quicksort?

Sehen wir uns zunächst einmal die grundsätzliche Vorgehensweise des Programmes an, ohne auf Einzelheiten oder Fachtermini einzugehen.

Begonnen wird mit einer Liste von Zufallszahlen, z. B. dieser:

Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inhalt	24	98	72	75	65	7	63	88	27	43

Es wird dringend empfohlen, die in Textboxen stehenden Einschübe zu ignorieren, sie werden erst im Zusammenhang mit dem eigentlichen Programm nützlich! Aufruf der Prozedur 'Sortiere', die Erste.

Zuerst werden die Positionen des Anfangselements (Position 0, Links) und des Endelements (Position 9, Rechts) der Liste markiert (die Positionen, nicht aber die dort stehenden Elemente (Inhalte) bleiben während einer Teilsortierung konstant). Außerdem wird die Mitte der Liste bestimmt (Pivotelement). Gleichzeitig werden die Elemente bestimmt, die mit dem Pivotelement verglichen werden sollen. Am Anfang also das Anfangselement: `liste[Anfangsindex]` und das Endelement: `liste[Endindex]` (im weiteren werden zur Vereinfachung Listenpositionen als Listenelemente genommen).

Mit diesen Vorgaben fangen wir das Sortieren an.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 24

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: 24 | 98 | 72 | 75 | **65** | 7 | 63 | 88 | 27 | **43**

Die Liste, wie sie der Computer „sieht“.

Das Pivotelement ist **sehr groß** hervorgehoben.

Das Anfangselement (Links) ist **fett und groß** markiert.

Das Endelement (Rechts) ist **fett und groß** markiert.

Die Vergleichselemente (Anfangsindex und Endindex) sind **kursiv und groß**, wobei das erste Vergleichselement (Anfangsindex) **doppelt unterstrichen** das zweite (Endindex) **einfach unterstrichen** ist.

Bei entsprechender Überschneidung der Elemente treffen auch die verschiedenen Markierungen aufeinander. (Hier sind z.B. Anfangselement und Vergleichselement identisch, also **fett, kursiv, groß und doppelt unterstrichen** markiert.)

Jetzt wird verglichen: Ist das erste Vergleichselement (24) kleiner als das Pivotelement?

Ja!

Prächtig. Diese Beiden haben also die richtige Reihenfolge. Wir nehmen das nächste Element in der Liste zum Vergleichen.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 98

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: **24** | 98 | 72 | 75 | **65** | 7 | 63 | 88 | 27 | **43**

## Seite 2

Ist das erste Vergleichselement (98) kleiner als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns das erste Vergleichselement und schauen mal nach, was mit dem zweiten Vergleichselement los ist.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 98

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: 

24	<u>98</u>	72	75	65	7	63	88	27	<u>43</u>
----	-----------	----	----	----	---	----	----	----	-----------

Ist das zweite Vergleichselement (43) größer als das Pivotelement?

Nein!

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja! Das erste Vergleichselement steht in der Liste an Position 1, während das zweite Vergleichselement die Position 9 hat.

Also können diese Beiden schon mal die Plätze tauschen.

Da die beiden Elemente nun, im Vergleich zum Pivotelement, die richtigen Positionen haben, können wir uns um die beiden Elemente kümmern, die dem Pivotelement um eine Position näher sind als die gerade vertauschten Elemente.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 72

Endindex: 27

Aktuelle Zahlenliste: 

24	43	<u>72</u>	75	65	7	63	88	<u>27</u>	98
----	----	-----------	----	----	---	----	----	-----------	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Nein! Das erste Vergleichselement steht in der Liste an Position 3, während das zweite Vergleichselement die Position 8 hat.

Wir fangen also von vorn an.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 72

Endindex: 27

Aktuelle Zahlenliste: 

24	43	<u>72</u>	75	65	7	63	88	<u>27</u>	98
----	----	-----------	----	----	---	----	----	-----------	----

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns das erste Vergleichselement und schauen nach, was mit dem zweiten Vergleichselement los ist.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 72

Endindex: 27

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	<u>72</u>	75	<b>65</b>	7	63	88	<u>27</u>	<b>98</b>
-----------	----	-----------	----	-----------	---	----	----	-----------	-----------

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns auch das zweite Vergleichselement.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 72

Endindex: 27

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	<u>72</u>	75	<b>65</b>	7	63	88	<u>27</u>	<b>98</b>
-----------	----	-----------	----	-----------	---	----	----	-----------	-----------

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja!

