

Tutorübung 04

MergeSort & QuickSort

Erich Schubert, LFE Datenbanksysteme

Ludwig-Maximilians-Universität München

13. 5. 2015

QuickSort – Hinweise

Im folgenden Zeichnen wir den alten Zustand des Arrays mit ein. Dies dient der Veranschaulichung, diese Daten entsprechen der vorherigen Zeile, wenn man QuickSort auf Papier in einer Tabelle durchführt. Am PC existiert die Zeile “Alt” aber *nicht*. Nur der als “Aktuell” beschriftete Zustand existiert im PC.

Bitte nicht Drucken!

Dies ist Daumenkino, für die Betrachtung am PC.
Es auszudrucken wäre Papierverschwendung.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:

54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	---	----

Aktuell:

54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\perp$, π sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:

54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	---	----

Aktuell:

54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\perp$, π sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
	↑															↑
	⌊															⌋
	↓															↓
Aktuell:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
		↑														↑
		⌊														⌋
		↓														↓
Aktuell:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rceil$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
		↑														↑
		⌊														⌋
		↓														↓
Aktuell:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rceil$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
		↑													↑	
		⌊													⌋	
		↓													↓	
Aktuell:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rceil$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
			↑											↑		
			⌊											⌋		
			↓											↓		
Aktuell:	54	5	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rceil$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
				↑										↑		
				⌊										⌋		
				↓										↓		
Aktuell:	54	5	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
					↑									↑		
					l									r		
					↓									↓		
Aktuell:	54	5	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
					↑									↑		
					l									r		
					↓									↓		
Aktuell:	54	5	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
					↑									↑		
					⌊									⌋		
					↓									↓		
Aktuell:	54	5	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
					↑									↑		
					⌊									⌋		
					↓									↓		
Aktuell:	54	5	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
						↑						↑				
						⌊						⌋				
						↓						↓				
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	79	66	67	83	3	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
							↑					↑				
							⌊					⌋				
							↓					↓				
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	79	66	67	83	3	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
							↑					↑				
							⌊					⌋				
							↓					↓				
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	79	66	67	83	3	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
							↑				↑					
							⌊				⌋					
							↓				↓					
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	79	66	67	83	3	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\lfloor$, $\rfloor$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
							↑				↑					
							l				r					
							↓				↓					
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	79	66	67	83	3	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
								↑		↑						
								l		r						
								↓		↓						
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	3	66	67	83	79	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
								↑		↑						
							l			r						
							↓			↓						
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	3	66	67	83	79	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
								↑	↑							
								l	r							
								↓	↓							
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	3	66	67	83	79	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
								↑								
								±								
								↓								
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	3	66	67	83	79	97	59	86	74	56

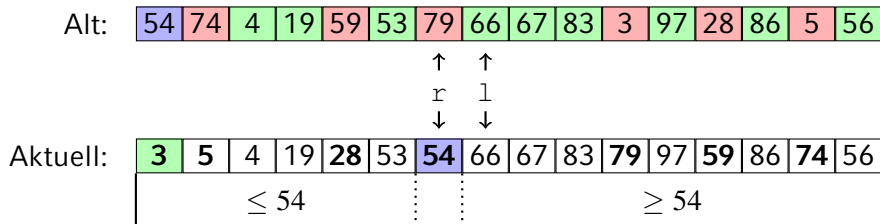
Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für $\perp$, $\pm$ sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf

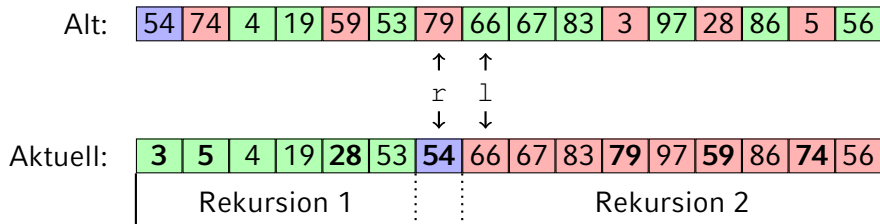
Alt:	54	74	4	19	59	53	79	66	67	83	3	97	28	86	5	56
							↑	↑								
							r	l								
							↓	↓								
Aktuell:	54	5	4	19	28	53	3	66	67	83	79	97	59	86	74	56

Achtung: in der Klausur sind **keine Farben** erlaubt.
Keinesfalls sollten Sie etwas richtiges durchstreichen!
Pfeile für l , r sind aber ok, unterstreichen, etc.
Sie müssen nur **Änderungen** in die Tabelle eintragen.

