

Was heißt ein Algorithmus ist effizient?

**Was messen wir?**

- ▶ Speicherverbrauch
- ▶ Laufzeit
- ▶ Anzahl Vergleiche (z.B. Sortieralgorithmen)
- ▶ Anzahl an Multiplikationen (wissenschaftliches Rechnen)
- ▶ Festplattenzugriffe
- ▶ Programmgröße
- ▶ Energieverbrauch
- ▶ ...

## Wie messen wir?

- ▶ Implementieren und Testen auf repräsentativen Eingaben.
  - ▶ Welche Eingaben?
  - ▶ Kann sehr aufwendig sein.
  - ▶ Präzise Resultate wenn sorgfältig durchgeführt.
  - ▶ Resultate gelten aber nur für spezifische Hardware, und spezifische Eingaben.
- ▶ Theoretische Analyse in einem **Rechenmodell**.
  - ▶ Gibt **asymptotische Garantien** wie z.B. „dieser Algorithmus läuft immer in Zeit  $\mathcal{O}(n^2)$ “.
  - ▶ Üblicherweise wird der **worst case** betrachtet.
  - ▶ Man kann auch untere Schranken erhalten: „jedes vergleichsbasierte Sortierverfahren benötigt im worst case mindestens  $\Omega(n \log n)$  Vergleiche“.

## Eingabelänge

Die theoretischen Schranken werden als Funktion  $f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  von der **Eingabelänge** auf die Laufzeit (oder Speicherverbrauch, Energieverbrauch etc.) angegeben.

Die **Eingabelänge** ist z.B.

- ▶ die Größe der Eingabe (Anzahl an bits)
- ▶ die Anzahl der Argumente

### Example 1

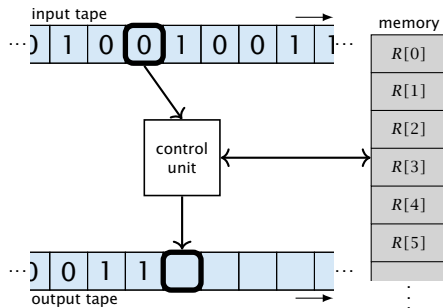
Angenommen  $n$  Zahlen aus dem Bereich  $\{1, \dots, N\}$  sollen sortiert werden. Wir sagen üblicherweise, dass die Eingabelänge  $n$  ist, anstatt z.B.  $n \log N$ , was der Anzahl an Bits entsprechen würde.

## Wie messen wir

1. Berechne die Laufzeit in einem idealisierten Rechenmodell (z.B. Random Access Machine (RAM))
2. Berechne Anzahl von Basisoperationen wie z.B. Anzahl an Vergleichen, Multiplikationen, Festplattenzugriffen etc.

# Random Access Machine (RAM)

- ▶ Ein- und Ausgabeband (Folge von Einsen und Nullen; unbeschränkte Länge).
- ▶ Speicher: unendlich viele Register  $R[0], R[1], R[2], \dots$
- ▶ Register können beliebige Integer speichern.
- ▶ Indirekte Adressierung.



Ein- und Ausgabeband sind gerichtet und ein Lese- oder Schreibzugriff bewegt das entsprechend Band zur nächsten Position.

# Random Access Machine (RAM)

## Operationen

- ▶ Eingabeoperationen (input tape  $\rightarrow R[i]$ )
  - ▶ READ  $i$
- ▶ Ausgabeoperationen ( $R[i] \rightarrow$  output tape)
  - ▶ WRITE  $i$
- ▶ Registertransfers
  - ▶  $R[j] := R[i]$
  - ▶  $R[j] := 4$
- ▶ **indirekte** Adressierung
  - ▶  $R[j] := R[R[i]]$   
lädt den Inhalt des  $R[i]$ -ten Registres in das  $j$ -te Register.
  - ▶  $R[R[i]] := R[j]$   
lädt den Inhalt des  $j$ -ten Registers in das  $R[i]$ -te Register

# Random Access Machine (RAM)

## Operationen

- ▶ Verzweigungen (inklusive Schleifen) abhängig von Vergleichen
  - ▶ `jump  $x$`   
springe zur Position  $x$  im Programm  
setze Befehlszähler auf  $x$   
der nächste Befehl wird aus Register  $R[x]$  gelesen
  - ▶ `jumpz  $x R[i]$`   
springe zu  $x$  falls  $R[i] = 0$   
falls nicht wird der Befehlszähler um 1 erhöht
  - ▶ `jumpi  $i$`   
springe zu  $R[i]$  (indirekter Sprung);
- ▶ arithmetische Operationen:  $+$ ,  $-$ ,  $\times$ ,  $/$ 
  - ▶  $R[i] := R[j] + R[k];$   
 $R[i] := -R[k];$

Die Sprungbefehle sind sehr ähnlich zu den Sprungbefehlen in verschiedenen Assemblersprachen.

# Rechenmodell

Man nimmt normalerweise an, dass jeder Befehl eine Zeiteinheit kostet.



# Komplexitätsschranken

Es gibt **unterschiedliche Komplexitätsschranken**:

- ▶ **best-case** Komplexität:

$$C_{bc}(n) := \min\{C(x) \mid |x| = n\}$$

Normalerweise einfach zu analysieren; nicht sehr hilfreich

- ▶ **worst-case** Komplexität:

$$C_{wc}(n) := \max\{C(x) \mid |x| = n\}$$

Standard. Manchmal zu pessimistisch.

- ▶ **average case** Komplexität:

$$C_{avg}(n) := \frac{1}{|I_n|} \sum_{|x|=n} C(x)$$

Manchmal schwierig zu analysieren.

$C(x)$	Kosten für Eingabe $x$
$ x $	Eingabelänge von $x$
$I_n$	Menge der Eingaben mit Länge $n$