

Algorithmen und Datenstrukturen

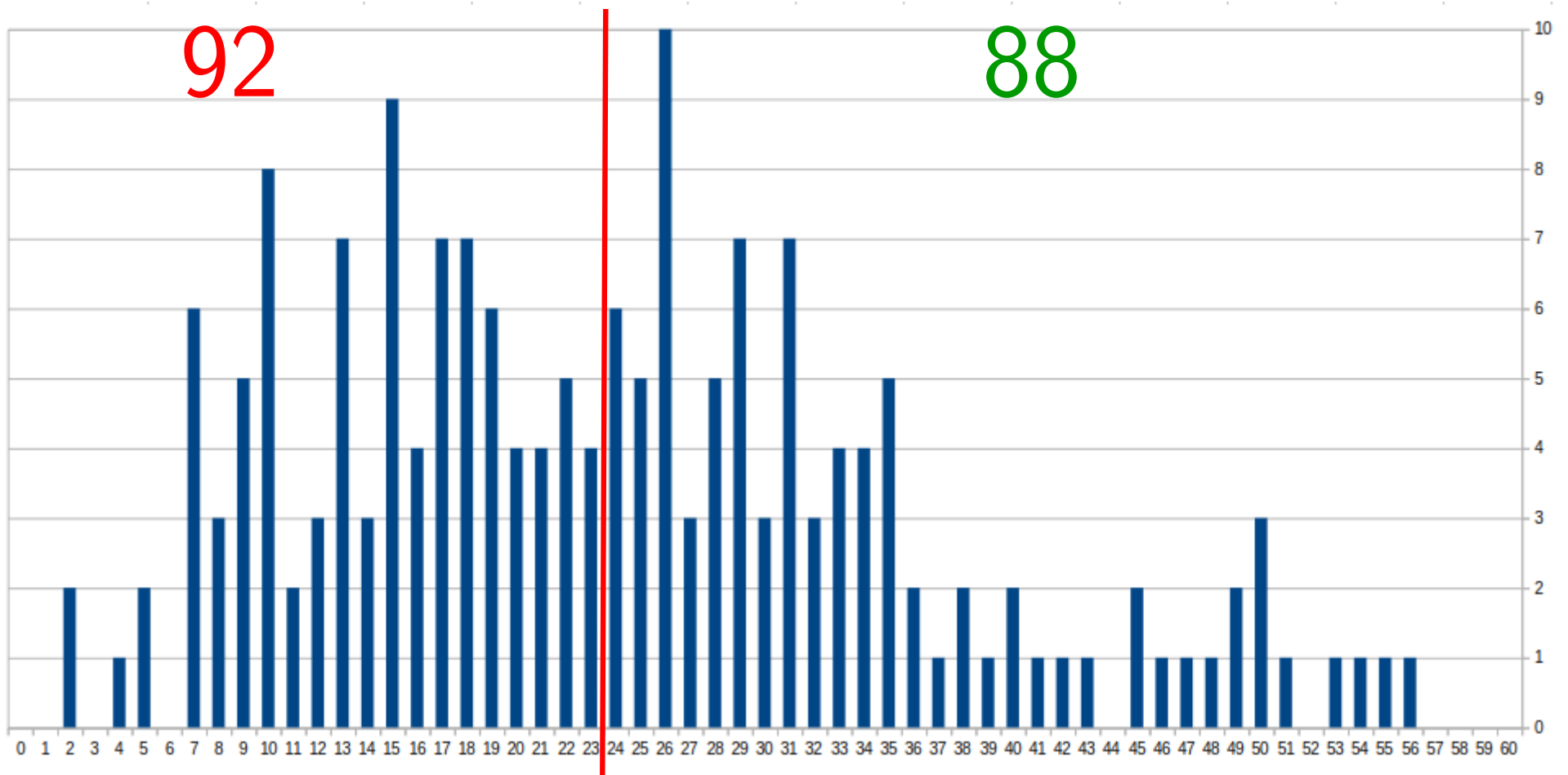
Wintersemester 2022/23

9. Vorlesung

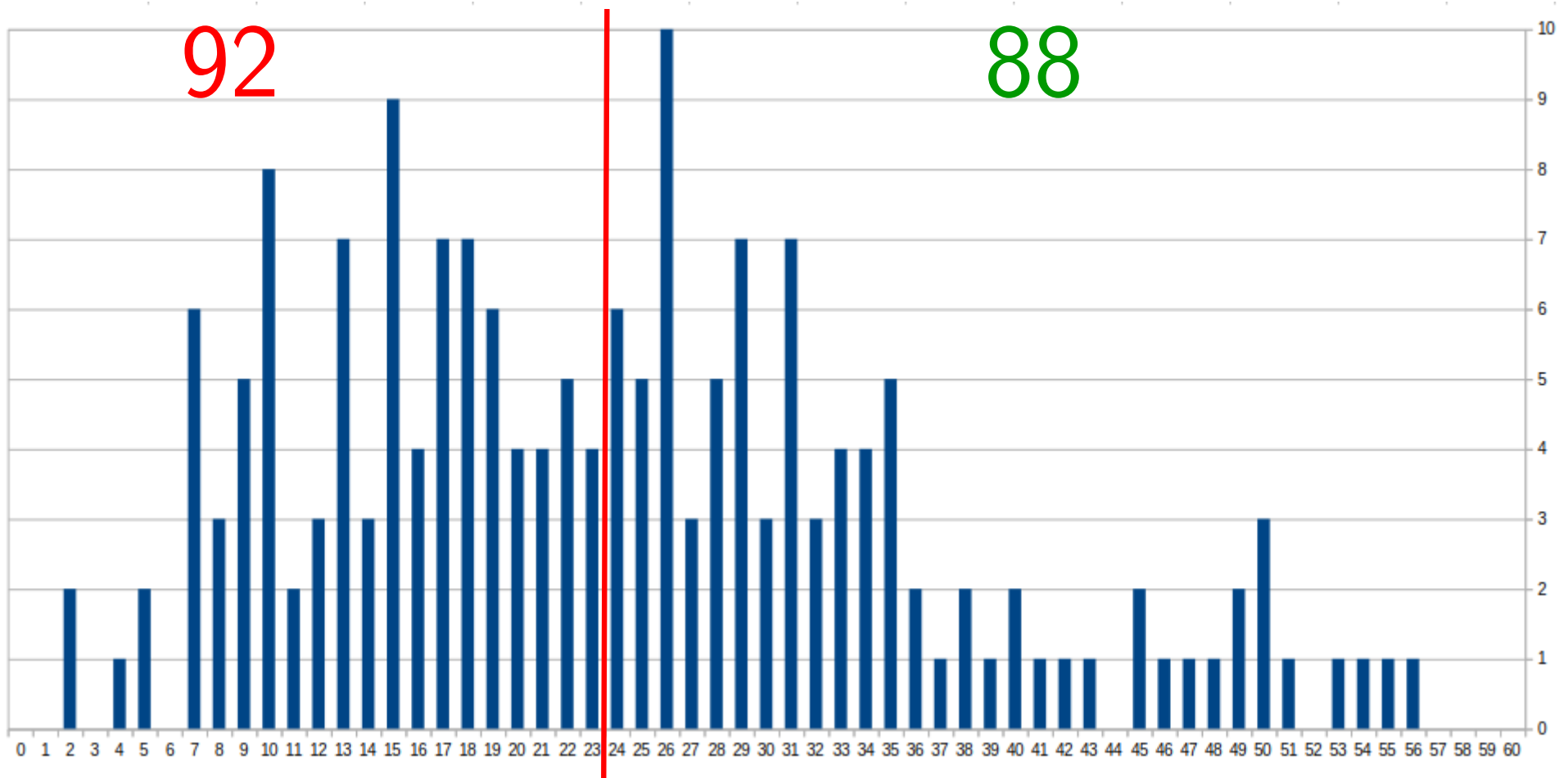
Sortieren in Linearzeit

1. Zwischentest

1. Zwischentest

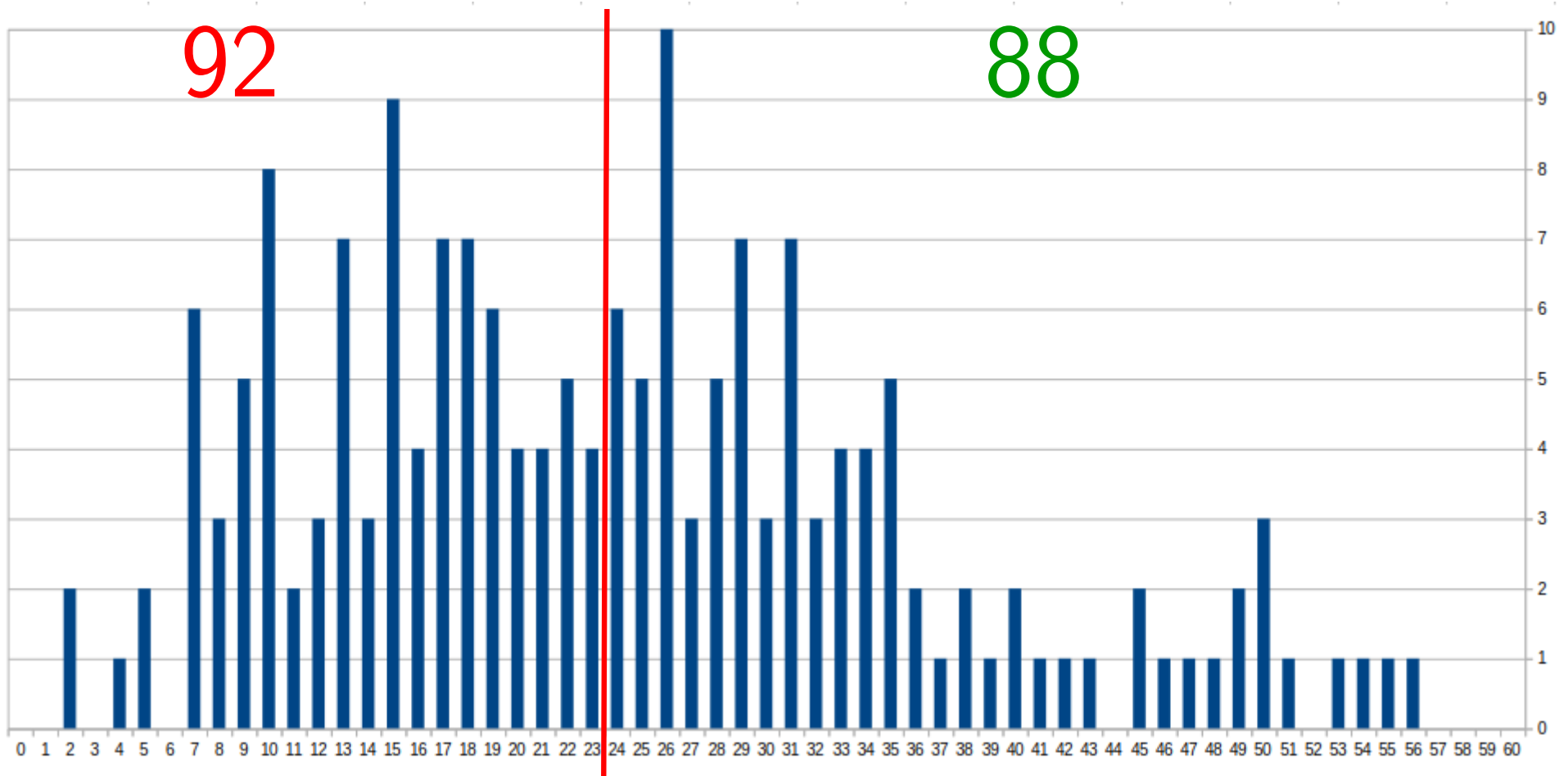


1. Zwischentest



Aufgabe	O-Not.	Heaps	² zahlsumme	Sortieren	Laufz./Schleifeninv.	Rek.-Gleichung	Σ
max	11	6	6	10	22	5	60
mittel	4.8	4.2	1.0	3.0	8.4	2.7	24
	43%	70%	16%	30%	38%	55%	40%
median	4	5	0.5	1	8	3	23

1. Zwischentest



Aufgabe	O-Not.	Heaps	² zahlsumme	Sortieren	Laufz./Schleifeninv.	Rek.-Gleichung	Σ
max	11	6	6	10	22	5	60
mittel	4.8	4.2	1.0	3.0	8.4	2.7	24
	43%	70%	16%	30%	38%	55%	40%
median	4	5	0.5	1	8	3	23

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow[\text{Schlüsselvergleiche}]{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe
Schlüsselvergleiche

vergleichsbasierter Sortieralg.

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow[\text{Schlüsselvergleiche}]{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter* Sortieralg. charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow[\text{Schlüsselvergleiche}]{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

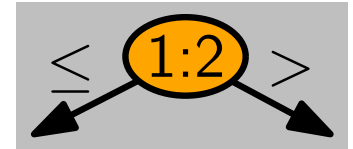
Für festes n ist ein *vergleichsbasierter* Sortieralg. charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:

- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2?$ “)

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow[\text{Schlüsselvergleiche}]{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter* Sortieralg. charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2?$ “)

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow[\text{Schlüsselvergleiche}]{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter* Sortieralg. charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:

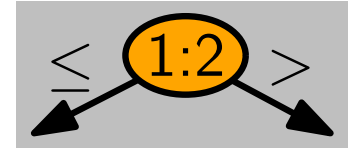


- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe

Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow[\text{Schlüsselvergleiche}]{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter* Sortieralg. charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs

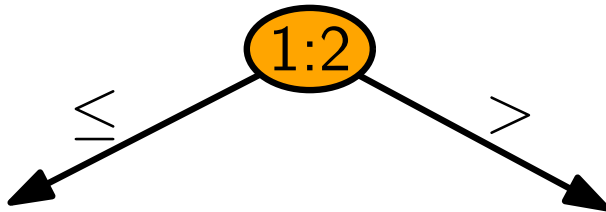
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



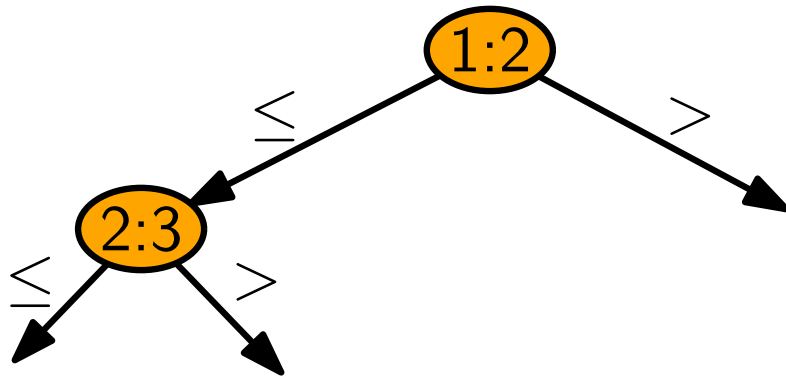
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



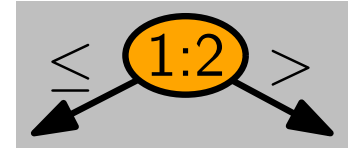
- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



