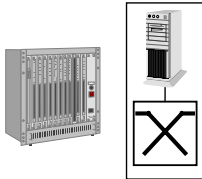


# Netze und Protokolle für das Internet

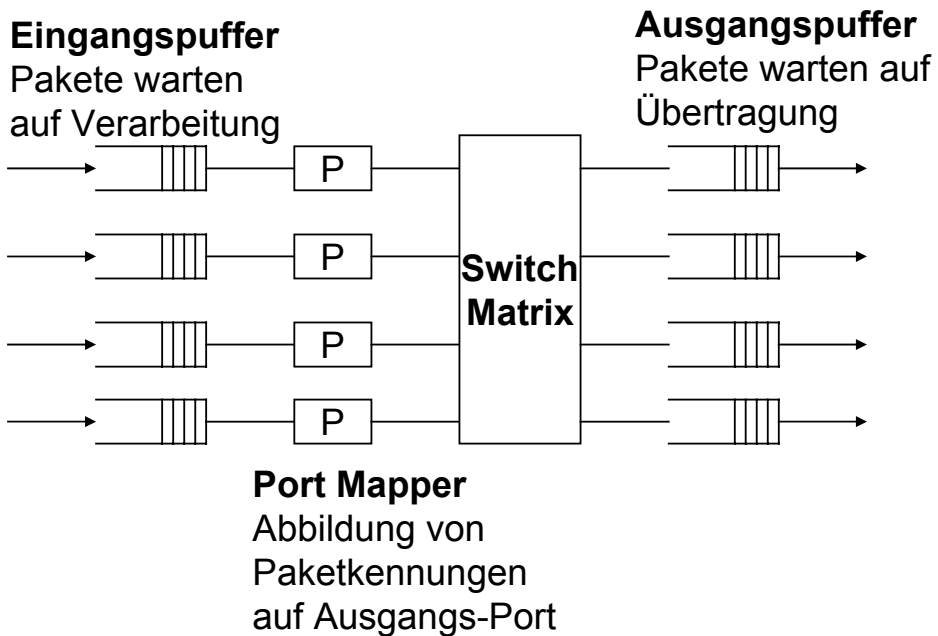


## 1. Switching

# Inhalt

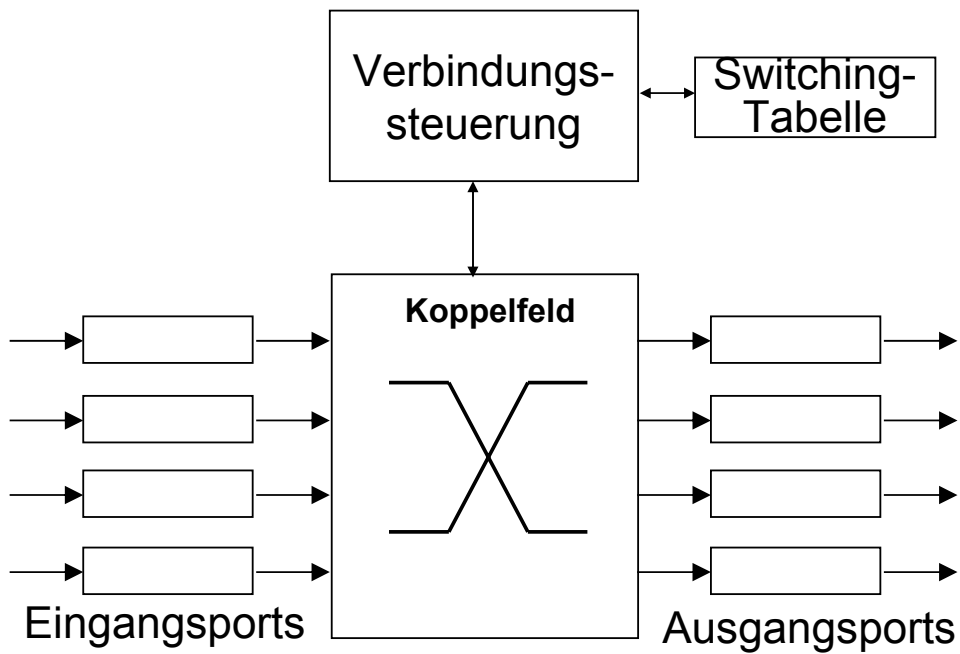
- Generische Switch-Architektur
- ATM-Switch-Architektur
- Space und Time Division Switching
- Architekturen von Koppelementen
  - Crossbar
  - Knockout-Switch
  - Bus
  - Ring
  - Gemeinsamer Speicher
  - Omega-Netz
  - Banyan-Netz
- Interne und externe Kollisionen
  - Batch-Banyan-Switch
- Speichermöglichkeiten
  - Eingangsspeicher
  - Ausgangsspeicher
  - Verteilter interner Speicher
  - Gemeinsamer interner Speicher