QuickSort – Erster Durchlauf



QuickSort – Erster Durchlauf



QuickSort – Rekursion 1

Alt:

3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into two sub-arrays by a pivot (53). The left sub-array contains elements less than the pivot, and the right sub-array contains elements greater than the pivot.

QuickSort – Rekursion 1

Alt:

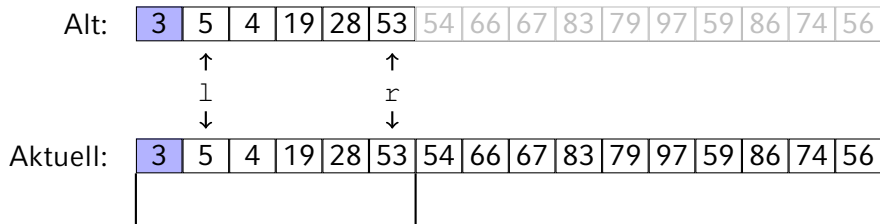
3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

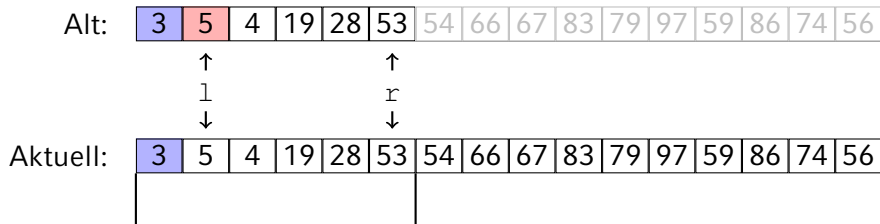
3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into two sub-arrays by a pivot (53). The left sub-array contains elements less than the pivot, and the right sub-array contains elements greater than the pivot.