Die Beiden könne also auch die Plätze tauschen, während wir uns wieder die beiden, dem Pivotelement um eine Position näheren Elemente zum Vergleich heraussuchen.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 75

Endindex: 88

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	27	<u>75</u>	<b>65</b>	7	63	<u>88</u>	72	<b>98</b>
-----------	----	----	-----------	-----------	---	----	-----------	----	-----------

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Nein!

Also geht der Zirkus wieder von vorne los.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 75

Endindex: 88

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	27	<u>75</u>	<b>65</b>	7	63	<u>88</u>	72	<b>98</b>
-----------	----	----	-----------	-----------	---	----	-----------	----	-----------

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein!

## Seite 4

Wir merken uns das erste Vergleichselement, und vergleichen das Zweite.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 75

Endindex: 88

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	27	<u>75</u>	<b>65</b>	7	63	<u>88</u>	72	<b>98</b>
-----------	----	----	-----------	-----------	---	----	-----------	----	-----------

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Ja!

Diese Beiden haben die richtige Reihenfolge. Schauen wir also nach dem, dem Pivotelement um eine Position näheren Element.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 75

Endindex: 63

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	27	<u>75</u>	<b>65</b>	7	<u>63</u>	88	72	<b>98</b>
-----------	----	----	-----------	-----------	---	-----------	----	----	-----------

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns also auch dieses Element.

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja! Also können diese Beiden die Plätze tauschen und wir schauen uns wieder die beiden Elemente an, die dem Pivotelement um eine Position näher sind als die beiden letzten Vergleichselemente.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	27	63	<u>65</u>	<u>7</u>	75	88	72	<b>98</b>
-----------	----	----	----	-----------	----------	----	----	----	-----------

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Nein!

Also schon wieder alles von vorn.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	43	27	63	<u>65</u>	<u>7</u>	75	88	72	<b>98</b>
-----------	----	----	----	-----------	----------	----	----	----	-----------

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein! Es ist genauso groß.

Wir merken uns wieder das erste Vergleichselement, und vergleichen das zweite.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: **24** | 43 | 27 | 63 | 65 | 7 | 75 | 88 | 72 | **98** |

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns auch das zweite Vergleichselement.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: **24** | 43 | 27 | 63 | 65 | 7 | 75 | 88 | 72 | **98** |

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja!

Also können diese beiden Elemente die Plätze tauschen.

Wir betrachten wieder die beiden Elemente, die dem Pivotelement um eine Position näher sind als die letzten beiden Vergleichselemente.

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: **24** | 43 | 27 | 63 | 7 | 65 | 75 | 88 | 72 | **98** |

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten Elements?

Ja! Das erste Vergleichselement (65) steht in der Liste an Position 5, während das zweite Vergleichselement die Position 4 hat.

Wir sind beim Annähern der Vergleichselementpositionen an das Pivotelement über das Ziel hinausgeschossen und müssen uns jetzt was Neues einfallen lassen.

Wir schauen mal, ob die Positionsnummer des Anfangselements (Links) kleiner ist, als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements (Endindex).

Das Anfangselement steht an Position 0, das zweite Vergleichselement an Position 4.

Wir können also den Abschnitt Anfangselement bis zweites Vergleichselement als Teilliste auswählen, mit der wir genauso verfahren, wie zu Beginn mit der gesamten Liste.

## Seite 6

Das ganze sieht so aus:

Aufruf von 'Sortiere', die Zweite.

Pivotelement: 27  
Links: 24  
Rechts: 7  
Anfangsindex: 24  
Endindex: 7

Wir markieren wieder das Anfangselement der Teilliste (Links) und das Endelement (Rechts). Wir suchen uns in der Mitte der Teilliste ein neues Pivotelement und markieren wieder die ersten beiden Vergleichselemente (die nicht in der Teilliste enthaltenen Elemente der Gesamtliste sind grau unterlegt).

Aktuelle Zahlenliste: 

<u>24</u>	43	<u>27</u>	63	<u>7</u>	65	75	88	72	98
-----------	----	-----------	----	----------	----	----	----	----	----

Und als hätten wir's geahnt, geht jetzt alles von vorne los.

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Ja! Also schauen wir nach dem nächsten ersten Vergleichselement.

Pivotelement: 27  
Links: 24  
Rechts: 7  
Anfangsindex: 43  
Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	<u>43</u>	<u>27</u>	63	<u>7</u>	65	75	88	72	98
-----------	-----------	-----------	----	----------	----	----	----	----	----

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein!

Wieder mal merken wir uns das erste Vergleichselement, und vergleichen das zweite Vergleichselement.