# Generische Switch-Architektur

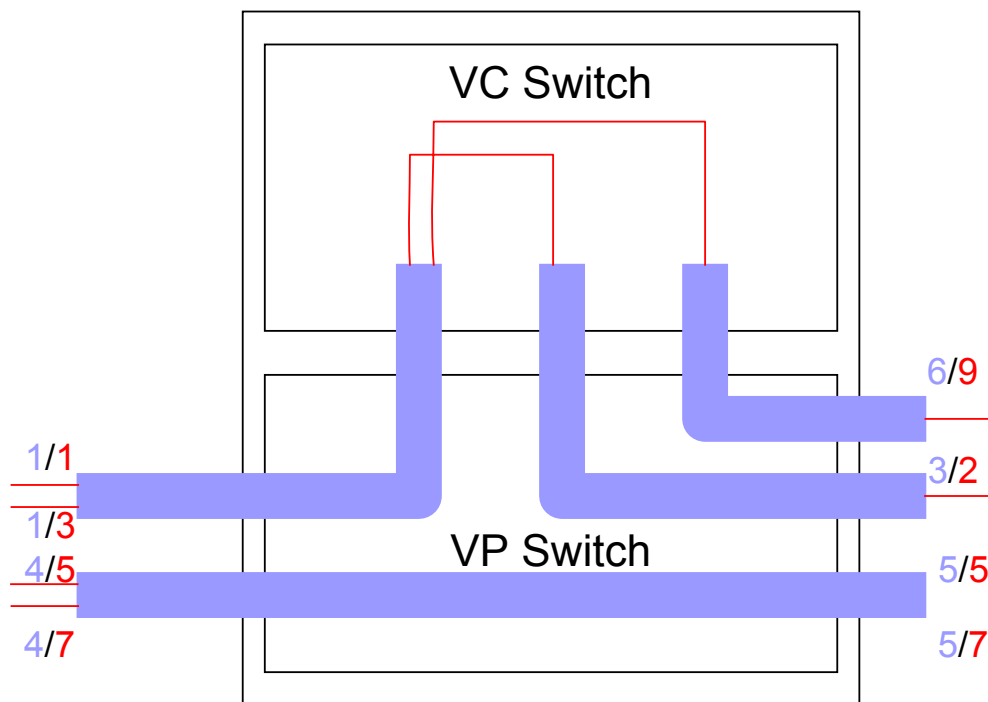


Optionen: Port-Processor/Controller mit Scheduling

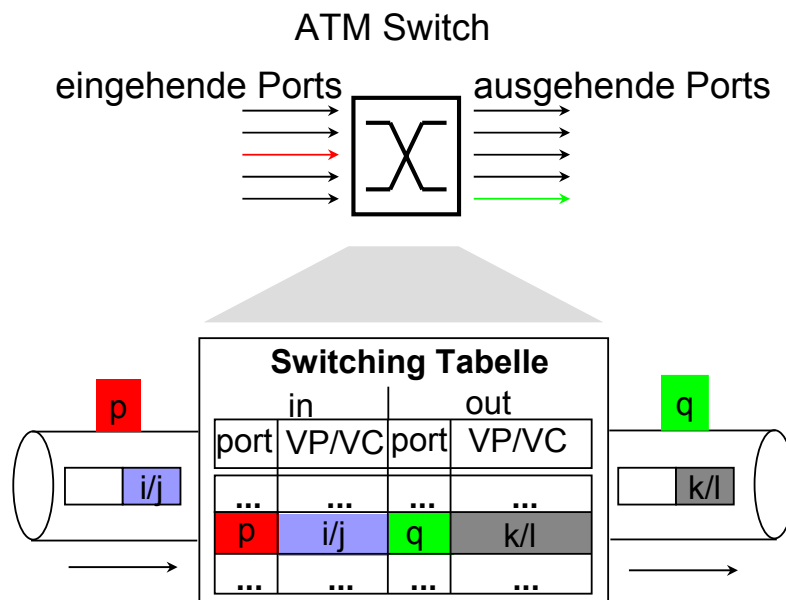
## Beispiel: ATM-Switch-Architektur



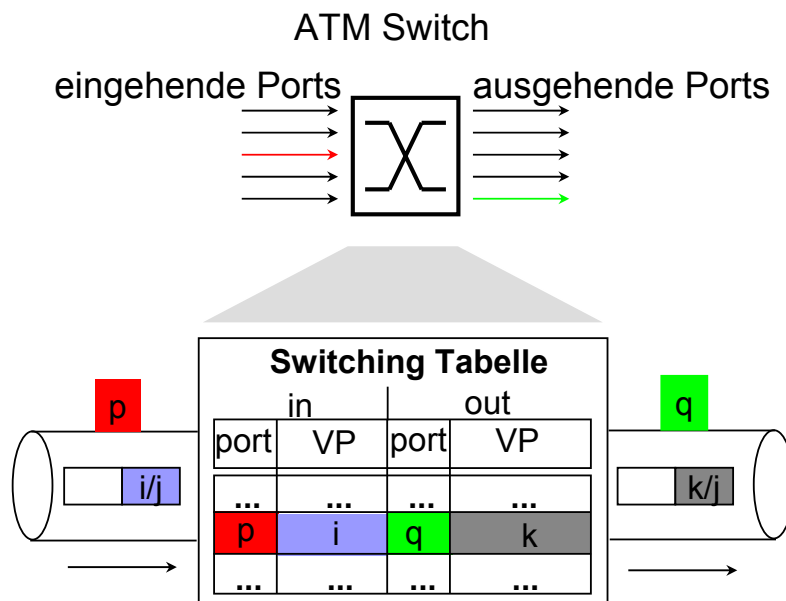