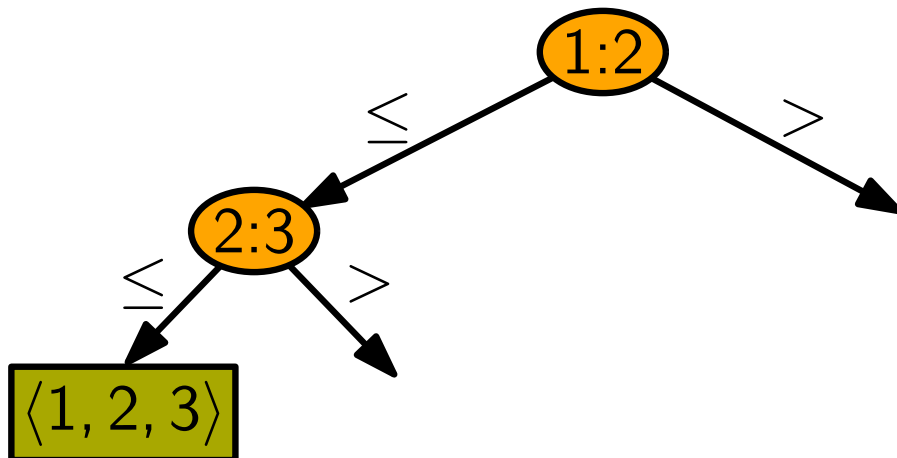
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



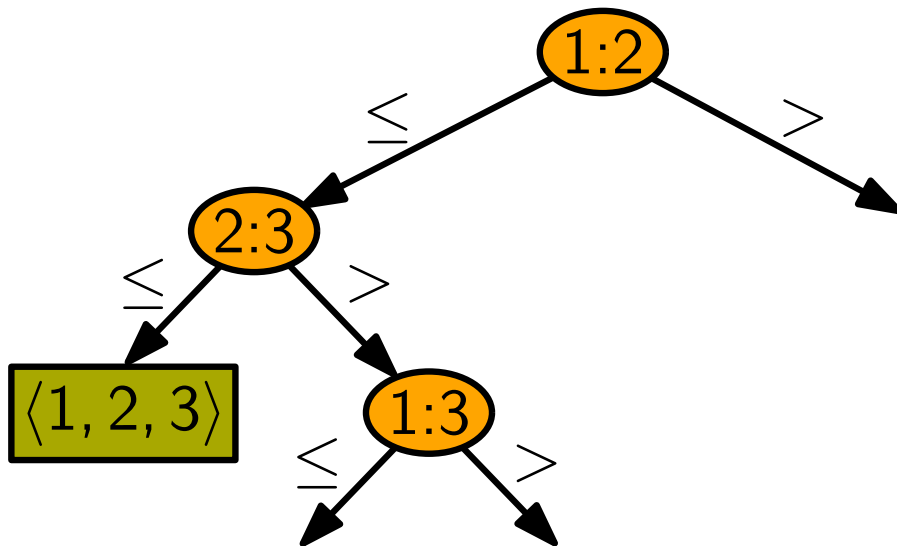
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



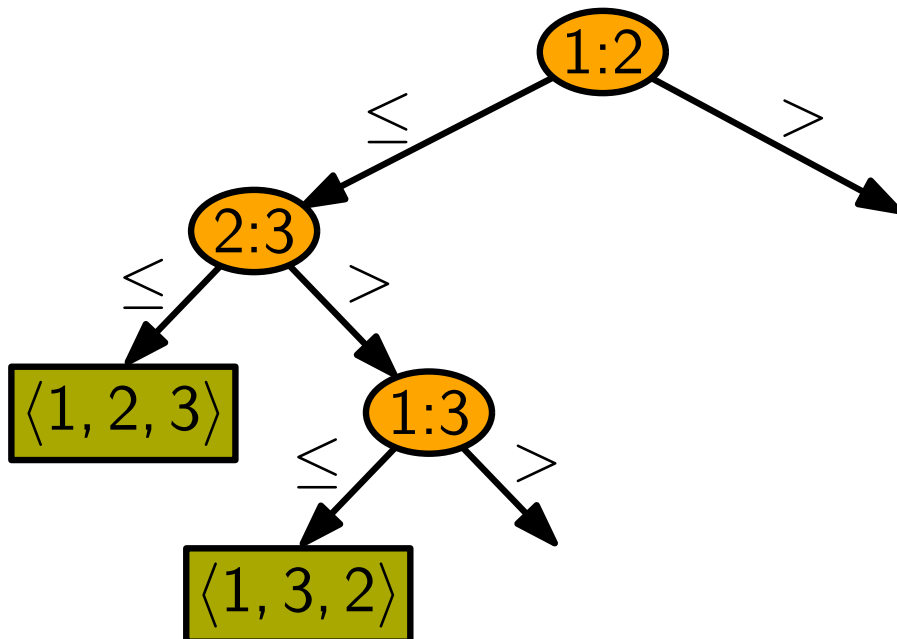
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs

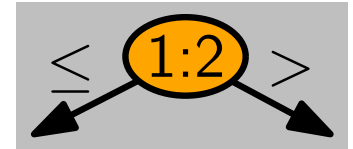


Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

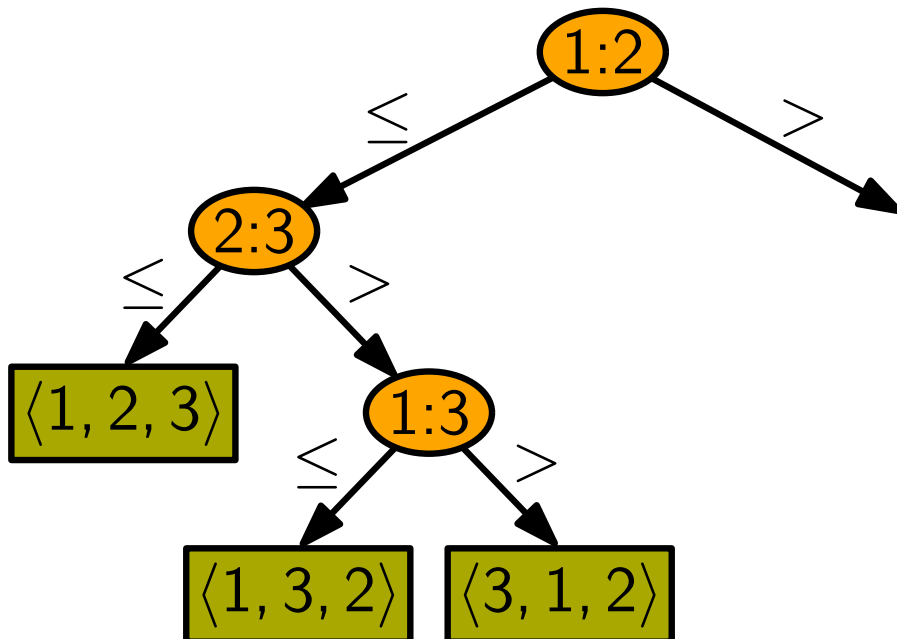
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

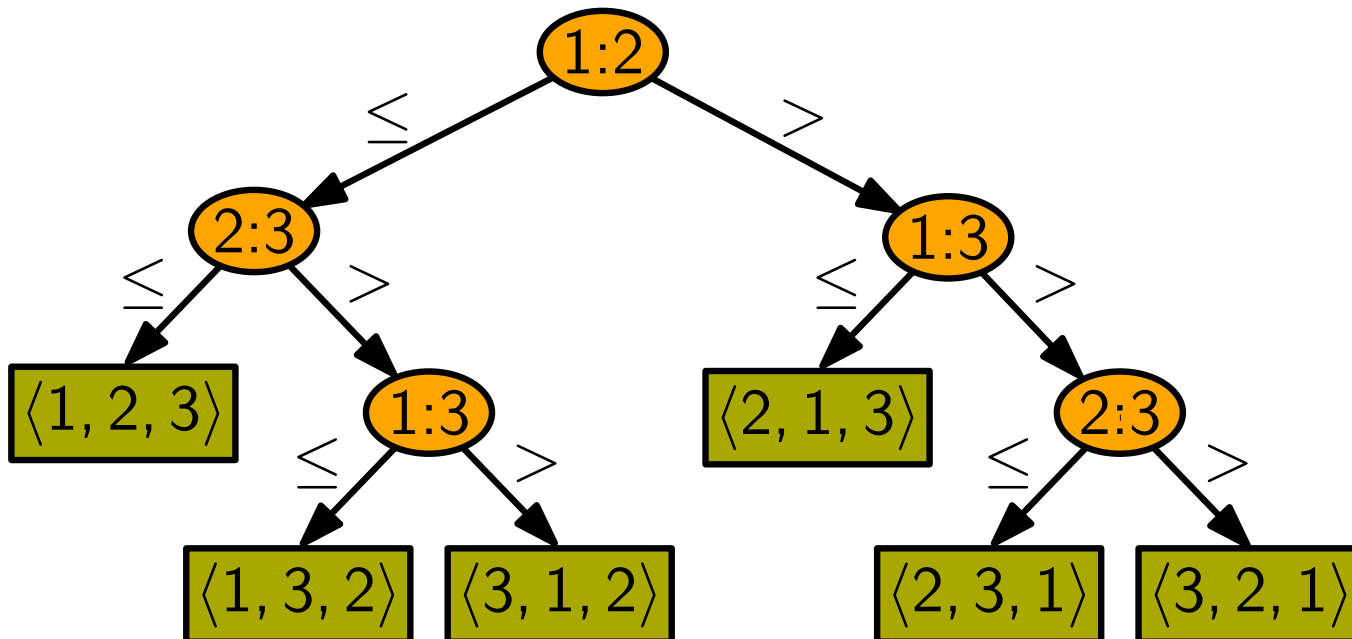
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter* Sortieralg. charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

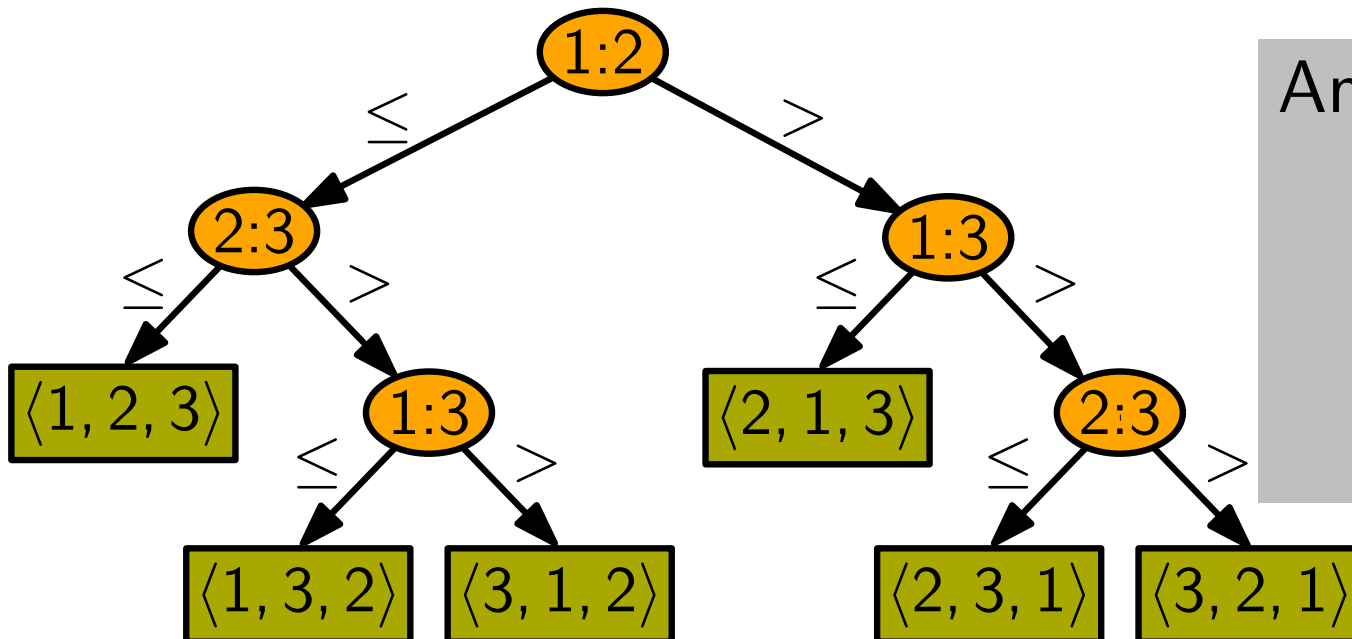
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im besten Fall

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

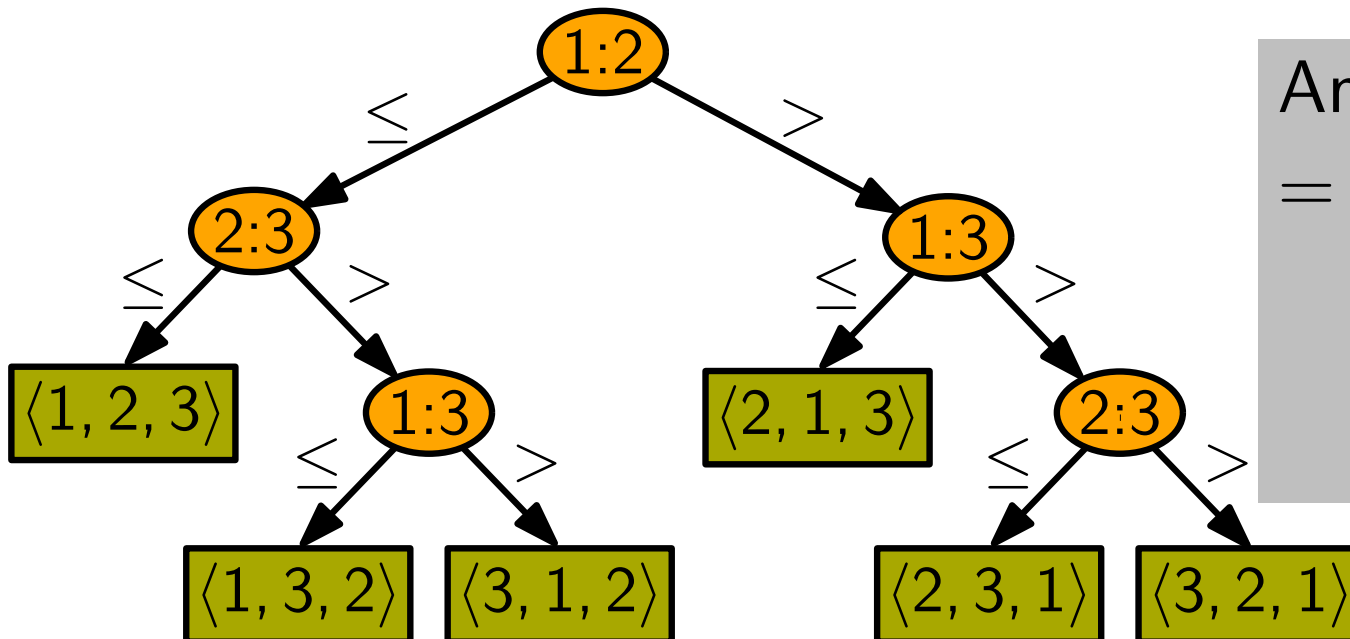
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im besten Fall
 = Länge eines kürzesten
 Wurzel-Blatt-Pfads