Pivotelement: 27  
Links: 24  
Rechts: 7  
Anfangsindex: 43  
Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<b>24</b>	<u>43</u>	<u>27</u>	63	<u>7</u>	65	75	88	72	98
-----------	-----------	-----------	----	----------	----	----	----	----	----

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns auch das zweite Vergleichselement.

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja! Also können diese beiden Elemente die Plätze tauschen, während wir uns die nächsten, dem Pivotelement näheren Elemente zum Vergleich ansehen.

Pivotelement: 27

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 27

Endindex: 63

Aktuelle Zahlenliste: 

24	7	<u>27</u>	<u>63</u>	43	65	75	88	72	98
----	---	-----------	-----------	----	----	----	----	----	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Nein!

Also wieder mal alles von vorn.

Pivotelement: 27

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 27

Endindex: 63

Aktuelle Zahlenliste: 

24	7	<u>27</u>	<u>63</u>	43	65	75	88	72	98
----	---	-----------	-----------	----	----	----	----	----	----

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein! Es ist genauso groß.

Wir merken uns wieder das erste Vergleichselement und vergleichen das zweite.

Pivotelement: 27

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 27

Endindex: 63

Aktuelle Zahlenliste: 

24	7	<u>27</u>	<u>63</u>	43	65	75	88	72	98
----	---	-----------	-----------	----	----	----	----	----	----

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Ja!

Wir vergleichen also das, dem Pivotelement um eine Position nähere, zweite Vergleichselement.

Pivotelement: 27

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 27

Endindex: 27

Aktuelle Zahlenliste: 

24	7	<u>27</u>	63	43	65	75	88	72	98
----	---	-----------	----	----	----	----	----	----	----

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein! Es ist genauso groß.

Wir merken uns das zweite Vergleichselement und fragen:

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

## Seite 8

Ja! Also können die Beiden die Plätze tauschen. Da das erste und das zweite Vergleichselement identisch sind, ändert sich in unserer Liste nichts.

Wir sehen uns aber unverdrossen die beiden Elemente an, die dem Pivotelement eine Position näher sind, als die beiden letzten Vergleichselemente.

Pivotelement: 27

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 63

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

24	7	27	<u>63</u>	43	65	75	88	72	98
----	---	----	-----------	----	----	----	----	----	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja! Wir sind schon wieder übers Ziel hinausgeschossen und müssen uns wieder eine neue Teilliste erstellen, ehe wir mit dem Vergleichen von vorn anfangen.

Ist die Positionsnummer des Anfangselements (Links) kleiner als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja!

Also können wir aus dem Listenabschnitt zwischen Anfangselement und zweitem Vergleichselement eine neue Teilliste erstellen.

Wieder markieren wir Anfangs-, End- und Pivotelement sowie die beiden Vergleichselemente.

Wie man sieht, wird's langsam eng.

Nichtsdestotrotz fangen wir mit unserer neuen Teilliste von vorne an zu sortieren.

Aufruf von 'Sortiere', die Dritte.

Pivotelement: 24

Links: 24

Rechts: 7

Anfangsindex: 24

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<u>24</u>	7	27	63	43	65	75	88	72	98
-----------	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns das erste Vergleichselement und widmen uns dem zweiten.

Pivotelement: 24

Links: 24

Rechts: 7

Anfangsindex: 24

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<u>24</u>	7	27	63	43	65	75	88	72	98
-----------	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein!

Wir merken uns auch das zweite Vergleichselement.

Pivotelement: 24

Links: 24

Rechts: 7

Anfangsindex: 24

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<u>24</u>	<u>7</u>	27	63	43	65	75	88	72	98
-----------	----------	----	----	----	----	----	----	----	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja! Plätze tauschen!

Wir schauen schon mal, wie die beiden, dem Pivotelement um jeweils eine Position näheren Elemente im Vergleich zum Pivotelement so dastehen.

Pivotelement: 24

Links: 7

Rechts: 24

Anfangsindex: 24

Endindex: 7

Aktuelle Zahlenliste: 

<u>7</u>	<u>24</u>	27	63	43	65	75	88	72	98
----------	-----------	----	----	----	----	----	----	----	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten?

Ja!

Also ist es wieder einmal Zeit für eine neue Teilliste.

Ist die Positionsnummer des Anfangselements (Links) kleiner als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Nein! So geht's nicht.

Ist denn die Positionsnummer des ersten Vergleichselements kleiner als die Positionsnummer des Endelements (Rechts)?

Nein! So geht's auch nicht!

'Sortiere', die Dritte ist hier zu Ende.  
Es geht in 'Sortiere', die Zweite weiter.