# ATM VP/VC-Switching



# ATM-Vermittlung: VC-Switching

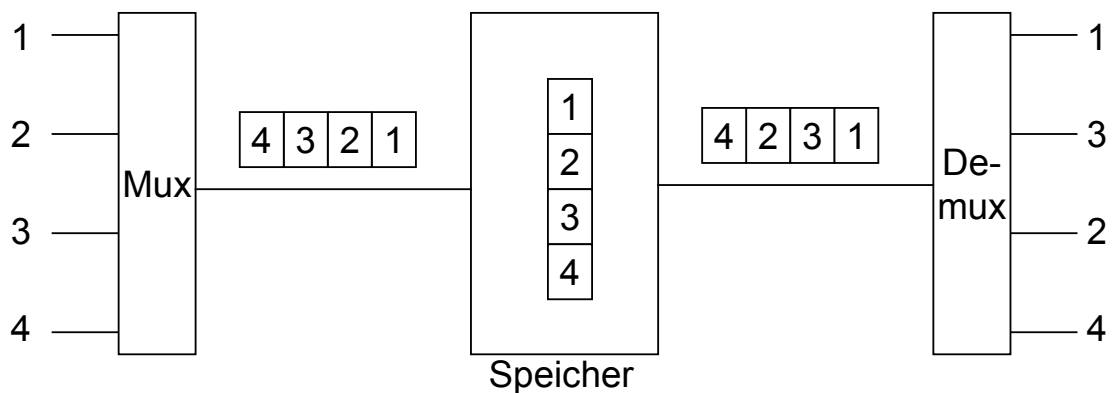


# ATM-Vermittlung: VP-Switching



# Space und Time Division Switching

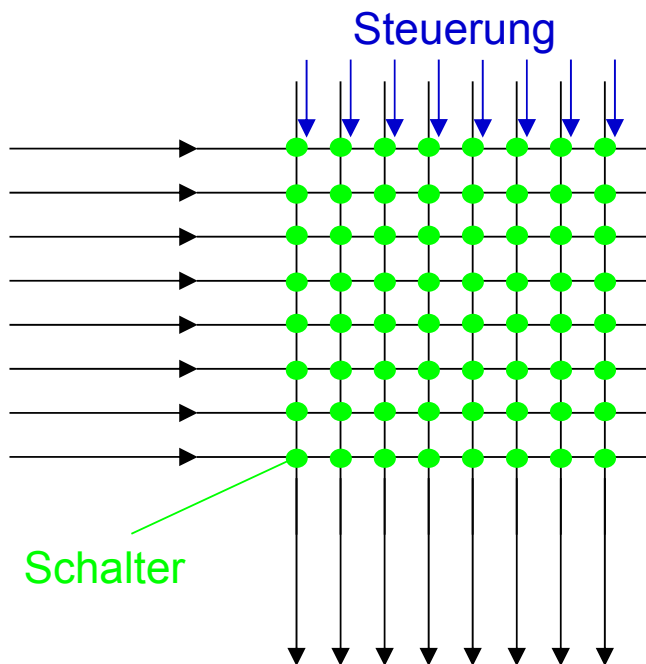
- Space Division Switching
  - Pakete werden über verschiedene Wege an den Ausgang geleitet.