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

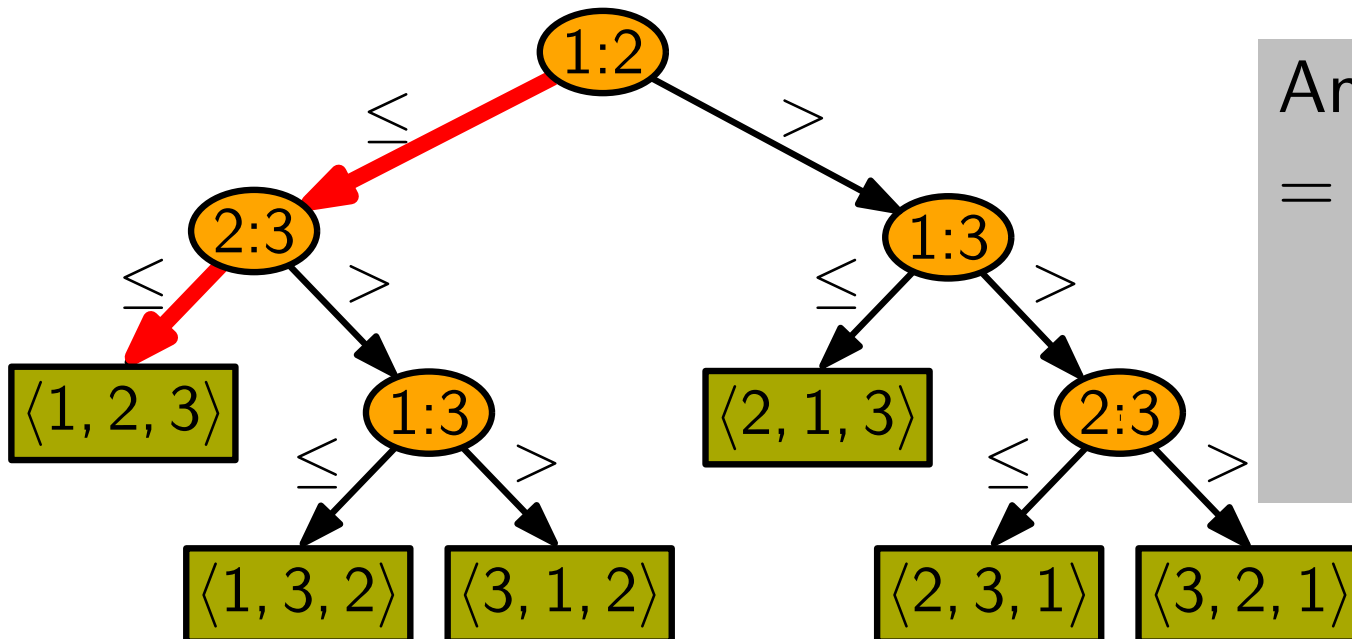
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im besten Fall
 = Länge eines kürzesten
 Wurzel-Blatt-Pfads

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

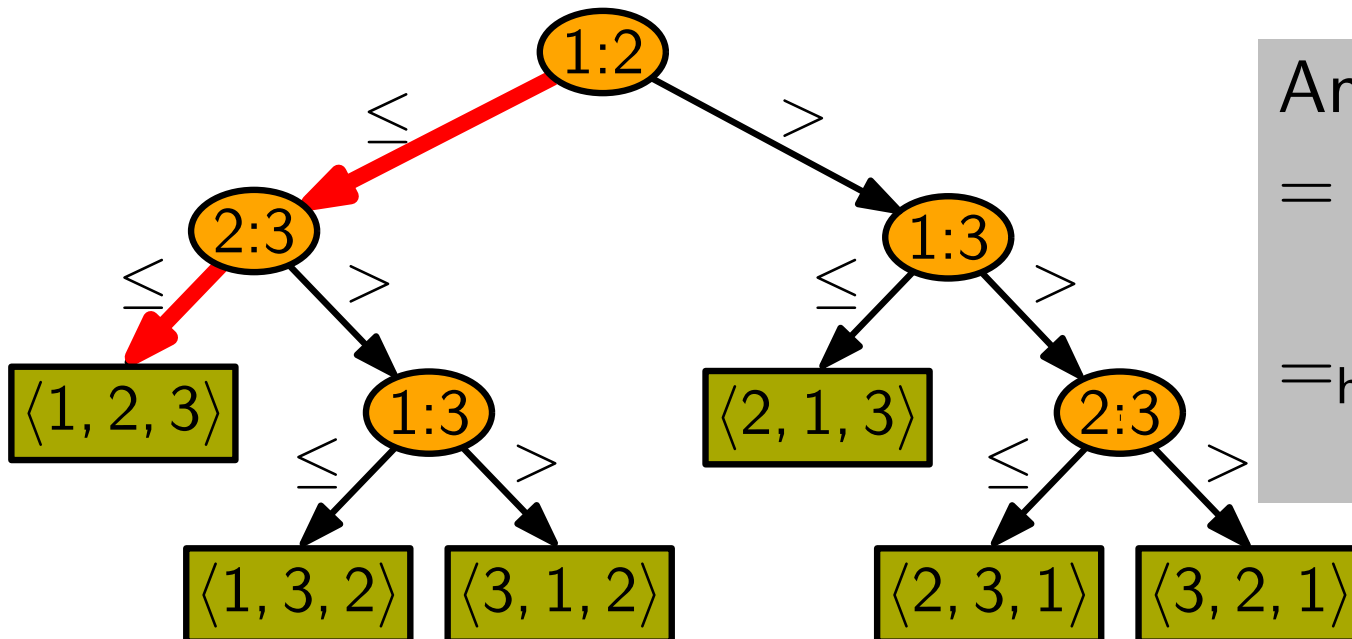
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}}$ Ausgabe: sortierte Eingabe
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im besten Fall
 = Länge eines kürzesten
 Wurzel-Blatt-Pfads
 = hier 2

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

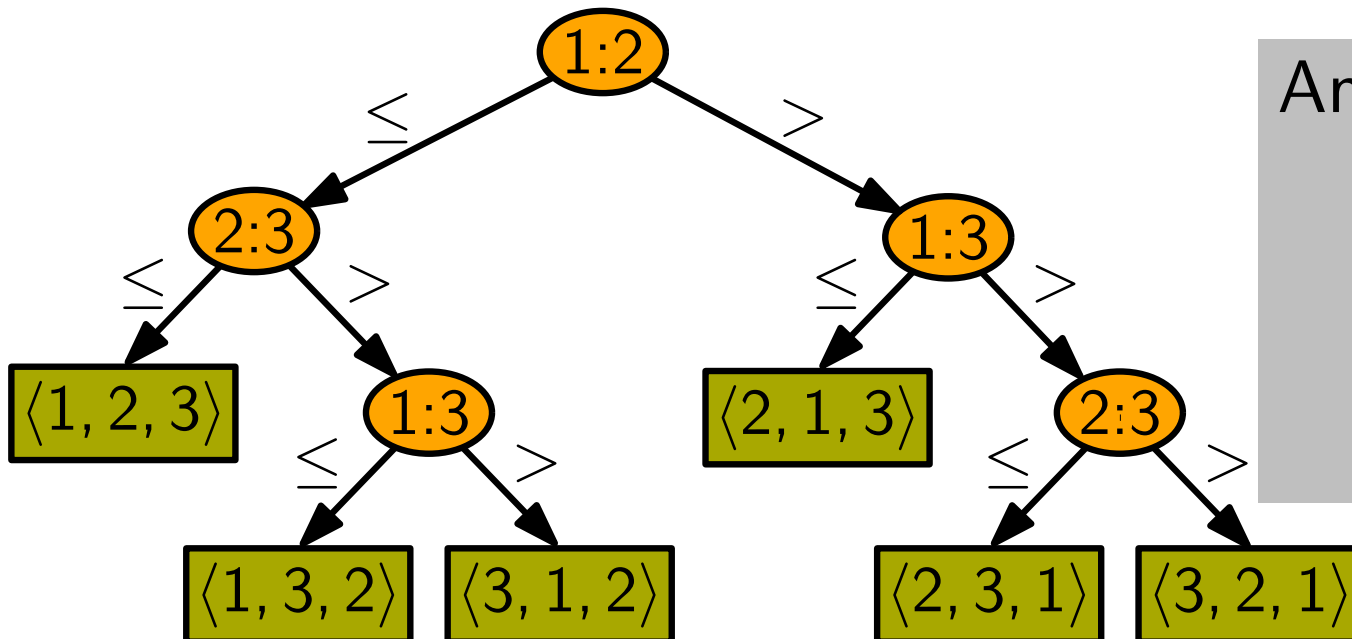
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im *worst case*

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

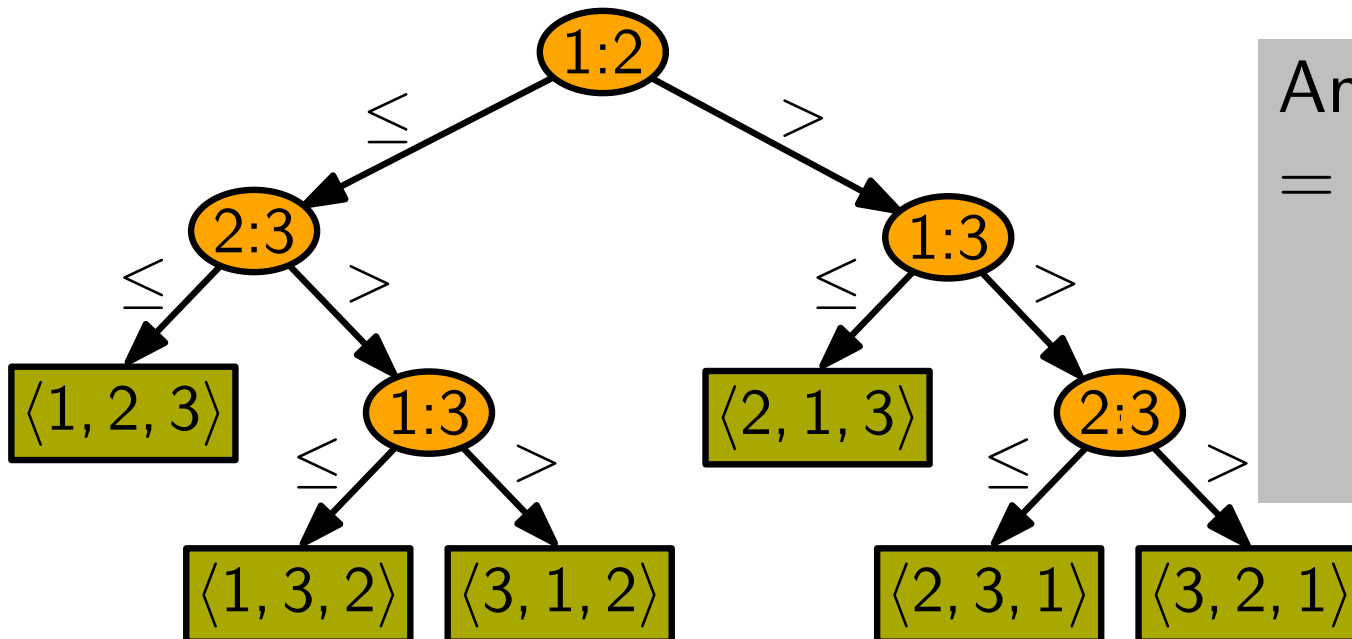
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



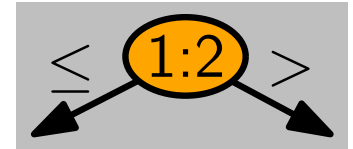
Anz. Vgl. im *worst case*
 = Länge eines *längsten*
 Wurzel-Blatt-Pfads

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

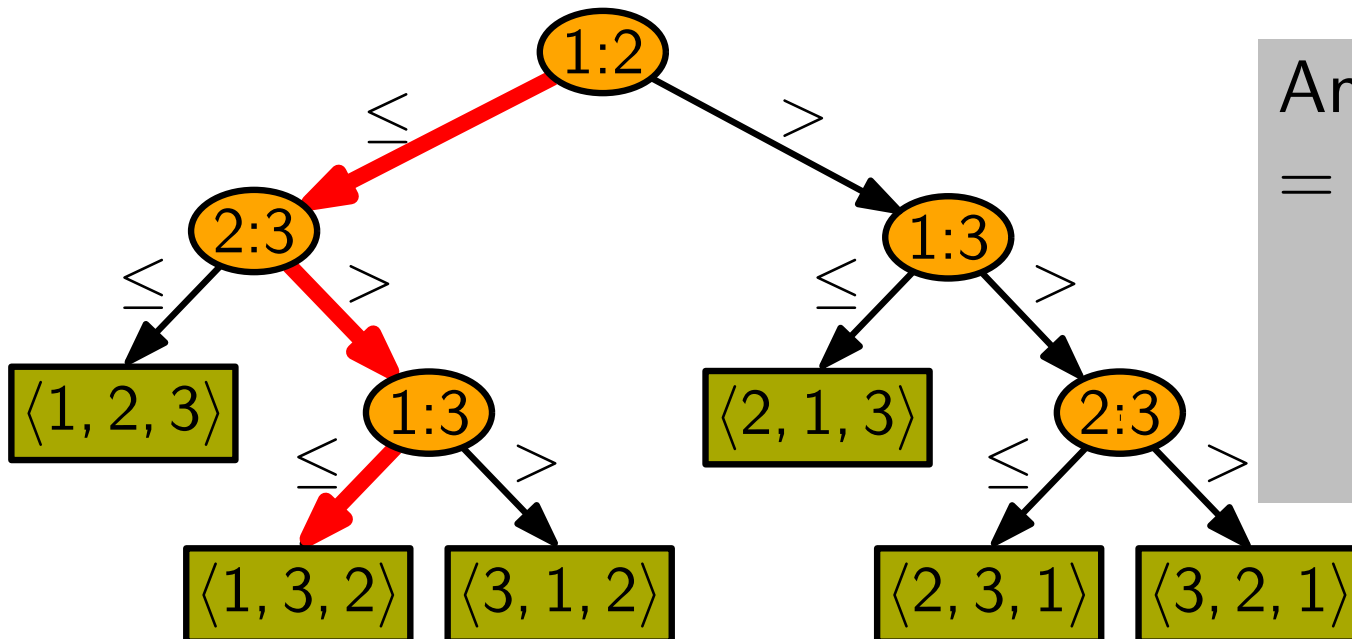
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im *worst case*
 = Länge eines *längsten*
 Wurzel-Blatt-Pfads