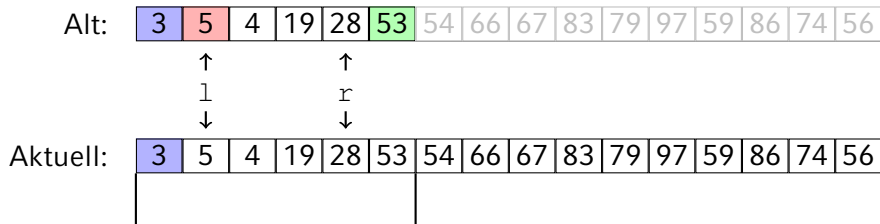
QuickSort – Rekursion 1



QuickSort – Rekursion 1



QuickSort – Rekursion 1



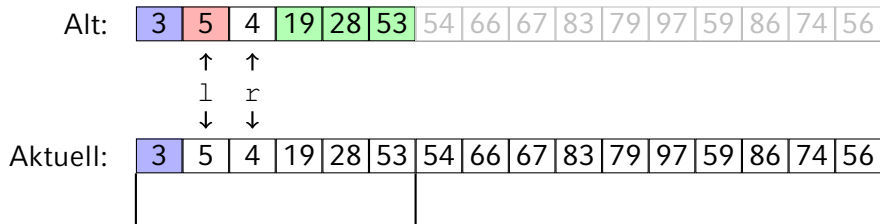
QuickSort – Rekursion 1

Alt: 3 5 4 19 28 53 54 66 67 83 79 97 59 86 74 56

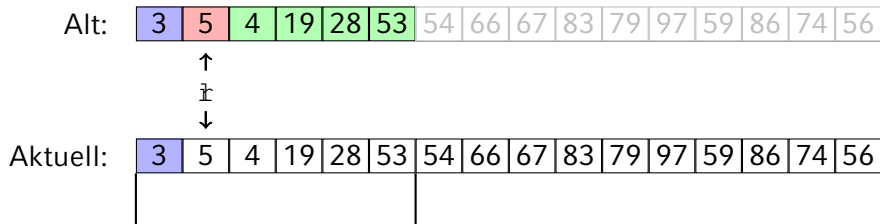
↑	↑
l	r
↓	↓

Aktuell: 3 5 4 19 28 53 54 66 67 83 79 97 59 86 74 56

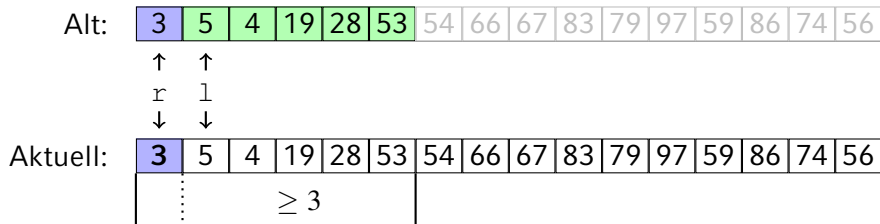
QuickSort – Rekursion 1



QuickSort – Rekursion 1

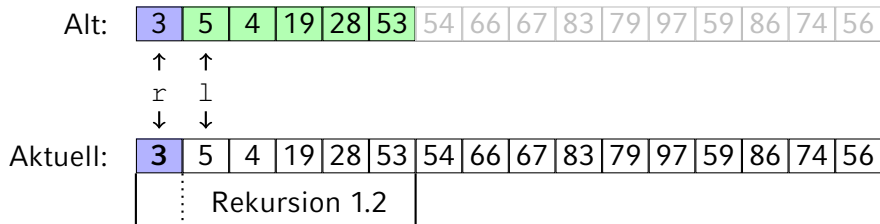


QuickSort – Rekursion 1



Pivot wird mit sich selbst vertauscht.

QuickSort – Rekursion 1



Pivot wird mit sich selbst vertauscht.

Rekursion 1.1 ist leer!

QuickSort – Rekursion 1.2

Alt:

3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into two sub-arrays by a pivot element (53). The elements less than the pivot (3, 5, 4, 19, 28) are on the left, and the elements greater than the pivot (54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56) are on the right.

QuickSort – Rekursion 1.2

Alt:

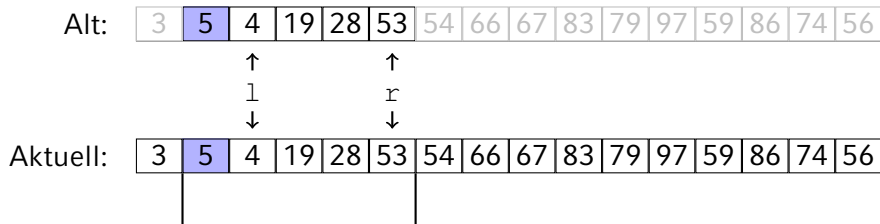
3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

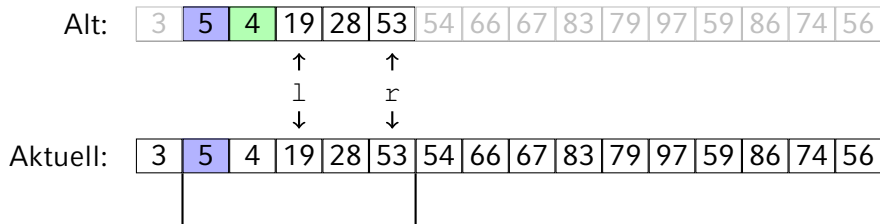
3	5	4	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into two sub-arrays by a pivot (53). The left sub-array contains elements less than the pivot (3, 5, 4, 19, 28), and the right sub-array contains elements greater than the pivot (54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56).