- Time Division Switching
  - Schreiben der Daten in einen Puffer
  - Auslesen der Daten, ggf. in anderer Reihenfolge



## Architekturen von Koppelementen

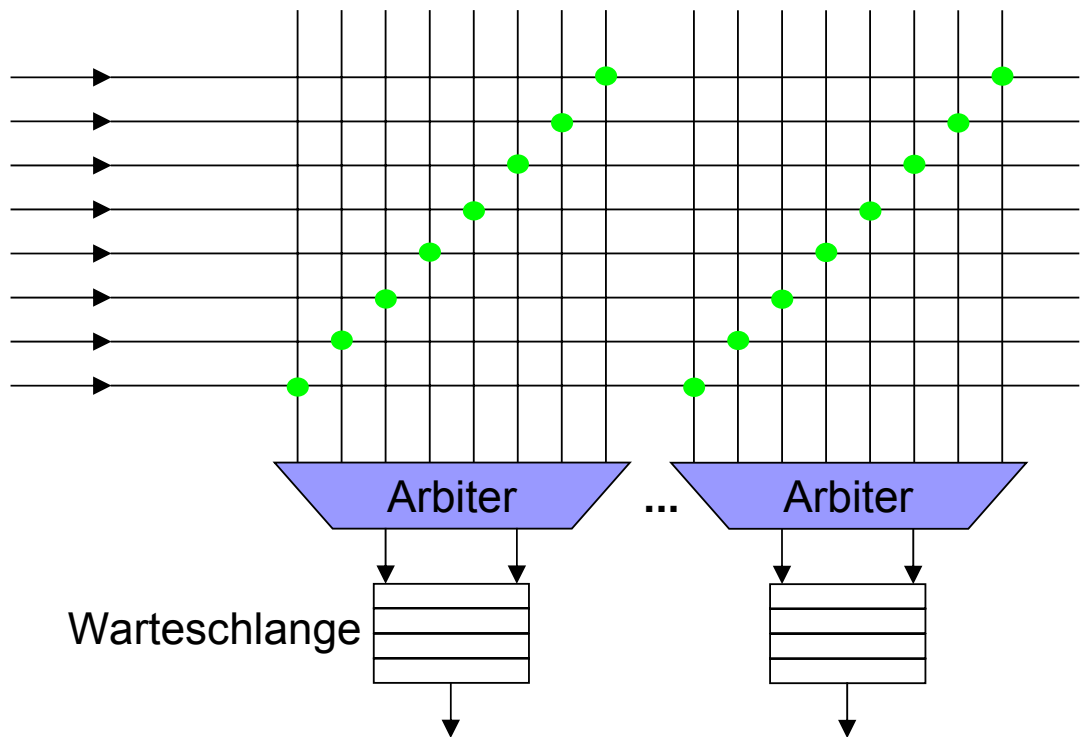
- Crossbar
- Knockout-Switch
- Bus
- Ring
- Gemeinsamer Speicher
- Omega-Netz
- Banyan-Netz