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

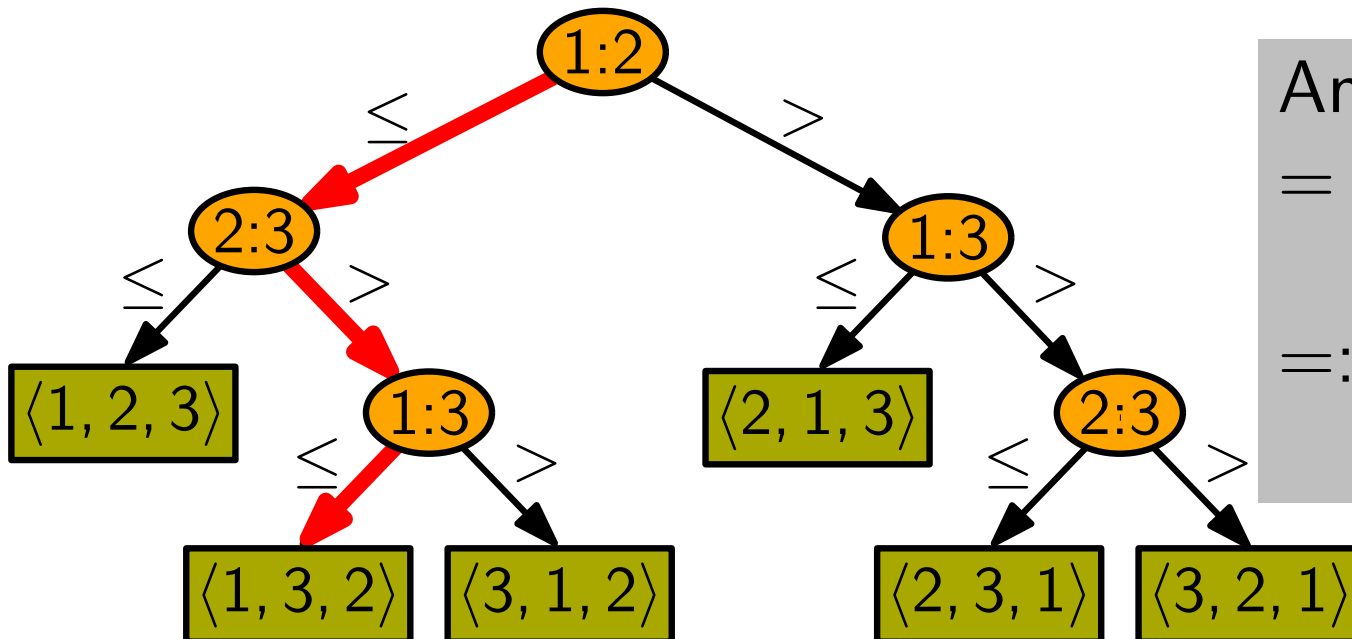
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im *worst case*
 = Länge eines *längsten*
 Wurzel-Blatt-Pfads
 =: Höhe des Baums

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

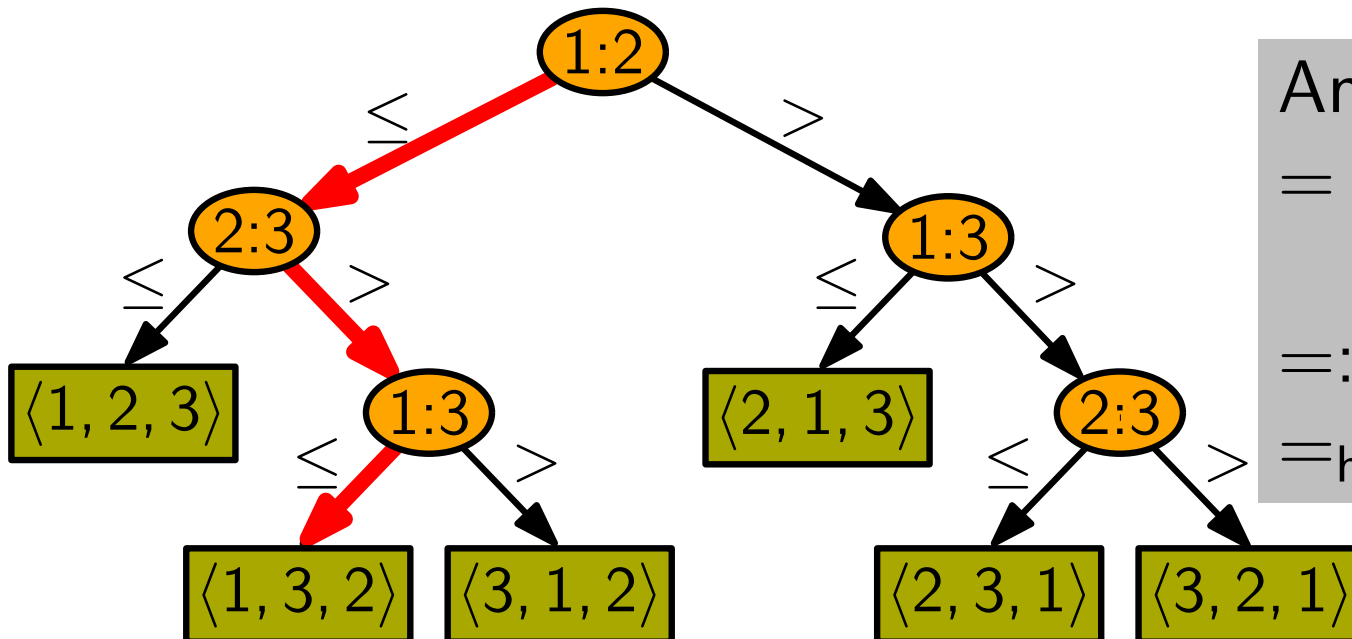
Sortieren durch Vergleichen

Eingabefolge $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ $\xrightarrow{\text{Sortieralg.}} \text{Ausgabe: sortierte Eingabe}$
Schlüsselvergleiche

Für festes n ist ein *vergleichsbasierter Sortieralg.* charakterisiert durch seinen *Entscheidungsbaum*:



- innere Knoten = Vergleiche (o.B.d.A. immer \leq , z.B. „ $a_1 \leq a_2$?“)
- Blätter = sortierte Permutationen der Eingabe
- Kanten = Ergebnisse (\leq / $>$) eines Vergleichs



Anz. Vgl. im *worst case*
 = Länge eines *längsten*
 Wurzel-Blatt-Pfads
 =: Höhe des Baums
 = hier 3

Entscheidungsbaum für InsertionSort und $n = 3$ [CLRS]

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um n *verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll,

welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um n *verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. =

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
Höhe Binärbaum mit B Blättern \geq

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll,

welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.

Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$

Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll,

welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.

Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$

Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

Höhe Entscheidungsbaum \geq

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll,

welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.

Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$

Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

Höhe Entscheidungsbaum $\geq \log_2 n!$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll,

welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.

Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$

Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll,

welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.

Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$

Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\begin{aligned} \text{Höhe Entscheidungsbaum} &\geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i \\ &\geq \int_1^n \log_2 x \, dx \end{aligned}$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\begin{aligned} \text{Höhe Entscheidungsbaum} &\geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i \\ &\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx \end{aligned}$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\begin{aligned} \text{Höhe Entscheidungsbaum} &\geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i \\ &\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n 1 \cdot \ln x \, dx \end{aligned}$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n 1 \cdot \ln x \, dx$$

partielle
Integration

=

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n 1 \cdot \ln x \, dx$$

partielle
Integration

=

$$\int u' v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n 1 \cdot \ln x \, dx$$

partielle
Integration

=

$$\int u'v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

partielle
Integration

=

$$\int u'v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

partielle
Integration

=

$$\int u'v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

$$= \frac{1}{\ln 2} \left(x \cdot \square - \int_1^n x \cdot \square \, dx \right)$$

partielle
Integration

$$\int u'v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

$$= \frac{1}{\ln 2} \left(\mathbf{x} \cdot \ln x \Big|_1^n - \int_1^n \mathbf{x} \cdot \mathbf{\quad} \, dx \right)$$

partielle
Integration

$$\int u' v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um n *verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

$$= \frac{1}{\ln 2} \left(\mathbf{x} \cdot \ln x \Big|_1^n - \int_1^n \mathbf{x} \cdot \frac{1}{x} \, dx \right)$$

partielle
Integration

$$\int u' v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

$$= \frac{1}{\ln 2} \left(\mathbf{x} \cdot \ln x \Big|_1^n - \int_1^n \mathbf{x} \cdot \frac{1}{x} \, dx \right) = \frac{(n \ln n - 0) - (n-1)}{\ln 2}$$

partielle
Integration

$$\int u' v = uv - \int uv'$$

Eine untere Schranke

Frage: Wie viele Vergleiche braucht *jeder* vergleichsbasierte Sortieralg. im worst case um *n verschiedene* Objekte zu sortieren?

M.a.W. Gegeben

- ein beliebiger vergleichsbasierter Sortieralgorithmus,
- eine Zahl n von verschiedenen Objekten, die man sortieren soll, welche Höhe hat der Entscheidungsbaum *mindestens*?

Beob.: Die Höhe ist eine Funktion der Blätteranzahl.
 Anz. Blätter = Anz. Permutationen von n Obj. = $n!$
 Höhe Binärbaum mit B Blättern $\geq \lceil \log_2 B \rceil$

$$\text{Höhe Entscheidungsbaum} \geq \log_2 n! = \sum_{i=1}^n \log_2 i$$

$$\geq \int_1^n \log_2 x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \ln x \, dx = \frac{1}{\ln 2} \int_1^n \mathbf{1} \cdot \ln x \, dx$$

$$= \frac{1}{\ln 2} \left(\mathbf{x} \cdot \ln x \Big|_1^n - \int_1^n \mathbf{x} \cdot \frac{1}{x} \, dx \right) = \frac{(n \ln n - 0) - (n-1)}{\ln 2}$$

$$\in \Omega(n \log n)$$

partielle
Integration

$$\int u'v = uv - \int uv'$$

Resultat

Satz. Jeder vergleichsbasierte Sortieralg. benötigt im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche um n Objekte zu sortieren.

Resultat

Satz. Jeder vergleichsbasierte Sortieralg. benötigt im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche um n Objekte zu sortieren.

Korollar. MergeSort und HeapSort sind *asymptotisch worst-case optimale* vergleichsbasierte Sortieralg.

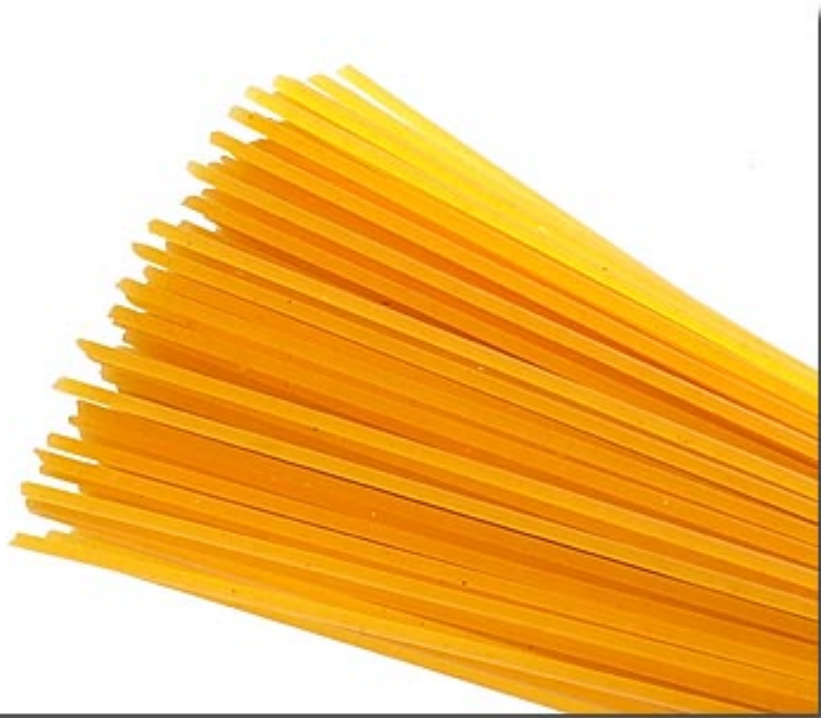
Wir durchbrechen die Schallmauer



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- SpaghettiSort



aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

(● SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)



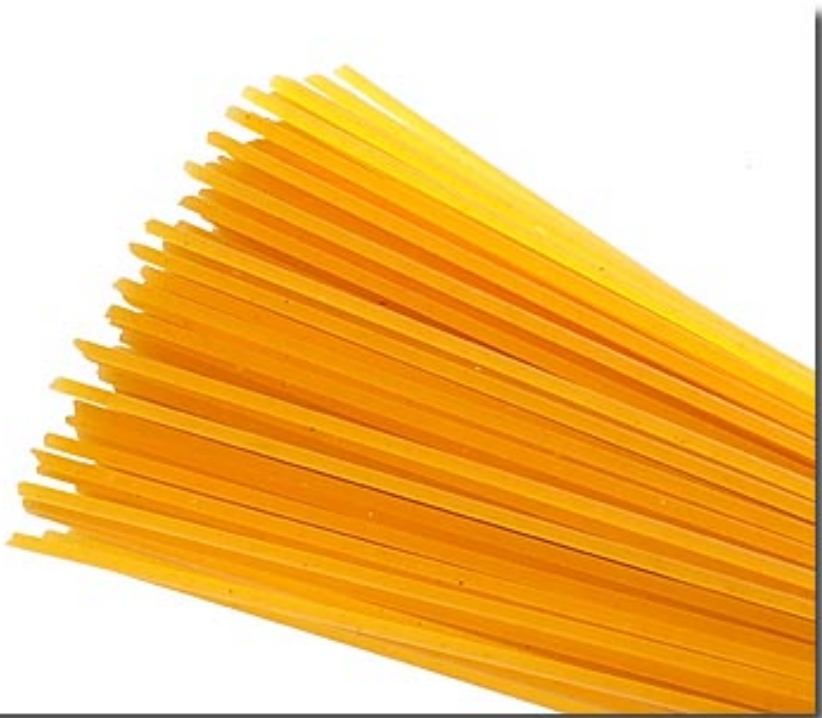
aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- (• SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)
- CountingSort



aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$



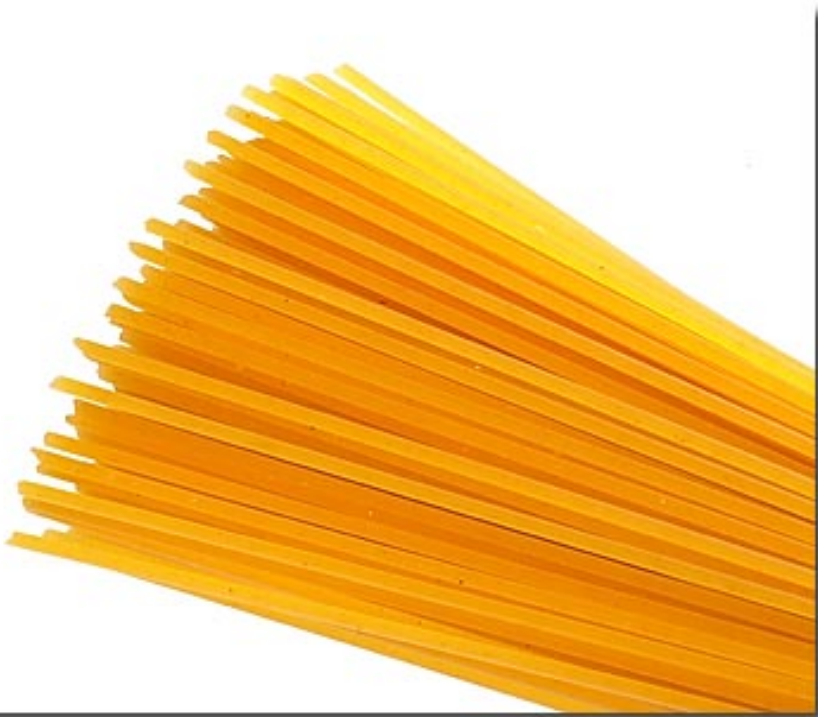
aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- (• SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$
- RadixSort