Wir müssen zurück an die Stelle, an der wir die letzte Teilliste erstellt haben.

Bevor wir die Teilliste erstellt hatten, hatten die entsprechenden Elemente folgende Werte:

Pivotelement: 27

Links: 24

Rechts: 43

Anfangsindex: 63

Endindex: 7

## Seite 10

Unsere Liste sieht nun aber so aus:

7	24	27	63	43	65	75	88	72	98
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Jetzt wird die aktuelle Liste mit den „alten“ Markierungen versehen. Das Ganze sieht dann so aus:

<u>7</u>	<b>24</b>	<b>27</b>	<u>63</u>	<b>43</b>	65	75	88	72	98
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----	----	----	----	----

Vorhin hatten wir gefragt, ob denn die Positionsnummer des Anfangselements (Links) kleiner als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements ist. Dem war so, weshalb wir eine Teilliste aus den Elementen zwischen dem damaligen Anfangselement und dem damaligen zweiten Vergleichselement erstellt hatten.

Jetzt fragen wir:

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements (Anfangsindex) kleiner als die des Endelements (Rechts)?

Ja! Denn das erste Vergleichselement (63) steht an Position 3, das Endelement (43) an Position 4.

Unsere neue Teilliste beginnt also mit dem vierten Element der aktuellen Liste und endet mit dem fünften Element der aktuellen Liste.

Wieder markieren wir die für unser Sortieren wichtigen Elemente und erhalten folgende Liste, mit der mal wieder alles von vorn beginnt.

Pivotelement: 63

Links: 63

Rechts: 43

Anfangsindex: 63

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	<u>63</u>	<u>43</u>	65	75	88	72	98
---	----	----	-----------	-----------	----	----	----	----	----

Ist das erste Vergleichselement kleiner als das Pivotelement?

Nein! Wir merken uns das erste Vergleichselement und sehen nach dem zweiten.

Pivotelement: 63

Links: 63

Rechts: 43

Anfangsindex: 63

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	<u>63</u>	<u>43</u>	65	75	88	72	98
---	----	----	-----------	-----------	----	----	----	----	----

Ist das zweite Vergleichselement größer als das Pivotelement?

Nein! Zweites Vergleichselement merken.

Pivotelement: 63

Links: 63

Rechts: 43

Anfangsindex: 63

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	<u>63</u>	<u>43</u>	65	75	88	72	98
---	----	----	-----------	-----------	----	----	----	----	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements nicht größer als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Ja! Plätze tauschen!

Wir sehen wieder nach den Elementen, die dem Pivotelement um eine Position näher sind als die letzten Vergleichselemente.

Pivotelement: 63

Links: 43

Rechts: 63

Anfangsindex: 63

Endindex: 43

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	<u>43</u>	<u>63</u>	65	75	88	72	98
---	----	----	-----------	-----------	----	----	----	----	----

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements größer als die Positionsnummer des zweiten?

Ja! Schon wieder übers Ziel hinaus.

Zeit für eine neue Teilliste.

Ist die Positionsnummer des Anfangselements (Links) kleiner als die Positionsnummer des zweiten Vergleichselements?

Nein! So geht's nicht.

Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements kleiner als die Positionsnummer des Endelements (Rechts)?

Nein! So geht's auch nicht.

'Sortiere', die Zweite ist hier zu Ende.  
Es geht in 'Sortiere', die Erste weiter.

Wir müssen zurück an die Stelle, an der wir unsere vorletzte Teilliste erstellt haben.

An dieser Stelle hatten wir die Werte:

Pivotelement: 65

Links: 24

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 7

Unsere Liste sieht dagegen zur Zeit so aus ( Wieder „alte“ Markierungen in „neuer“ Liste):

<u>7</u>	<b>24</b>	27	43	63	<u>65</u>	75	88	72	<b>98</b>
----------	-----------	----	----	----	-----------	----	----	----	-----------

Wir fragen: Ist die Positionsnummer des ersten Vergleichselements kleiner als die des Endelements (Rechts)?

Ja!

Wir können also aus den Elementen zwischen dem ersten Vergleichselement (65) und dem Endelement (98) unsere neue Teilliste erstellen.

Hier beginnt 'Sortiere', die Vierte.

Mit den üblichen Elementmarkierungen sieht sie so aus:

Pivotelement: 88

Links: 65

Rechts: 98

Anfangsindex: 65

Endindex: 98

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	43	63	<u>65</u>	75	88	72	<u>98</u>
---	----	----	----	----	-----------	----	----	----	-----------

Es geht wieder los!