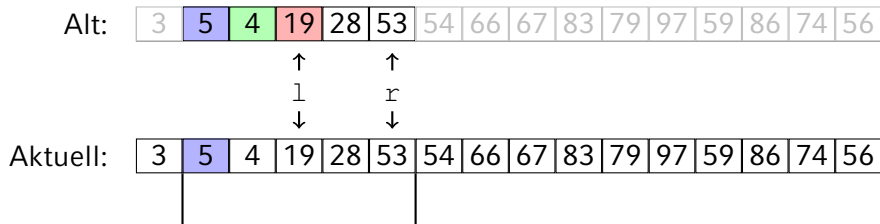
QuickSort – Rekursion 1.2



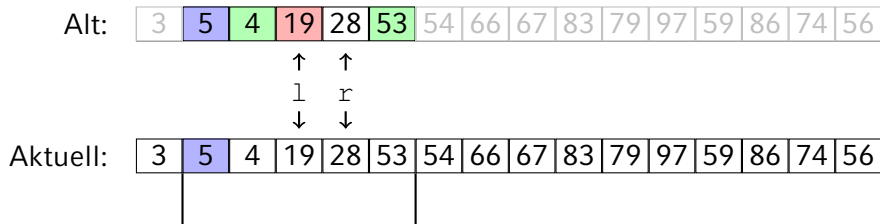
QuickSort – Rekursion 1.2



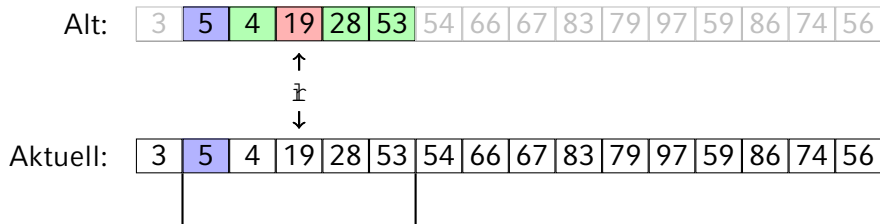
QuickSort – Rekursion 1.2



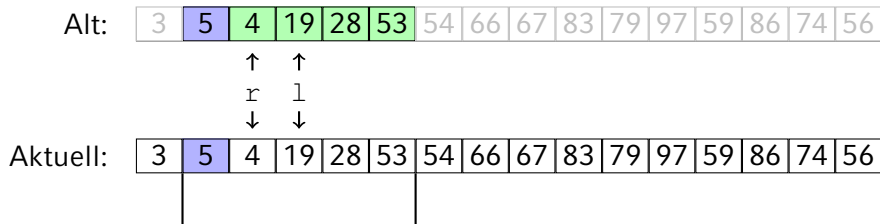
QuickSort – Rekursion 1.2



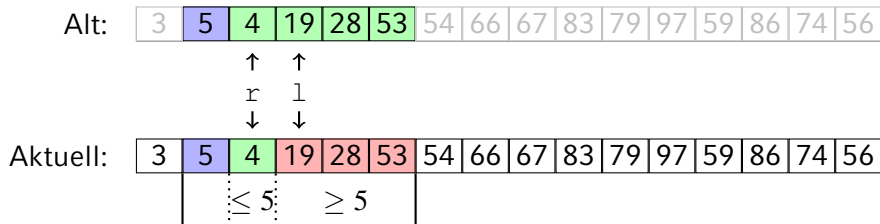
QuickSort – Rekursion 1.2



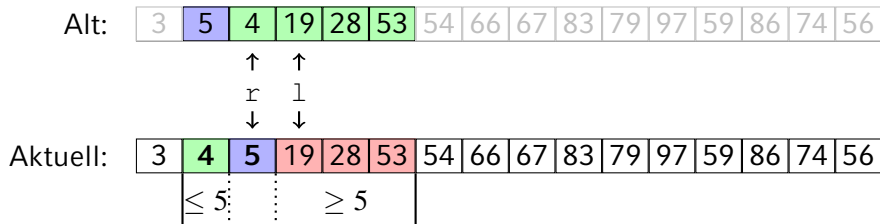
QuickSort – Rekursion 1.2



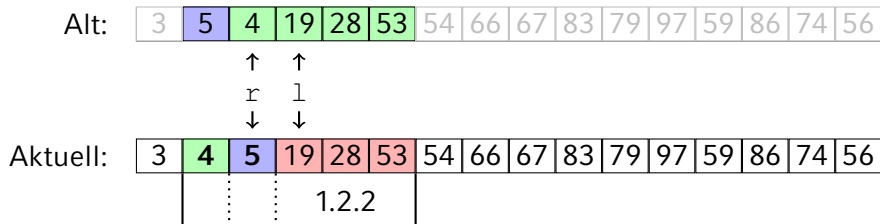
QuickSort – Rekursion 1.2



QuickSort – Rekursion 1.2



QuickSort – Rekursion 1.2



Rekursion 1.2.1 ist nur 1 Element = fertig!

QuickSort – Rekursion 1.