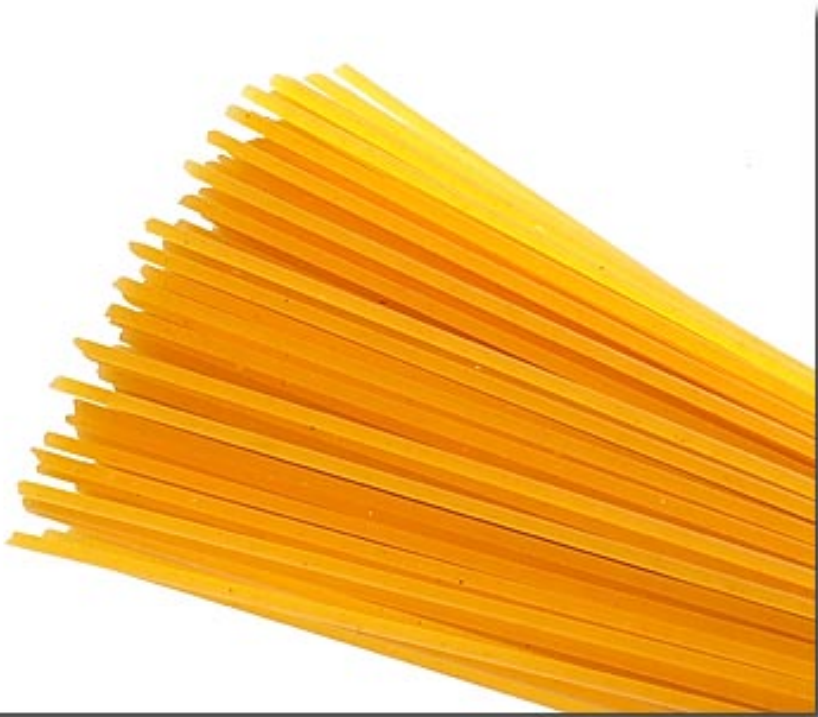
aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen



aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- (• SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen
- BucketSort



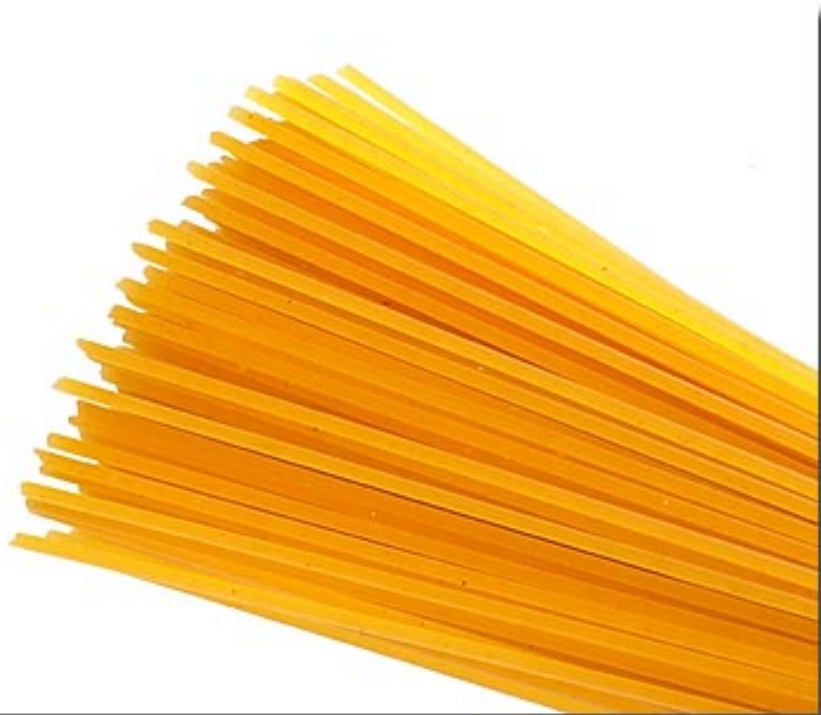
aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

Wir durchbrechen die Schallmauer

- (● SpaghettiSort sortiert Spaghetti nach Länge ;-)
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen
- BucketSort sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen



aus: www.marions-kochbuch.de



By Eduard Marmet, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5810282>

CountingSort

Idee: 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	3	0	4	1	3	4	1	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C					

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	0	0	0	0	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	0	0	0	0	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	0	0	0	0	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	0	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	0	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	0	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	0	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	0	0	1	0

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	0	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	0	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	0	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	0	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	1	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	1	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	1	0	2	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	1	0	2	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	2	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	2	1

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	1	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	2

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C					
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C					
	0	1	2	3	4

↓

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C	1				
	0	1	2	3	4

↓

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C	1				

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

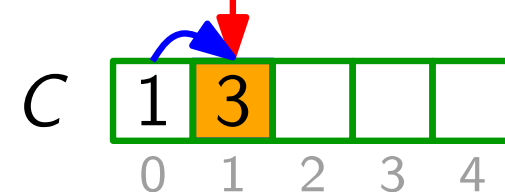
Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C	1	3			
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C	1	3	3		
	0	1	2	3	4

Note: A red arrow points from the '0' in the second row to the '3' in the third row. A blue arrow points from the '3' in the second row to the '3' in the third row.

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C	1	3	3		
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4		
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

	0	1	2	3	4
C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

0	1	2	3	4
1	3	3	5	8
0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	8
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

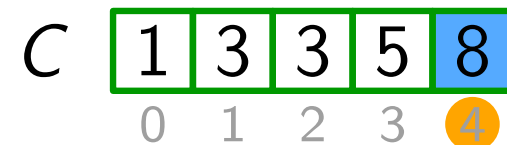
Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

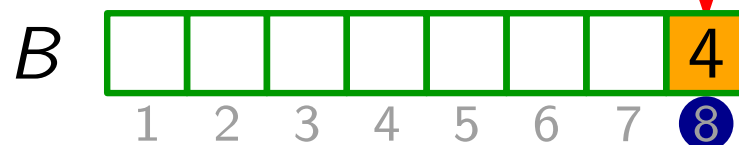
- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

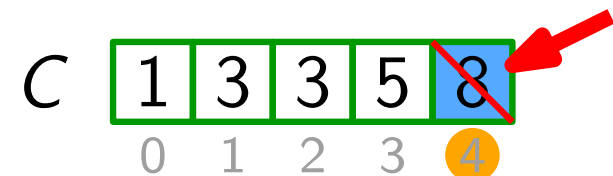
Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

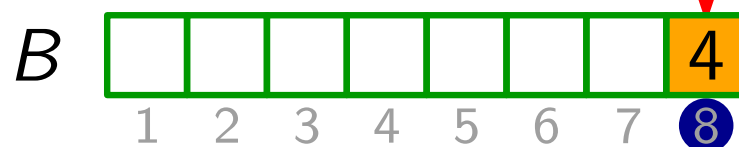
Bsp: 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	3	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B								4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

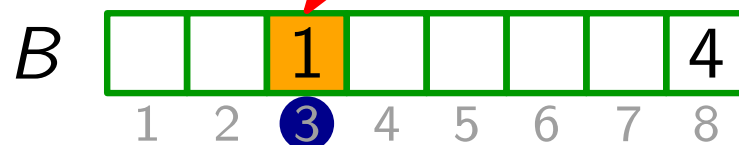
- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

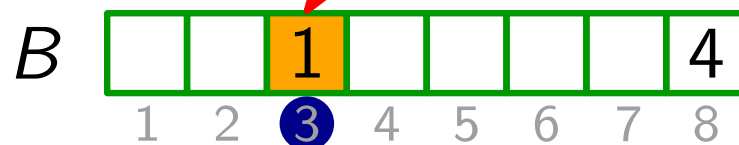
- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

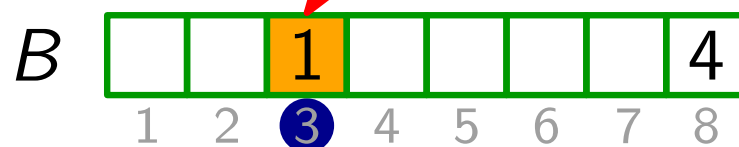
- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld	C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld	k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1					4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1					4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

A	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td><td style="padding: 0 5px;">5</td><td style="padding: 0 5px;">6</td><td style="padding: 0 5px;">7</td><td style="padding: 0 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">0</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="background-color: #FFD700; border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">0</td><td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">0</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	1	2	0	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8																							
3	0	4	1	3	4	1	4																							
0	1	2	3	4																										
1	2	0	2	3																										

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">5</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">7</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 5px;">0</td><td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td> </tr> </table>	1	2	3	5	7	0	1	2	3	4
1	2	3	5	7							
0	1	2	3	4							

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td><td style="padding: 0 5px;">5</td><td style="padding: 0 5px;">6</td><td style="padding: 0 5px;">7</td><td style="padding: 0 5px;">8</td> </tr> </table>			1					4	1	2	3	4	5	6	7	8
		1					4										
1	2	3	4	5	6	7	8										

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

A	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	C	0	1	2	3	4
	3	0	4	1	3	4	1	4			1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	7
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1				4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

A	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td><td style="padding: 0 5px;">5</td><td style="padding: 0 5px;">6</td><td style="padding: 0 5px;">7</td><td style="padding: 0 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">0</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="background-color: #FFD700; border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">0</td><td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">0</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	1	2	0	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8																							
3	0	4	1	3	4	1	4																							
0	1	2	3	4																										
1	2	0	2	3																										

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">0</td><td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">5</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; text-decoration: line-through;">7</td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	1	2	3	5	7
0	1	2	3	4							
1	2	3	5	7							

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"> </td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"> </td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"> </td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"> </td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"> </td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td><td style="padding: 0 5px;">5</td><td style="padding: 0 5px;">6</td><td style="padding: 0 5px;">7</td><td style="padding: 0 5px;">8</td> </tr> </table>			1				4	4	1	2	3	4	5	6	7	8
		1				4	4										
1	2	3	4	5	6	7	8										

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1				4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1				4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

A	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	C	0	1	2	3	4
	3	0	4	1	3	4	1	4			1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1			4	4	
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	5	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

A	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td><td style="padding: 0 5px;">5</td><td style="padding: 0 5px;">6</td><td style="padding: 0 5px;">7</td><td style="padding: 0 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">0</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="background-color: orange; border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">0</td><td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">0</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	1	2	0	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8																							
3	0	4	1	3	4	1	4																							
0	1	2	3	4																										
1	2	0	2	3																										

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">0</td><td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">2</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; border-left: 2px solid red;">5</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">6</td> </tr> </table>	0	1	2	3	4	1	2	3	5	6
0	1	2	3	4							
1	2	3	5	6							

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 5px;">1</td><td style="padding: 0 5px;">2</td><td style="padding: 0 5px;">3</td><td style="padding: 0 5px;">4</td><td style="padding: 0 5px;">5</td><td style="padding: 0 5px;">6</td><td style="padding: 0 5px;">7</td><td style="padding: 0 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">1</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">3</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;"></td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td><td style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px;">4</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8			1		3		4	4
1	2	3	4	5	6	7	8										
		1		3		4	4										

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B			1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	2	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3		4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	6
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B		1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	1	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	0	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	0	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	0	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1		3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	
A	3	0	4	1	3	4	1	4	\Rightarrow	C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	0	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1	3	3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow	0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	0	1	3	4	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1	3	3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x

	1	2	3	4	5	6	7	8	\Rightarrow		0	1	2	3	4
A	3	0	4	1	3	4	1	4		C	1	2	0	2	3

- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$

C	0	1	3	3	5
	0	1	2	3	4

- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

B	0	1	1	3	3	4	4	4
	1	2	3	4	5	6	7	8

CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

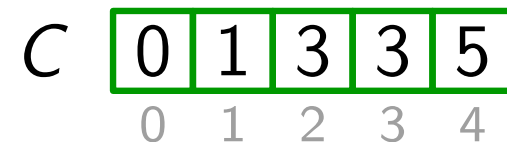
Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

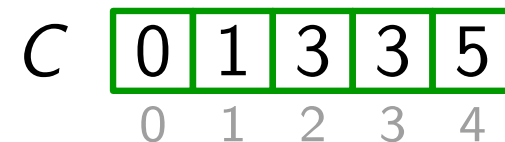
Variable:

A	Eingabefeld		C	Rechenfeld
B	Ausgabefeld		k	begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort

- Idee:**
- 1) für jedes x in der Eingabe: zähle die Anzahl der Zahlen $\leq x$
 - 2) benütze diese Information um x im Ausgabefeld direkt an die richtige Position zu schreiben

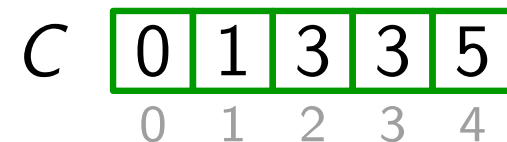
Variable:

A Eingabefeld	C Rechenfeld
B Ausgabefeld	k begrenzt das <i>Universum</i> : $\{0, \dots, k\}$

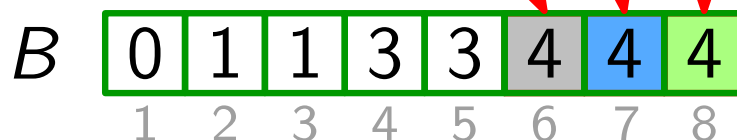
- Bsp:** 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x



- 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$



- 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B



CountingSort ist *stabil!*

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] A , int[] B , int k)

Eingabefeld
Ausgabefeld
beschränkt Universum $\{0, \dots, k\}$

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] *A*, int[] *B*, int *k*)

sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld

for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

┌ // (2)

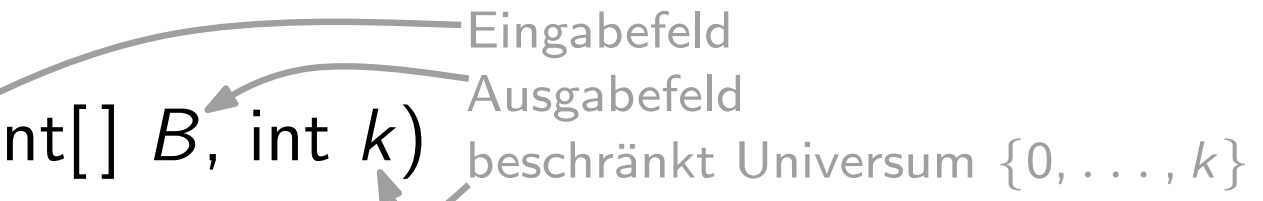
Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der obige Idee umsetzt!

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] *A*, int[] *B*, int *k*)



sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld

for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** [redacted] // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

[[redacted] // (2)

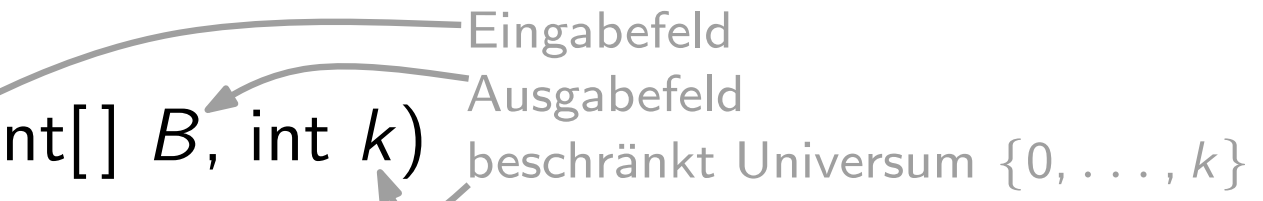
Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der obige Idee umsetzt!