Ist das erste Vergleichselement kleiner als d.....

(Hier verloren die Autoren der Erklärung die Lust an dieser nicht enden wollenden Schreibarbeit und sie empfahlen sich und dem geneigten Leser, den noch verbleibenden Teil in stiller Gedankenarbeit selbst weiter nachzuvollziehen.)

Achtung! Im Vergleich zur letzten Liste ist das erste Vergleichselement um zwei Positionen weiter gerückt, weil die Elemente an den beiden ersten Positionen beide kleiner waren als das Pivotelement.

Pivotelement: 88

Links: 65

Rechts: 98

Anfangsindex: 88

Endindex: 98

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	43	63	<b>65</b>	75	<u>88</u>	72	<u>98</u>
---	----	----	----	----	-----------	----	-----------	----	-----------

Pivotelement: 88

Links: 65

Rechts: 98

Anfangsindex: 88

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	43	63	<b>65</b>	75	<u>88</u>	<u>72</u>	<b>98</b>
---	----	----	----	----	-----------	----	-----------	-----------	-----------

Pivotelement: 88

Links: 65

Rechts: 98

Anfangsindex: 88

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	43	63	<b>65</b>	75	<u>72</u>	<u>88</u>	<b>98</b>
---	----	----	----	----	-----------	----	-----------	-----------	-----------

Hier beginnt 'Sortiere', die Fünfte.

Pivotelement: 75

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 65

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste: 

7	24	27	43	63	<u>65</u>	75	<u>72</u>	88	98
---	----	----	----	----	-----------	----	-----------	----	----

Pivotelement: 75

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 75

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	63	<b>65</b>	<u>75</u>	<u>72</u>	88	98
-----------------------	---	----	----	----	----	-----------	-----------	-----------	----	----

Pivotelement: 75

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 75

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	63	<b>65</b>	<u>75</u>	<u>72</u>	88	98
-----------------------	---	----	----	----	----	-----------	-----------	-----------	----	----

Pivotelement: 75

Links: 65

Rechts: 75

Anfangsindex: 75

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	63	<b>65</b>	<u>72</u>	<u>75</u>	88	98
-----------------------	---	----	----	----	----	-----------	-----------	-----------	----	----

Hier beginnt 'Sortiere', die Sechste.

Pivotelement: 65

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 65

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	63	<u>65</u>	<u>72</u>	75	88	98
-----------------------	---	----	----	----	----	-----------	-----------	----	----	----

Pivotelement: 65

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 65

Endindex: 72

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	63	<u>65</u>	<u>72</u>	75	88	98
-----------------------	---	----	----	----	----	-----------	-----------	----	----	----

Pivotelement: 65

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 65

Endindex: 65

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	63	<u>65</u>	<b>72</b>	75	88	98
-----------------------	---	----	----	----	----	-----------	-----------	----	----	----

Pivotelement: 65

Links: 65

Rechts: 72

Anfangsindex: 72

Endindex: 63

Aktuelle Zahlenliste:	7	24	27	43	<u>63</u>	<b>65</b>	<u>72</u>	75	88	98
-----------------------	---	----	----	----	-----------	-----------	-----------	----	----	----

Hier endet 'Sortiere', die Sechste und es geht in 'Sortiere', die Fünfte weiter, wo sofort 'Sortiere', die Siebente aufgerufen wird.

## Seite 14

Pivotelement: 88

Links: 88

Rechts: 98

Anfangsindex: 88

Endindex: 98

Aktuelle Zahlenliste: | 7 | 24 | 27 | 43 | 63 | 65 | 72 | 75 | 88 | 98 |

Pivotelement: 88

Links: 88

Rechts: 98

Anfangsindex: 88

Endindex: 98

Aktuelle Zahlenliste: | 7 | 24 | 27 | 43 | 63 | 65 | 72 | 75 | 88 | 98 |

Pivotelement: 88

Links: 88

Rechts: 98

Anfangsindex: 88

Endindex: 88

Aktuelle Zahlenliste: | 7 | 24 | 27 | 43 | 63 | 65 | 72 | 75 | 88 | 98 |

Pivotelement: 88

Links: 88

Rechts: 98

Anfangsindex: 98

Endindex: 75

Aktuelle Zahlenliste: | 7 | 24 | 27 | 43 | 63 | 65 | 72 | 75 | 88 | 98 |

Hier endet 'Sortiere', die Siebente. Wir gehen zurück in 'Sortiere', die Fünfte, die ebenfalls sofort endet, womit wir uns in 'Sortiere', die Vierte wiederfinden, die auch sofort endet, womit wir in 'Sortiere', die Erste wären, nur um festzustellen, das auch 'Sortiere', die Erste hier zu Ende ist. Um das Maß voll zu machen, endet an dieser Stelle auch 'Sortieren'.