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is shown with the pivot element (53) at index 5. The elements less than the pivot (3, 4, 5) are on the left, and the elements greater than the pivot (54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56) are on the right. The pivot element is highlighted in the original image.

QuickSort – Rekursion 1.2.2

Alt:

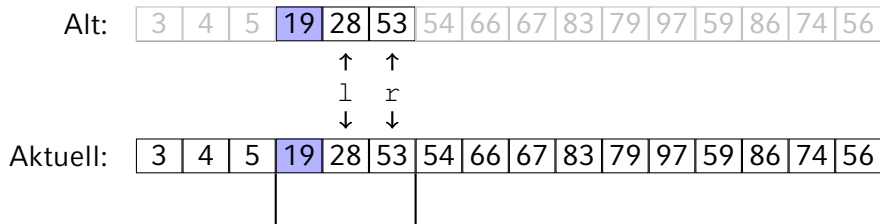
3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

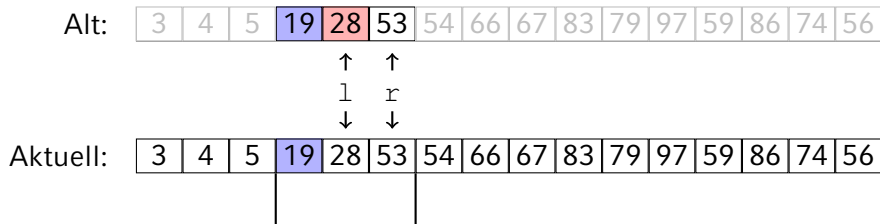
3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into two sub-arrays by a pivot (19). The left sub-array contains elements less than the pivot (3, 4, 5), and the right sub-array contains elements greater than the pivot (28, 53, 54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56).