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] *A*, int[] *B*, int *k*)



sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld


for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** $C[i] = C[i] + C[i - 1]$ // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

 // (2)

Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der obige Idee umsetzt!

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] *A*, int[] *B*, int *k*)

sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld

for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** $C[i] = C[i] + C[i - 1]$ // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

$B[C[A[j]]] = A[j]$ // (2)

Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der obige Idee umsetzt!

CountingSort

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] A , int[] B , int k)

Eingabefeld
Ausgabefeld
beschränkt Universum $\{0, \dots, k\}$

sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld

for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** $C[i] = C[i] + C[i - 1]$ // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

$B[C[A[j]]] = A[j]$
 $C[A[j]] = C[A[j]] - 1$ // (2)

Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der obige Idee umsetzt!

CountingSort

Laufzeit:
 $O(\quad)$

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] A , int[] B , int k)

Eingabefeld
Ausgabefeld
beschränkt Universum $\{0, \dots, k\}$

sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld

for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** $C[i] = C[i] + C[i - 1]$ // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

$\left[\begin{array}{l} B[C[A[j]]] = A[j] \\ C[A[j]] = C[A[j]] - 1 \end{array} \right.$ // (2)

CountingSort

Laufzeit:
 $O(\blacksquare + \blacksquare)$

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] *A*, int[] *B*, int *k*)
sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld
for $j = 1$ **to** *A.length* **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)
// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A
for $i = 1$ **to** k **do** $C[i] = C[i] + C[i - 1]$ // (1b)
// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A
for $j =$ *A.length* **downto** 1 **do**
 $B[C[A[j]]] = A[j]$
 $C[A[j]] = C[A[j]] - 1$ // (2)

Eingabefeld
Ausgabefeld
beschränkt Universum $\{0, \dots, k\}$

CountingSort

Laufzeit:
 $O(n + k)$

- Plan:**
- 1a) Für jedes x in A , zähle die Anz. der Zahlen gleich x
 - 1b) Für jedes x in A , berechne die Anz. der Zahlen $\leq x$
 - 2) Schreibe jedes x in A direkt an die richtige Position in B

CountingSort(int[] A , int[] B , int k)

sei $C[0..k] = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ein neues Feld

for $j = 1$ **to** $A.length$ **do** $C[A[j]] = C[A[j]] + 1$ // (1a)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. gleich i in A

for $i = 1$ **to** k **do** $C[i] = C[i] + C[i - 1]$ // (1b)

// $C[i]$ enthält jetzt die Anz. der Elem. $\leq i$ in A

for $j = A.length$ **downto** 1 **do**

- $B[C[A[j]]] = A[j]$
- $C[A[j]] = C[A[j]] - 1$ // (2)

Zusammenfassung

- Jedes vergleichsbasierte Sortierverfahren braucht im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche.
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$ (*stabil!*)
Laufzeit für n Zahlen: $O(n + k)$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen
- BucketSort sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen

Zusammenfassung

- Jedes vergleichsbasierte Sortierverfahren braucht im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche.
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$ (*stabil!*)
Laufzeit für n Zahlen: $O(n + k)$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen
- BucketSort sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen

RadixSort

Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3\times$ sortieren: je $1\times$ nach Jahr, Monat, Tag.

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3\times$ sortieren: je $1\times$ nach Jahr, Monat, Tag.
Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3\times$ sortieren: je $1\times$ nach Jahr, Monat, Tag.
Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort(A, s)

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3\times$ sortieren: je $1\times$ nach Jahr, Monat, Tag.

Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort(A, s)

Anz. Stellen (hier: 3)



RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3 \times$ sortieren: je $1 \times$ nach Jahr, Monat, Tag.

Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort(A, s) Anz. Stellen (hier: 3)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3 \times$ sortieren: je $1 \times$ nach Jahr, Monat, Tag.

Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort(A, s) Anz. Stellen (hier: 3)

for $i = 1$ **to** s **do** [1 = Index der *niederwertigsten (!)* Stelle]
 └ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3 \times$ sortieren: je $1 \times$ nach Jahr, Monat, Tag.

Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort(A, s) Anz. Stellen (hier: 3)

for $i = 1$ **to** s **do** [1 = Index der *niederwertigsten (!)* Stelle]
 └ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

└ z.B. mit CountingSort

RadixSort

(Jahr, Monat, Tag)



Frage: Gegeben Liste von Menschen mit deren Geburtstagen.
Wie würden Sie die Liste nach Alter sortieren?

Drei (?) Lösungen:

- Geburtstage in Anz. Tage seit 1.1.1970 umrechnen, dann vergleichsbasiertes Sortierverfahren verwenden.
- Spezielle Vergleichsroutine schreiben und in vergleichsbasiertes Sortierverfahren einbauen.
- Liste $3\times$ sortieren: je $1\times$ nach Jahr, Monat, Tag.

Aber in welcher Reihenfolge??

RadixSort(A, s)

Anz. Stellen (hier: 3)

Laufzeit?

for $i = 1$ **to** s **do** [1 = Index der *niederwertigsten (!)* Stelle]
 └ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

z.B. mit CountingSort

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, \quad | \quad | \quad | \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, \quad | \quad | \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, \quad | \quad | \quad | \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, \quad | \quad | \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, \quad | \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, \quad | \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, \quad | \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, \quad | \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.


 $A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$



RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.


 $A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

 $A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, \quad \quad \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, 31, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, 31, \quad \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, 31, 37 \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, 31, 37 \rangle$

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

\perp sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Beispiel

Sortiere $A = \langle 25, 13, 31, 23, 11, 37, 15 \rangle$:

Gemäß RadixSort erst nach Einern, dann (stabil) nach Zehnern.

$A_1 = \langle 31, 11, 13, 23, 25, 15, 37 \rangle$

$A_2 = \langle 11, 13, 15, 23, 25, 31, 37 \rangle$ ✓

RadixSort(A, s)

for $i = 1$ **to** s **do**

└ sortiere A *stabil* nach der i -ten Stelle

Zusammenfassung

- Jedes vergleichsbasierte Sortierverfahren braucht im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche.
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$ (*stabil!*)
Laufzeit für n Zahlen: $O(n + k)$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen
Laufzeit für n Zahlen: $O(s \cdot (n + b))$
- BucketSort sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen

Zusammenfassung

- Jedes vergleichsbasierte Sortierverfahren braucht im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche.
- CountingSort sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$ (*stabil!*)
Laufzeit für n Zahlen: $O(n + k)$
- RadixSort sortiert s -stellige b -adische Zahlen
Laufzeit für n Zahlen: $O(s \cdot (n + b))$
- BucketSort sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen

BucketSort



(c) www.seafish.org

BucketSort

[CLRS]

A	
1	.78
2	.17
3	.39
4	.21
5	.72
6	.94
7	.26
8	.12
9	.23
10	.68



(c) www.seafish.org

BucketSort

[CLRS]

A	
1	.78
2	.17
3	.39
4	.21
5	.72
6	.94
7	.26
8	.12
9	.23
10	.68



(c) www.seafish.org

↑
Eingabefeld $A[1..n]$ enthält Zahlen,
zufällig und gleichverteilt aus $[0, 1)$ gezogen

BucketSort

[CLRS]

A	
1	.78
2	.17
3	.39
4	.21
5	.72
6	.94
7	.26
8	.12
9	.23
10	.68



(c) www.seafish.org

Eingabefeld $A[1..n]$ enthält Zahlen,
zufällig und gleichverteilt aus $[0, 1)$ gezogen

[Im Bsp. auf 2 Nach-
kommastellen gerundet!]

BucketSort

[CLRS]

	A	B
1	.78	
2	.17	
3	.39	
4	.21	
5	.72	
6	.94	
7	.26	
8	.12	
9	.23	
10	.68	



(c) www.seafish.org

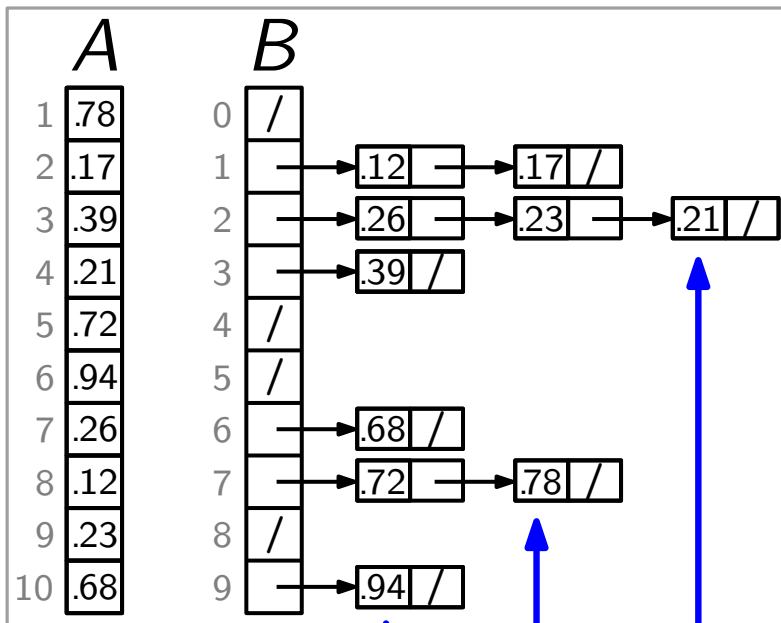
Hilfsfeld $B[0..n - 1]$;
jeder Eintrag entspricht einem „Eimer“ der Weite $1/n$

Eingabefeld $A[1..n]$ enthält Zahlen,
zufällig und gleichverteilt aus $[0, 1)$ gezogen

[Im Bsp. auf 2 Nach-
kommastellen gerundet!]

BucketSort

[CLRS]



(c) www.seafish.org

„Eimerinhalt“: Verkettete Liste von Elementen aus A.

Hilfsfeld $B[0..n - 1]$;

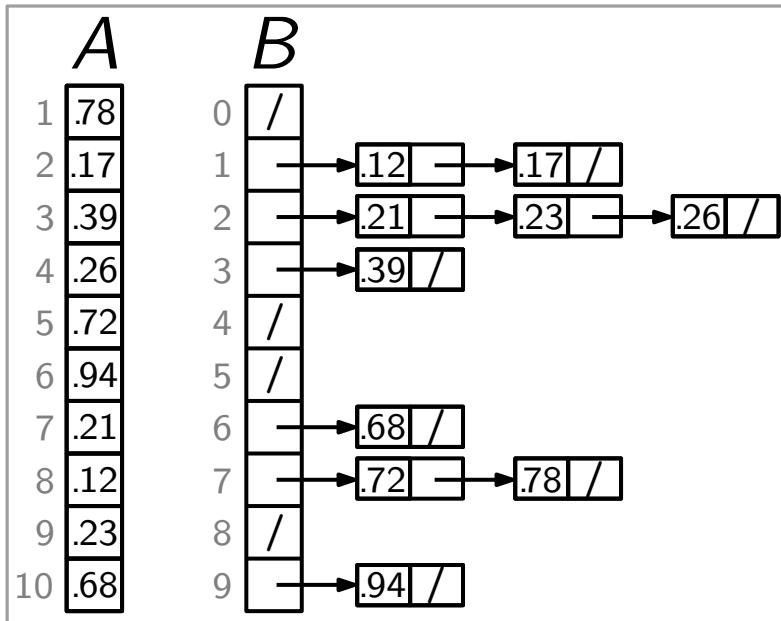
jeder Eintrag entspricht einem „Eimer“ der Weite $1/n$

Eingabefeld $A[1..n]$ enthält Zahlen,
zufällig und gleichverteilt aus $[0, 1)$ gezogen

[Im Bsp. auf 2 Nach-
kommastellen gerundet!]

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\text{ }]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

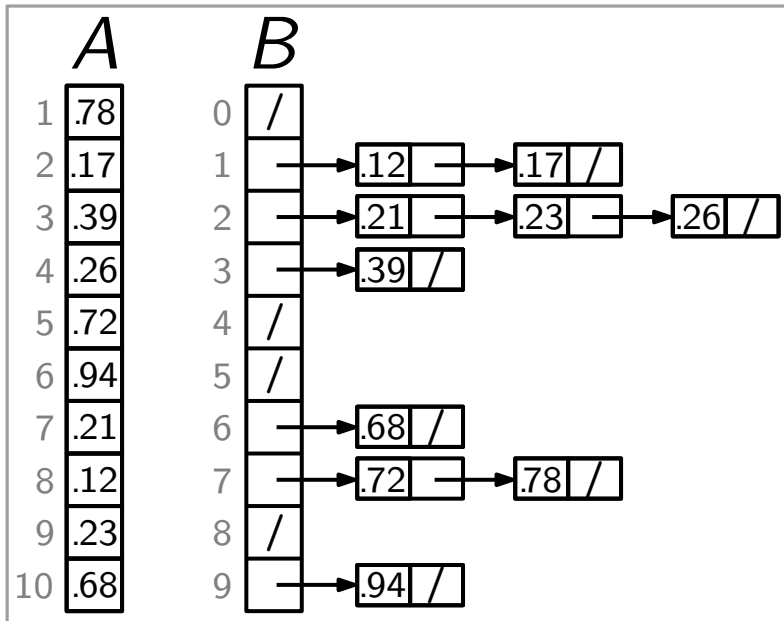
└ sortiere Liste $B[i]$

Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der BucketSort umsetzt!

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

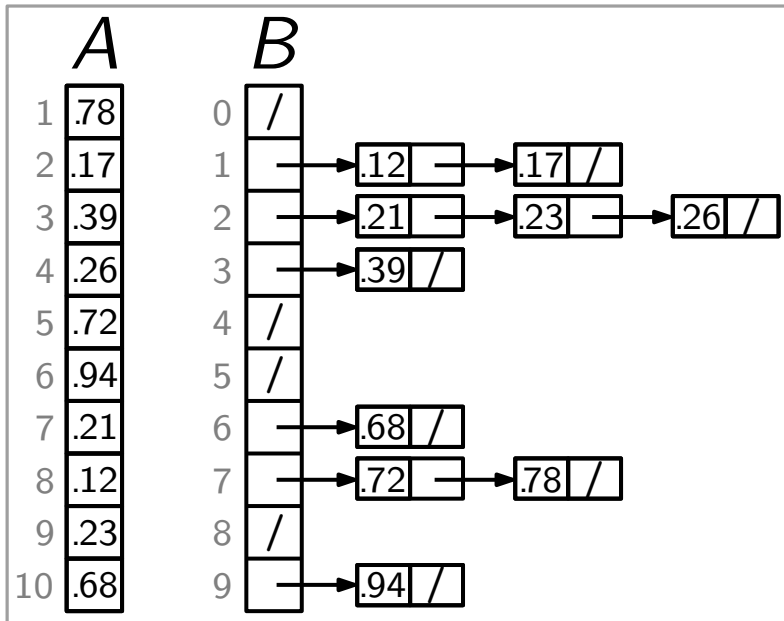
 sortiere Liste $B[i]$

Aufgabe:

Fülle die Felder mit Code, der BucketSort umsetzt!