### Die sortierte Liste:

| 7 | 24 | 27 | 43 | 63 | 65 | 72 | 75 | 88 | 98 |

# Das Modul Quicksort:

```

MODULE Quicksort;

  TYPE
    Element* = INTEGER;
    Liste*   = POINTER TO ARRAY OF Element;
    Index    = INTEGER;

  (* ----- Sortieren *)
  PROCEDURE Sortieren* (liste: Liste);
  (* ----- Sortiere *)
  PROCEDURE Sortiere (Links, Rechts: Index);
    VAR
      Anfangsindex, Endindex: Index;
      Pivotelement, Hilfselement: Element;
  BEGIN
    Anfangsindex := Links;
    Endindex := Rechts;
    Pivotelement := liste[(Links + Rechts) DIV 2];
    REPEAT
      WHILE liste[Anfangsindex] < Pivotelement DO
        INC(Anfangsindex);
      END;
      WHILE Pivotelement < liste[Endindex] DO
        DEC(Endindex);
      END;
      IF Anfangsindex <= Endindex THEN
        Hilfselement := liste[Anfangsindex];
        liste[Anfangsindex] := liste[Endindex];
        liste[Endindex] := Hilfselement;
        INC(Anfangsindex);
        DEC(Endindex);
      END;
    UNTIL Anfangsindex > Endindex;
    IF Links < Endindex THEN
      Sortiere(Links, Endindex);
    END;
    IF Anfangsindex < Rechts THEN
      Sortiere(Anfangsindex, Rechts);
    END;
  END Sortiere;
  (* ----- Sortieren *)
  BEGIN
    Sortiere(0, LEN(liste) - 1);
  END Sortieren;

END Quicksort.

```

## Erläuterung der Programmfunktionen

Um auf die einzelnen Funktionen des Programms einzugehen, wird es hier in seine wesentlichen Bestandteile zerlegt. Diese werden dann einzeln erläutert.

- Der Grundbestandteil ist das Modul Quicksort mit der Schnittstelle:

```
DEFINITION Quicksort;
  TYPE
    Element = INTEGER;
    Liste = POINTER TO ARRAY OF Element;
  PROCEDURE Sortieren (liste: Liste);
END Quicksort.
```

Das Modul Quicksort exportiert also den dynamischen Arraytyp `Liste` und die Prozedur `sortieren`, die als Parameter eine `liste` des Typs `Liste` erwartet.

- Die Prozedur `Sortieren`:

```
PROCEDURE Sortieren* (liste: Liste);
```

### **PROCEDURE Sortiere**

```
BEGIN
  Sortiere(0, LEN(liste) - 1);
END Sortieren;
```

Wie man sieht, passiert hier herzlich wenig. Es wird die Prozedur `sortiere` aufgerufen mit der Parameterliste:

```
(0, LEN(liste) - 1).
```

Die Prozedur `sortieren` ist offensichtlich nur eine Deckelprozedur zur Vereinfachung der Schnittstelle, Benutzer des Moduls Quicksort übergeben diesem eine Liste unsortierter Zahlen, die Einzelheiten der tatsächlichen Sortierprozedur `sortiere` sind verborgen.

- Die Prozedur `Sortiere`:

Alles, was ab jetzt passiert, ist in der Erläuterung der grundsätzlichen Funktionsweise von Quicksort schon beschrieben. Hier soll diese Erläuterung nicht wiederholt, sondern erklärt werden, wie das Programm die dort dargestellten Vorgänge realisiert. Um das Ganze nachzuvollziehen, ist die Erläuterung aber sehr hilfreich und jetzt erfüllen auch die rechtsbündig in den Kästen stehenden Einschübe und das Prozeduraufrufdiagramm auf der letzten Seite ihren Zweck als Wegweiser durch den konkreten Programmablauf.