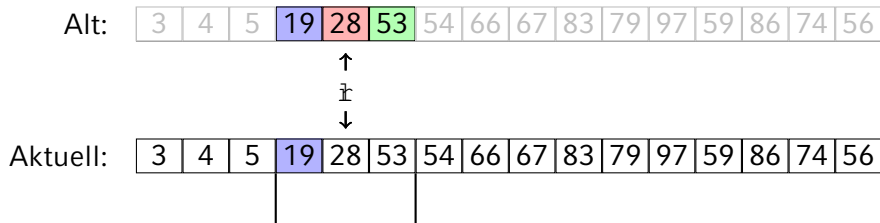
QuickSort – Rekursion 1.2.2



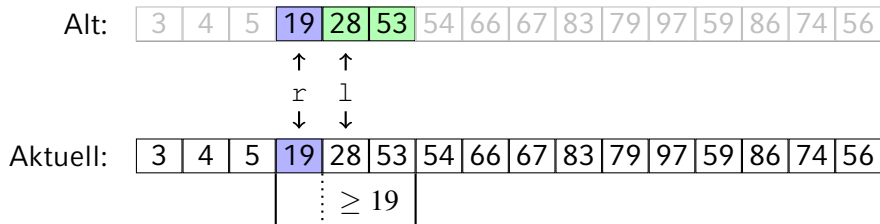
QuickSort – Rekursion 1.2.2



QuickSort – Rekursion 1.2.2

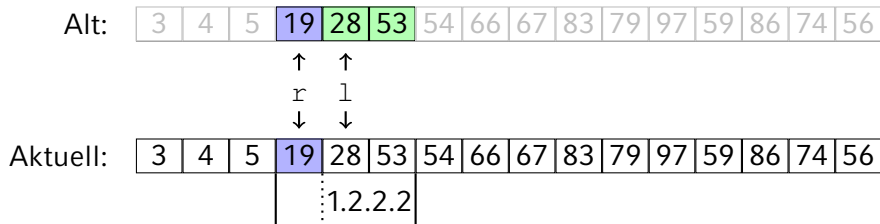


QuickSort – Rekursion 1.2.2



Pivot wird mit sich selbst vertauscht,

QuickSort – Rekursion 1.2.2



Pivot wird mit sich selbst vertauscht,
Rekursion 1.2.2.1 leer

QuickSort – Rekursion 1.2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is shown with elements 3, 4, 5, 19, 28, 53, 54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56. The pivot element is 53. The elements less than the pivot (3, 4, 5, 19, 28) are grouped on the left, and the elements greater than the pivot (54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56) are grouped on the right.

QuickSort – Rekursion 1.2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The pivot element is 28 (highlighted in blue). The array is partitioned into two sub-arrays: elements less than 28 (3, 4, 5, 19) and elements greater than 28 (53, 54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56). Vertical lines connect the pivot position in the 'Aktuell' array to the partitioning boundaries in the 'Alt' array.

QuickSort – Rekursion 1.2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

±

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 1.2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

±

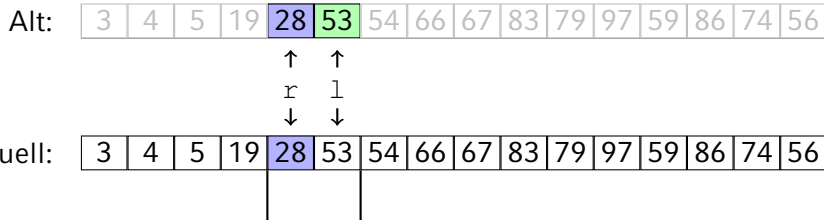
↓

Aktuell:

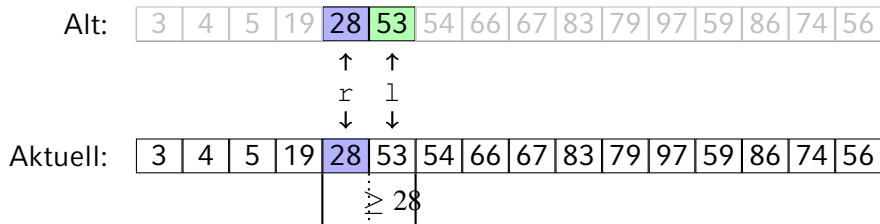
3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 1.2.2.2

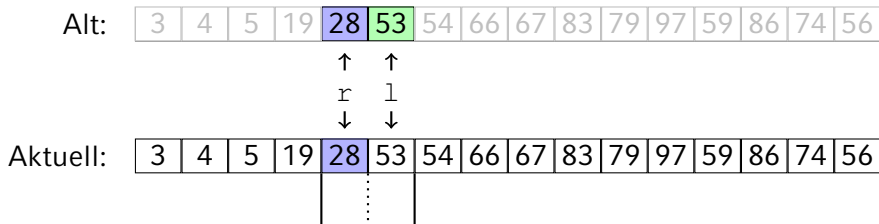


QuickSort – Rekursion 1.2.2.2



Pivot wird mit sich selbst vertauscht,

QuickSort – Rekursion 1.2.2.2



Pivot wird mit sich selbst vertauscht,
Nur 0-1 Elemente, keine Rekursion notwendig.

QuickSort – Rekursion 1.2.2 (Return)

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the state of the array during a recursive step of QuickSort. The array is shown with 16 elements. The first three elements (3, 4, 5) are in the 'Alt' (old) state, and the remaining elements (19, 28, 53, 54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56) are in the 'Aktuell' (current) state. The 'Aktuell' state shows the array after a partitioning operation, with the pivot element (53) moved to its final sorted position (index 5). The elements 19 and 28 are now to the left of the pivot, and the elements 54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, and 56 are to the right.