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

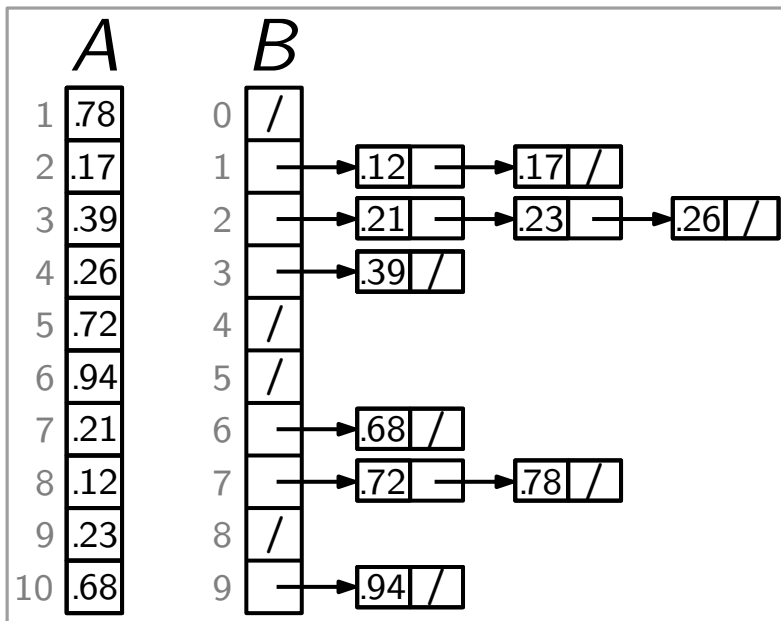
└ sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do** ↓

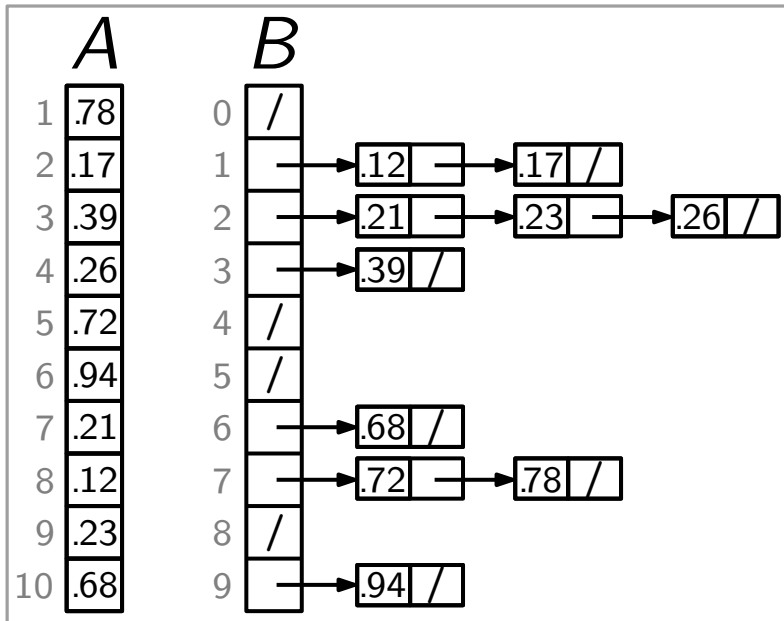
└ sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

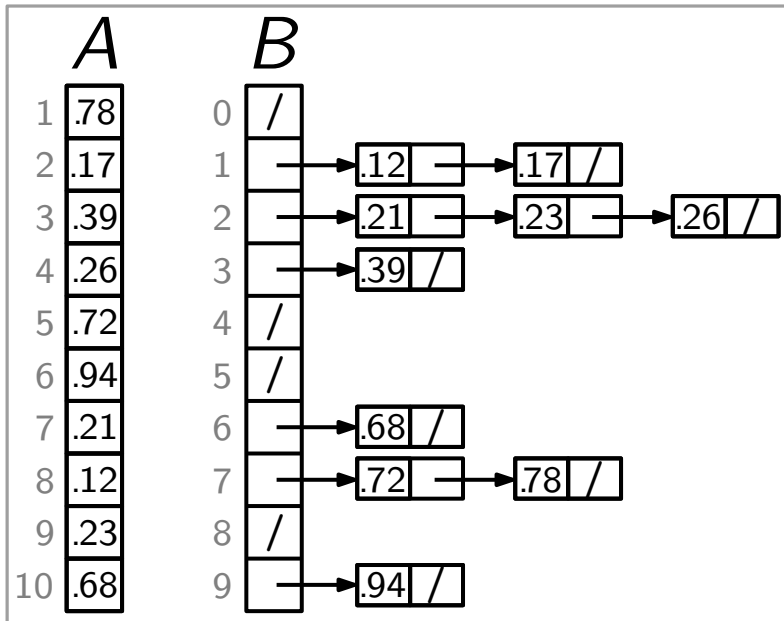
└ sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

└ sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

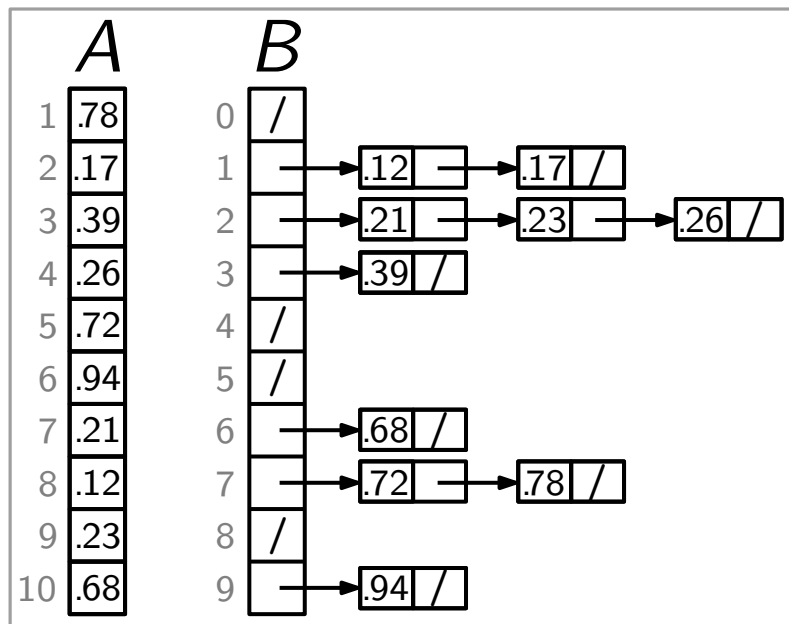
hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit? 2 Fälle:

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

└ sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

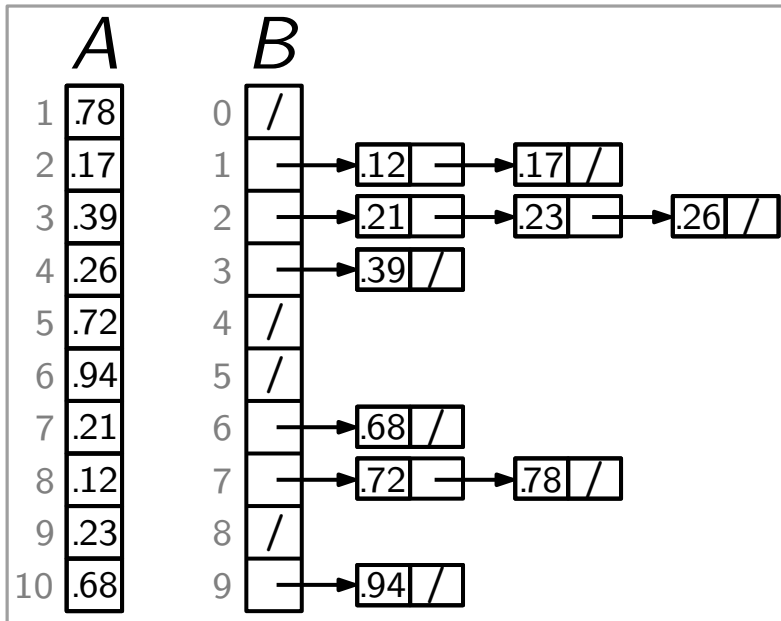
Korrektheit?

2 Fälle:

- $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
- $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

└ füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

└ sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit?

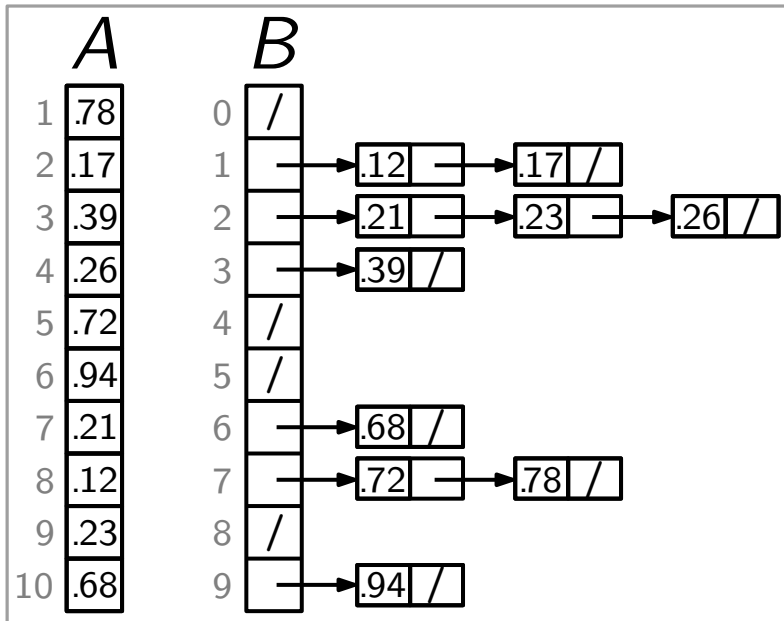
2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste

– $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit?

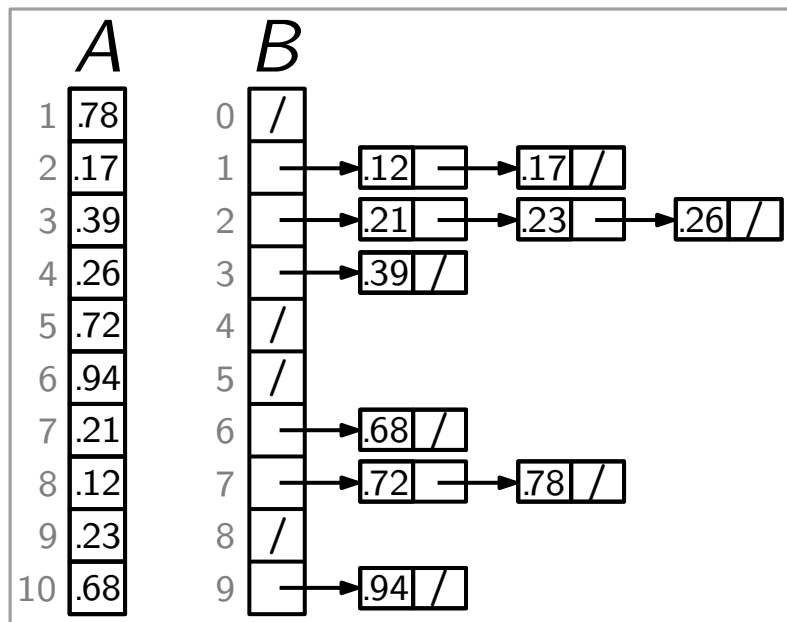
- 2 Fälle:
- $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
 - $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

- *erwartet*, hängt von den zufälligen Zahlen in A ab

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

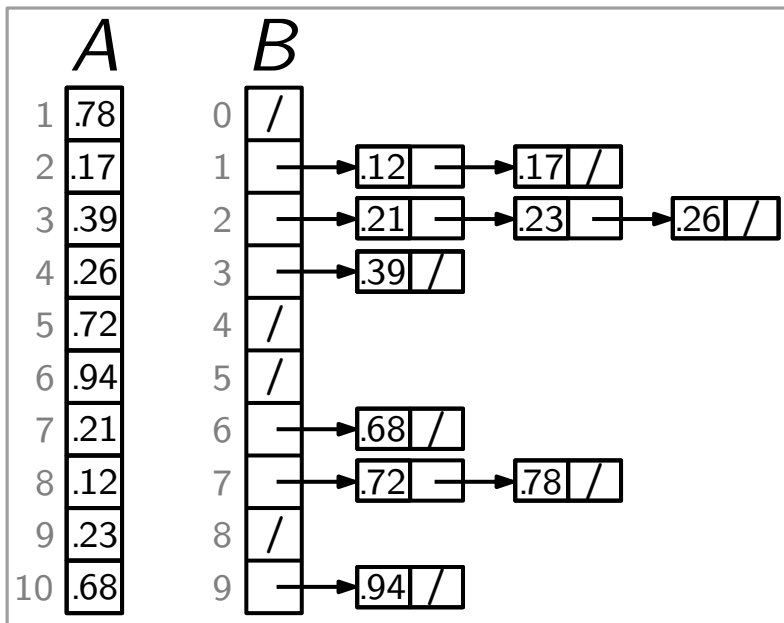
kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit? 2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
– $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit? – *erwartet*, hängt von den zufälligen Zahlen in A ab
– hängt vom Sortieralgorithmus in Zeile 6 ab;

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander
kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit?

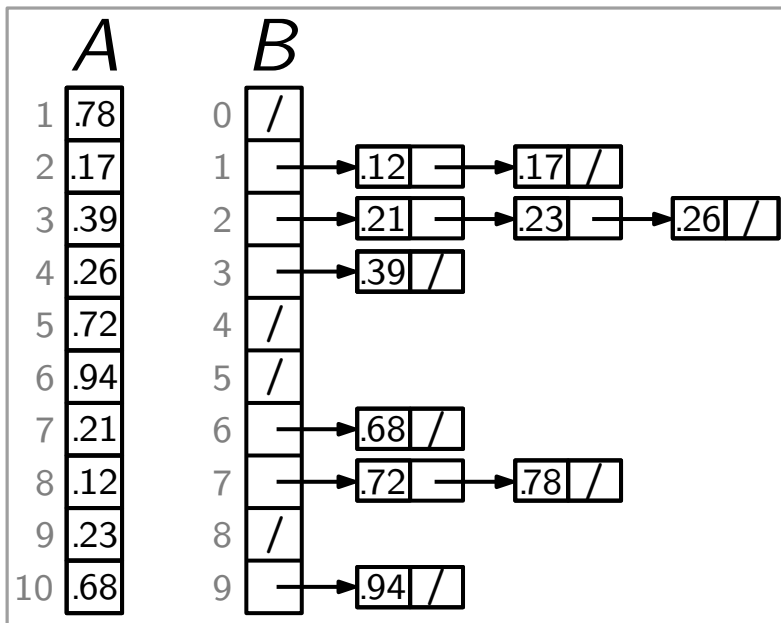
- 2 Fälle:
- $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
 - $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

- *erwartet*, hängt von den zufälligen Zahlen in A ab
- hängt vom Sortieralgorithmus in Zeile 6 ab;
wir nehmen InsertionSort:

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i] = \left[\frac{i}{n}, \frac{i+1}{n} \right) \cap A$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit?