Nachfolgend zeigen die Rahmen:

Ausgabe der aktuellen Werte.

an, wo in der Beschreibung die Wiedergabe der jeweils aktuellen Liste erfolgte.

```
PROCEDURE Sortiere(Links, Rechts: INTEGER);
  VAR
    Anfangsindex, Endindex: INTEGER;
    Pivotelement, Hilfselement: Element;
```

Hier bekommen die formalen Parameter `Links` und `Rechts` der Prozedur `Sortiere` die als aktuelle Parameter übergebenen Werte `0` und `LEN(liste) - 1` als Kopien zugewiesen (Val - Parameter), außerdem werden die Variablen `Anfangsindex`, `Endindex`, `Pivotelement` und `Hilfselement` deklariert.

```
BEGIN
```

```
  Anfangsindex := Links;
  Endindex := Rechts;
  Pivotelement := liste[(Links + Rechts) DIV 2];
```

`Anfangsindex` und `Endindex` repräsentieren die beiden Vergleichselemente, die hier auf das Anfangs-, bzw. Endelement gesetzt werden.

Die Anzahl der Elemente in der Zahlenliste wird ganzzahlig durch Zwei geteilt. Dadurch erhält man bei einer ungeraden Stellenanzahl die Ordnungszahl des Elements in der Mitte der Liste, während man bei einer geraden Stellenanzahl die Ordnungszahl des Elements links von der Mitte erhält. Der Wert der Zahl, die an dieser Stelle steht, wird der Variablen `Pivotelement` zugewiesen.

```
  REPEAT
```

Ausgabe der aktuellen Werte.

```
    WHILE liste[Anfangsindex] < Pivotelement DO
      INC (Anfangsindex);
    END;
```

Hier wird der Wert des erste Vergleichselements (in der Liste links vom Pivotelement) mit dem Wert des Pivotelements verglichen. Ist es kleiner als das Pivotelement, steht es im Vergleich zum Pivotelement an der richtigen Stelle, `Anfangsindex` wird um Eins erhöht und so dasjenige Element zum neuen Vergleichselement gemacht, das eine Position weiter rechts als das alte Vergleichselement steht. Dies setzt sich fort, bis ein Vergleichselement gefunden ist, dessen Wert nicht kleiner als der Wert des Pivotelements ist. Ist das der Fall, so hat `Anfangsindex` den Wert einer Position in der Zahlenliste, die ein Listenelement (eine Zahl) repräsentiert, das „auf der falschen Seite“ des Pivotelements eingeordnet ist.

Ausgabe der aktuellen Werte.

```
    WHILE Pivotelement < liste[Endindex] DO
      DEC (Endindex);
    END;
```

Hier passiert das gleiche wie in der vorangegangenen `WHILE` - Schleife. Nur wird das in der Zahlenliste rechts vom Pivotelement stehende Vergleichselement mit dem Pivotelement verglichen.

Ausgabe der aktuellen Werte.

```
IF Anfangsindex <= Endindex THEN
  Hilfselement := liste[Anfangsindex];
  liste[Anfangsindex] := liste[Endindex];
  liste[Endindex] := Hilfselement;
  INC (Anfangsindex);
  DEC (Endindex);
END;
```

Hier wird gefragt, ob die Position des „linken“ Vergleichselements ( `Anfangsindex` ) auch tatsächlich links von der Position des „rechten“ Vergleichselements ( `Endindex` ) ist. Wäre das nicht der Fall, so dürften diese beiden Elemente nicht ihre Plätze tauschen, da sie ja schon in der richtigen Reihenfolge stünden.

Ist die Frage positiv beantwortet, so tauschen jetzt die beiden an der Position der Vergleichselemente stehenden Variablen ihre Werte und das „linke“ Vergleichselement wird eine Position nach rechts, das „rechte“ Vergleichselement eine Position nach links verschoben.

Ausgabe der aktuellen Werte.

```
UNTIL Anfangsindex > Endindex;
```

Hier geht die `REPEAT` - Schleife von vorne los, es sei denn, die Positionsnummer des „linken“ ( ersten ) Vergleichselements ist nun größer als die Positionsnummer des „rechten“ ( zweiten ) Vergleichselements. Wäre diese Bedingung nicht erfüllt, so würde das bedeuten, daß die Vergleichselemente beim Verschieben durch die Zeilen

```
INC (Anfangsindex);
DEC (Endindex);
```

„aneinander vorbei“ oder auf dieselbe Position verschoben wurden.