QuickSort – Rekursion 1.2 (Return)

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into two sub-arrays by a pivot element (53). The elements less than the pivot (3, 4, 5, 19, 28) are on the left, and the elements greater than the pivot (54, 66, 67, 83, 79, 97, 59, 86, 74, 56) are on the right.

QuickSort – Rekursion 1 (Return)

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

l

↓

↑

r

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑
l
↓

↑
r
↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2

Alt: 3 4 5 19 28 53 54 66 67 83 79 97 59 86 74 56

↑

1

↓

↑

 γ

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

l

↓

↑

r

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	83	79	97	59	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑
l
↓

↑
r
↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	83	79	97	59	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

↑

l

r

↓

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	83	79	97	59	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

↑

l

r

↓

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	83	79	97	59	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑

↑

l

r

↓

↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	83	79	97	59	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
l r
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
l r
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
r l
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
r l
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	66	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

							⋮	≤ 66		⋮	≥ 66				
--	--	--	--	--	--	--	---	-----------	--	---	-----------	--	--	--	--

QuickSort – Rekursion 2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	66	67	83	79	97	59	86	74	56
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
r l
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

≤ 66 ≥ 66

QuickSort – Rekursion 2

Alt: 3 4 5 19 28 53 54 66 67 83 79 97 59 86 74 56

$$\begin{array}{cc} \uparrow & \uparrow \\ r & l \\ \downarrow & \downarrow \end{array}$$

Aktuell: 3 4 5 19 28 53 54 59 56 66 79 97 83 86 74 67

R 2.1

R 2.2

QuickSort – Rekursion 2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is shown with the pivot element (59) at index 8. The elements 59 and 56 are highlighted in the original image. The pivot element (59) is moved to its sorted position (index 9), and the element 66 is moved to its sorted position (index 10). The elements 59 and 56 are highlighted in the original image.

QuickSort – Rekursion 2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The pivot is 59. Elements less than 59 are moved to the left, and elements greater than 59 are moved to the right. The pivot 59 is now in its final sorted position.

QuickSort – Rekursion 2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

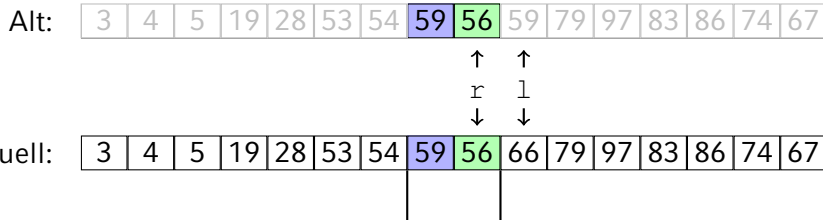


Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2.1



QuickSort – Rekursion 2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	59	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

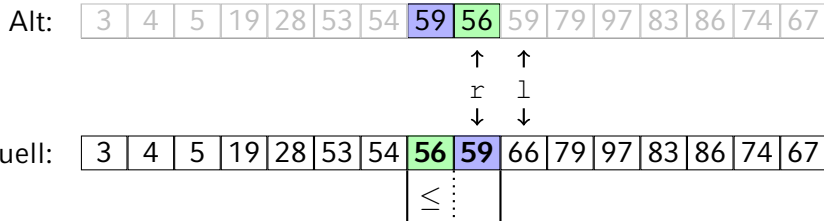
↑ ↑
r l
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	59	56	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

| : ≤ |
: : :
: : :

QuickSort – Rekursion 2.1



QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67

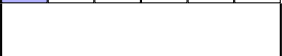
QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2.2

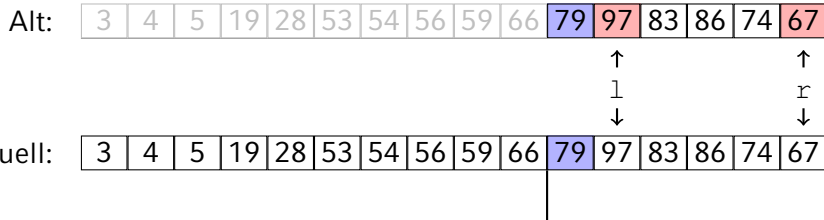
Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
											↑				↑
											l				r
											↓				↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2



QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
l r
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	83	86	74	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
l r
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	83	86	74	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2

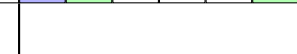
Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
l r
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	83	86	74	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑
±
↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	74	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑
±
↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	74	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	74	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑

r l

↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	74	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑

r l

↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	67	74	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

≤

≥

QuickSort – Rekursion 2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	79	97	83	86	74	67
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑

r l

↓ ↓

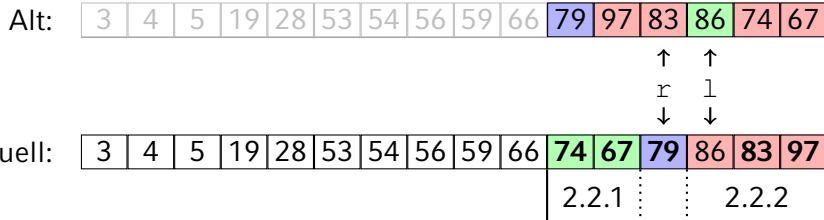
Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

≤

≥

QuickSort – Rekursion 2.2



QuickSort – Rekursion 2.2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is divided into three sections by vertical lines below the pivot elements (74 and 67):

- Elements less than 74: 3, 4, 5, 19, 28, 53, 54, 56, 59, 66
- Elements between 67 and 74: (empty)
- Elements greater than 74: 79, 86, 83, 97

QuickSort – Rekursion 2.2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Diagram illustrating the partitioning step of QuickSort. The array is shown with the pivot element 74 highlighted in blue. The elements 79, 86, 83, and 97 are shown to the right of the pivot, indicating they are greater than the pivot and will be moved to the right sub-array.

QuickSort – Rekursion 2.2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

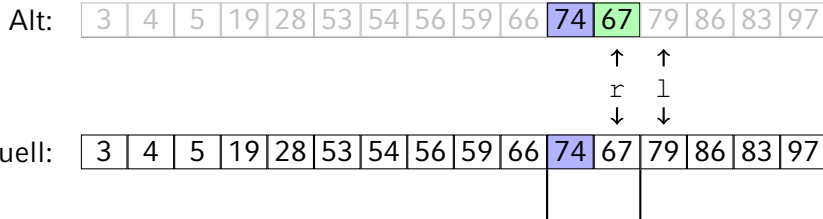


Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2.2.1



QuickSort – Rekursion 2.2.1

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	74	67	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
r l
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97

QuickSort – Rekursion 2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97

QuickSort – Rekursion 2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
l r
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Rekursion 2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑
±
↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2.2

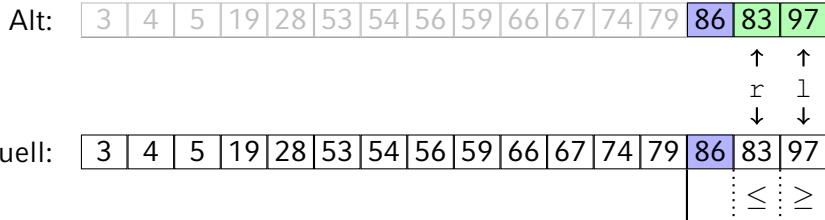
Alt: 3 4 5 19 28 53 54 56 59 66 67 74 79 86 83 97

↑
⊥
↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

QuickSort – Rekursion 2.2.2



QuickSort – Rekursion 2.2.2

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↑ ↑
r l
↓ ↓

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	83	86	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

≤ ⋮ ⋮ ≥
 ⋮ ⋮

QuickSort – Rekursion 2.2 (Return)

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	83	86	97

QuickSort – Rekursion 2 (Return)

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	83	86	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



QuickSort – Fertig

Alt:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	86	83	97
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Aktuell:

3	4	5	19	28	53	54	56	59	66	67	74	79	83	86	97