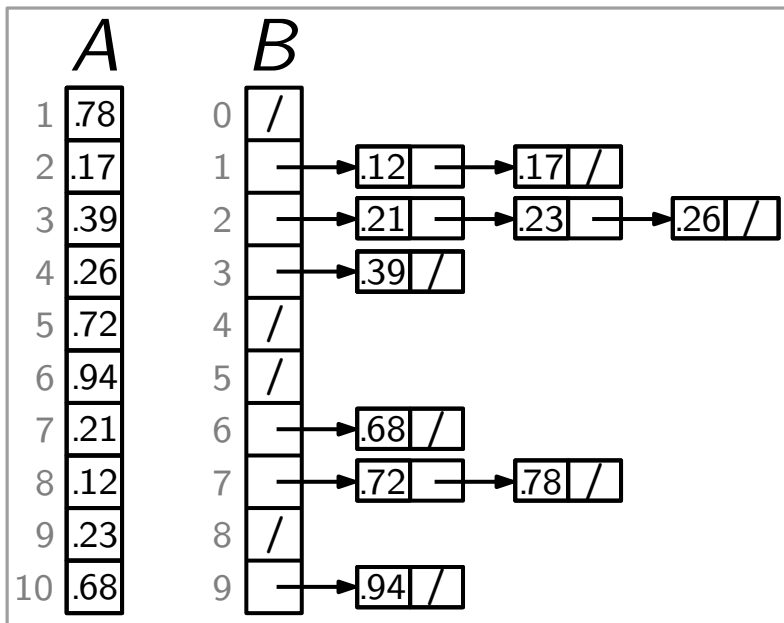
- 2 Fälle:
- $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
 - $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

- *erwartet*, hängt von den zufälligen Zahlen in A ab
- hängt vom Sortieralgorithmus in Zeile 6 ab;
wir nehmen InsertionSort: schnell auf kurzen Listen!

BucketSort

[CLRS]



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander

kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

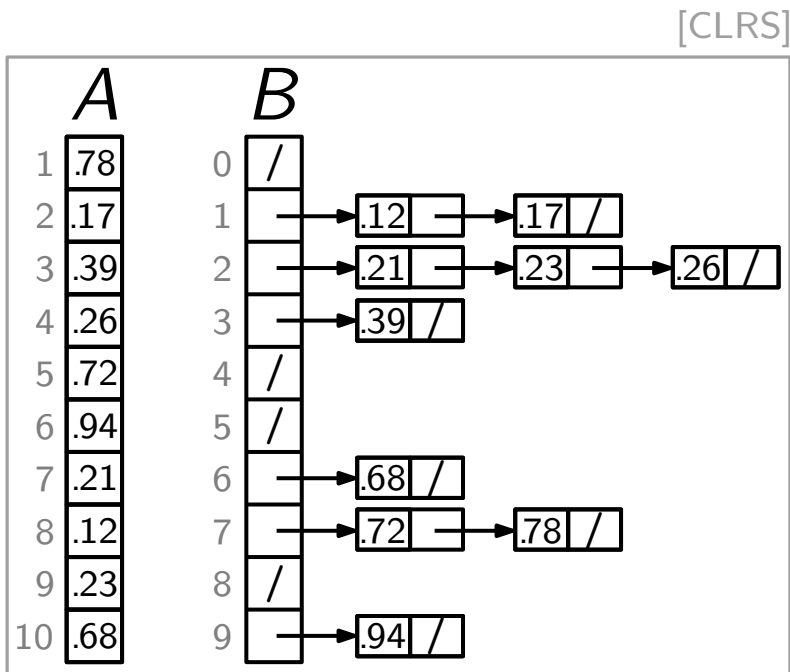
Korrektheit?

2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
 – $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

$T_{BS}(n) =$

BucketSort



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander
kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit?

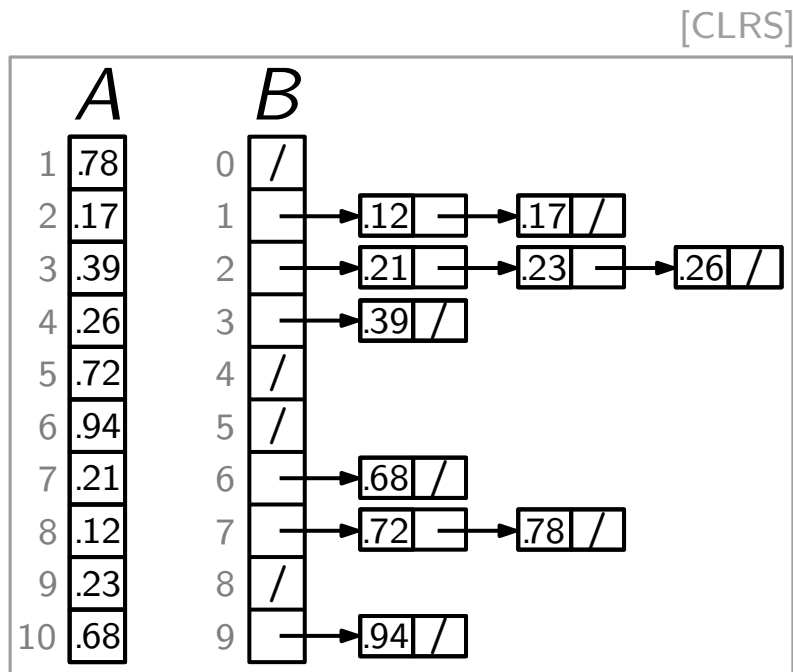
2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
– $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

$T_{BS}(n) =$



BucketSort



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander
kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

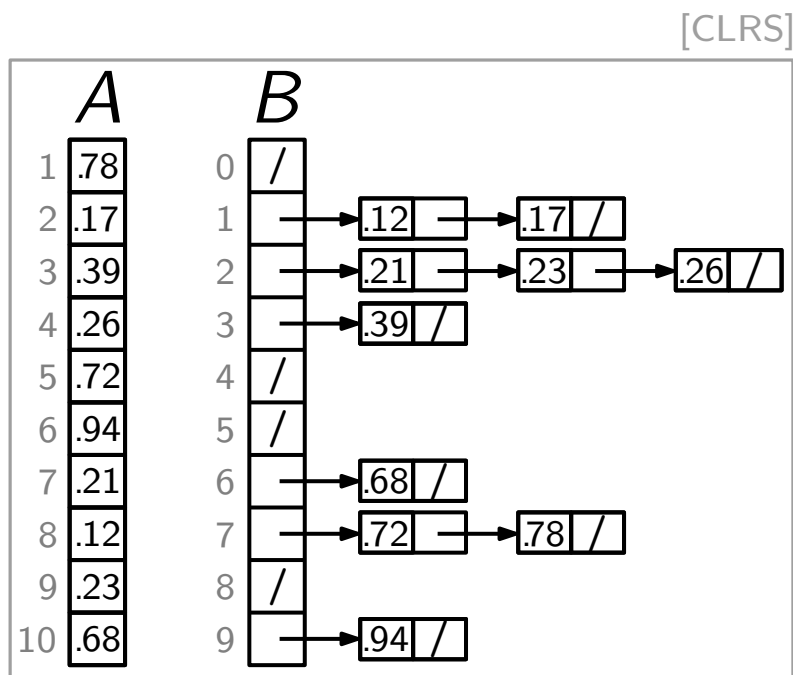
Korrektheit?

2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
– $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

$$T_{BS}(n) = \Theta(n) +$$

BucketSort



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander
kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

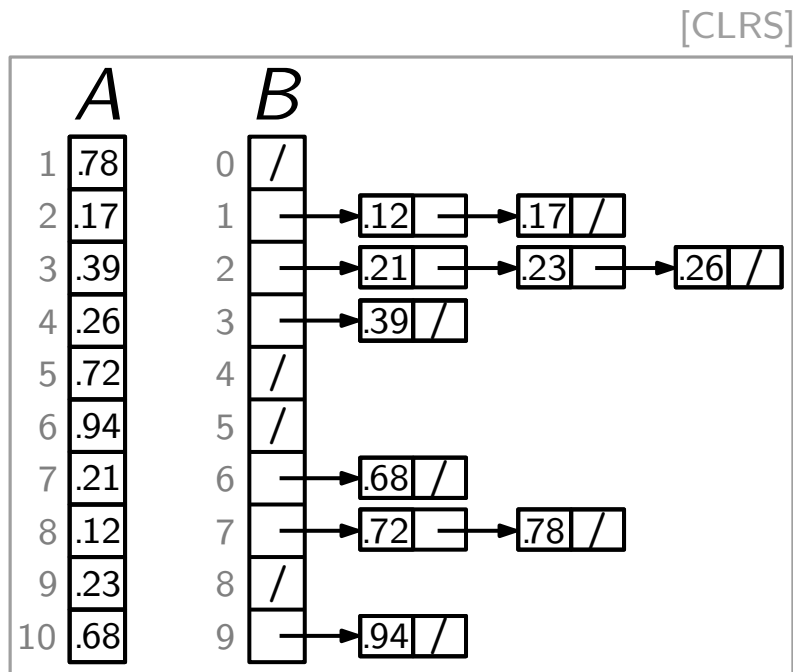
Korrektheit?

2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
– $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

$$T_{BS}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{IS}(n_i),$$

BucketSort



BucketSort(Feld A von Zahlen in $[0, 1)$)

$n = A.length$

lege Feld $B[0..n - 1]$ von Listen an

for $j = 1$ **to** n **do**

 füge $A[j]$ in Liste $B[\lfloor n \cdot A[j] \rfloor]$ ein

for $i = 0$ **to** $n - 1$ **do**

 sortiere Liste $B[i]$

hänge $B[0], \dots, B[n - 1]$ aneinander
kopiere das Ergebnis nach $A[1..n]$

Korrektheit?

2 Fälle: – $A[i]$ und $A[j]$ in der gleichen Liste
– $A[i]$ und $A[j]$ in verschiedenen Listen

Laufzeit?

$$T_{BS}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{IS}(n_i),$$

wobei $T_{IS}(\cdot)$ Laufzeit von InsertionSort
 n_i ZV für Länge der Liste $B[i]$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{BS}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{IS}(n_i)$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] =$$


Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$\begin{aligned} E[T_{\text{BS}}(n)] &= E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)] \\ &= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)] \end{aligned}$$


Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$\begin{aligned} E[T_{\text{BS}}(n)] &= E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)] \\ &= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)] \end{aligned}$$

Linearität des Erwartungswerts
 $E[X + Y] = E[X] + E[Y]$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2])$$

Linearität des Erwartungswerts

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2])$$

Linearität des Erwartungswerts

Für $a \in \mathbb{R}$: $E[aX] = a \cdot E[X]$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$\begin{aligned} E[T_{\text{BS}}(n)] &= E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)] \\ &= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)] \\ &= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$\begin{aligned} E[T_{\text{BS}}(n)] &= E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)] \\ &= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)] \\ &= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) \end{aligned}$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis.

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i =$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j \quad E[X_j] =$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j \quad E[X_j] = \Pr[X_j = 1] =$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j \quad E[X_j] = \Pr[X_j = 1] = 1/n$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j \quad E[X_j] = \Pr[X_j = 1] = 1/n$$

$$\Rightarrow n_i^2 = \left(\sum_{j=1}^n X_j \right)^2 =$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j \quad E[X_j] = \Pr[X_j = 1] = 1/n$$

$$\Rightarrow n_i^2 = \left(\sum_{j=1}^n X_j \right)^2 = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n X_j X_k$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$T_{\text{BS}}(n) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} T_{\text{IS}}(n_i) = \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)$$

$$E[T_{\text{BS}}(n)] = E[\Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} E[O(n_i^2)]$$

$$= \Theta(n) + \sum_{i=0}^{n-1} O(E[n_i^2]) = \Theta(n)$$

Behauptung: $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Beweis. Def. Indikator-ZV $X_j := 1$, falls $A[j]$ in Eimer i fällt. *fest!*

$$\Rightarrow n_i = \sum_{j=1}^n X_j \quad E[X_j] = \Pr[X_j = 1] = 1/n$$

$$\Rightarrow n_i^2 = \left(\sum_{j=1}^n X_j \right)^2 = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n X_j X_k$$

$$= \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Es gilt $n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Es gilt $n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] =$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] = 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0]$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] = 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0]$$

$$= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] = 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0]$$

$$= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] = 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0]$$

unabhängig von j!

$$= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n}$$

$$E[X_j X_k] =$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] =$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] = 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0]$$

unabhängig von j!

$$= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k]$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k *unabhängig*

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Es gilt $n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

Es gilt $n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$E[X_j^2] = 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] \quad \text{unabhängig von } j!$$

$$= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2} \quad \text{unabh. von } j \text{ und } k!$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= \frac{1}{n} + \frac{1}{n^2} \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= n \cdot \frac{1}{n} + n \cdot (n-1) \cdot \frac{1}{n^2} \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= n \cdot \frac{1}{n} + n \cdot (n-1) \cdot \frac{1}{n^2} = \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2} \quad \text{unabh. von } j \text{ und } k!$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= n \cdot \frac{1}{n} + n \cdot (n-1) \cdot \frac{1}{n^2} = 1 + \frac{n-1}{n} = \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2} \quad \leftarrow \text{unabh. von } j \text{ und } k!$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= n \cdot \frac{1}{n} + n \cdot (n-1) \cdot \frac{1}{n^2} = 1 + \frac{n-1}{n} = 2 - \frac{1}{n} \end{aligned}$$

Erwartete Laufzeit von BucketSort

Behauptung:
 $E[n_i^2] \leq 2 - \frac{1}{n}$

$$\text{Es gilt } n_i^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} X_j X_k$$

$$\Rightarrow E[n_i^2] = \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k]$$

Behandle die beiden Typen von Erwartungswerten getrennt:

$$\begin{aligned} E[X_j^2] &= 1 \cdot \Pr[X_j^2 = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j^2 = 0] && \text{unabhängig von } j! \\ &= 1 \cdot \Pr[X_j = 1] + 0 \cdot \Pr[X_j = 0] = 1 \cdot \frac{1}{n} + 0 = \frac{1}{n} \end{aligned}$$

$$E[X_j X_k] = E[X_j] \cdot E[X_k] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$$

für $j \neq k$ sind X_j und X_k unabhängig

unabh. von j und k !

Fasse die Zwischenergebnisse zusammen:

$$\begin{aligned} E[n_i^2] &= \sum_{j=1}^n E[X_j^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{k \neq j} E[X_j X_k] \\ &= n \cdot \frac{1}{n} + n \cdot (n-1) \cdot \frac{1}{n^2} = 1 + \frac{n-1}{n} = 2 - \frac{1}{n} \quad \square \end{aligned}$$

Zusammenfassung

- Jedes *vergleichsbasierte* Sortierverfahren braucht im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche für n Zahlen.
- **CountingSort** sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$ (*stabil!*)
Laufzeit für n Zahlen: $O(n + k)$
- **RadixSort** sortiert s -stellige b -adische Zahlen
Laufzeit für n Zahlen: $O(s \cdot (n + b))$
- **BucketSort** sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen
erwartete Laufzeit für n Zahlen: $O(n)$

Zusammenfassung

- Jedes *vergleichsbasierte* Sortierverfahren braucht im schlechtesten Fall $\Omega(n \log n)$ Vergleiche für n Zahlen.
 - **CountingSort** sortiert Zahlen in $\{0, \dots, k\}$ (*stabil!*)
Laufzeit für n Zahlen: $O(n + k)$
 - **RadixSort** sortiert s -stellige b -adische Zahlen
Laufzeit für n Zahlen: $O(s \cdot (n + b))$
 - **BucketSort** sortiert gleichverteilte zufällige Zahlen
erwartete Laufzeit für n Zahlen: $O(n)$
- Bem.** Die Idee mit den (gleichgroßen) Eimern ist natürlich nicht nur auf Zufallszahlen beschränkt, aber hier lässt sie sich hübsch analysieren.