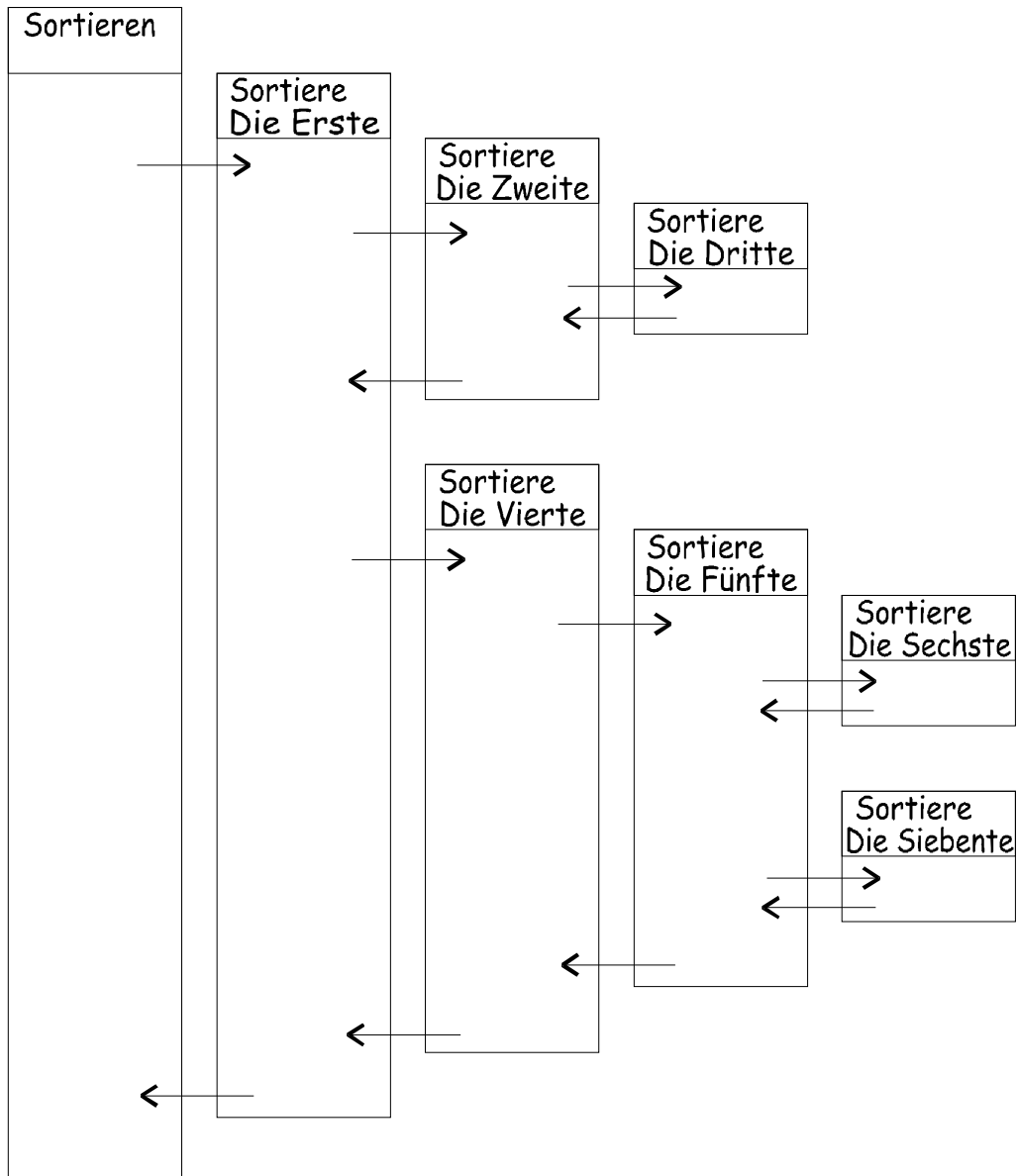
```
IF Links < Endindex THEN
  Sortiere (Links, Endindex);
END;
IF Anfangsindex < Rechts THEN
  Sortiere (Anfangsindex, Rechts);
END;
```

Wenn das Programm an dieser Stelle angelangt ist, stehen in der bis hierhin bearbeiteten Zahlenliste alle Elemente auf der richtigen Seite des Pivotelements. Links vom Pivotelement stehen alle Elemente, deren Wert kleiner ist als der Wert des Pivotelements, und rechts davon alle Elemente, deren Wert größer ist. Untereinander haben aber diese Elemente noch nicht die richtige Reihenfolge. Deshalb wird hier eine neue Teilliste zum Sortieren ausgewählt, und die Prozedur `sortiere` mit den entsprechenden Parametern solange erneut aufgerufen, bis die Gesamtliste vollständig sortiert ist.

```
END Sortiere;
```

## Prozeduraufrufdiagramm für Quicksort

In dieser Form ist das Diagramm nur für die in dieser Erläuterung verwendete Zufallszahlenfolge gültig!



Die Prozeduren sind hier leer gezeigt, weil das Füllen mit dem, was in ihnen passiert, den Rahmen dieser Zeichnung sprengen würde und außerdem ausführlich erläutert wurde.