# Crossbar



- N x M Matrix
- einfaches Weiterleiten an mehrere Ausgänge
- komplexe Steuerung
- hoher Verdrahtungsaufwand ( $N \cdot M$ )
- Pufferung bei Blockierungen

# Knockout-Switch

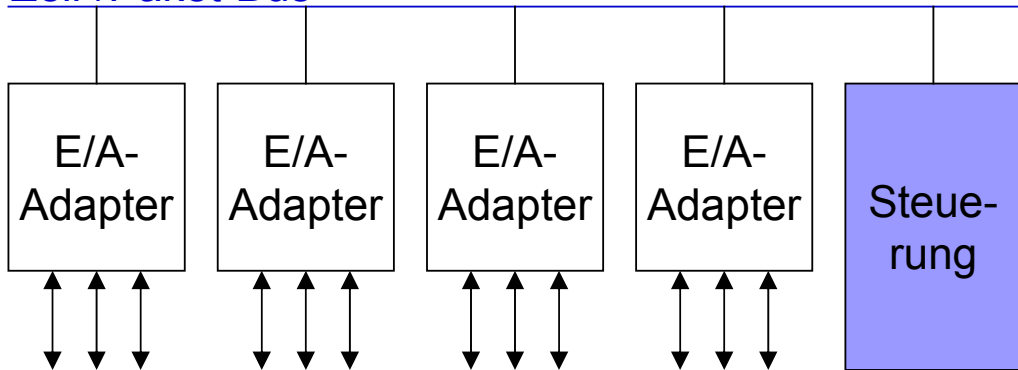


## Knockout-Konzentrator

- Auswahl von  $L$  Paketen aus  $k$  Eingängen
- 2 x 2 Switch ermittelt aus 2 Eingängen zufällig einen Sieger und einen Verlierer.
- In jeder Runde treten Pakete mit gleicher Anzahl von Niederlagen gegeneinander an.
- Paket mit  $m$  Niederlagen wird an  $m+1$ . Ausgang weitergeleitet ( $m < L$ )
- Pakete mit  $m \geq L$  Niederlagen werden gelöscht.

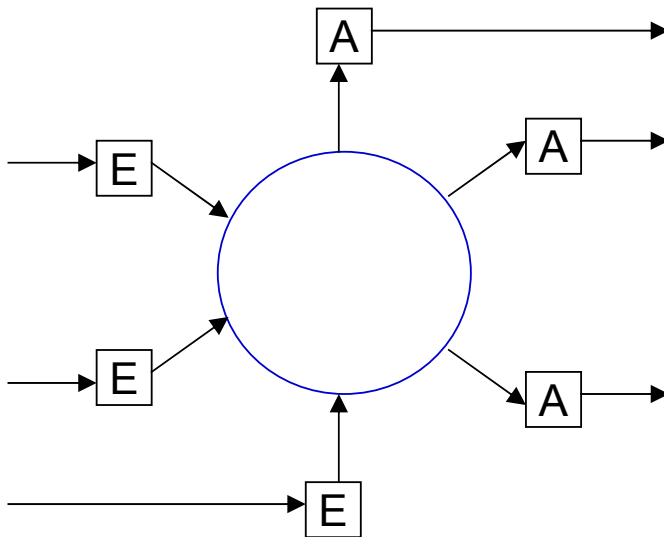
# Bus

## Zell-/Paket-Bus



- Bussteuerung (z.B. Zeitmultiplex)
- Buskapazität (ggf. Parallelbus) = Summe alle Eingänge
- einfache Unterstützung von Multicast und Broadcast

# Ring



- hohe Ringkapazität erforderlich
- Ringzugriffsverfahren
- Mehrfachbelegung des Rings möglich

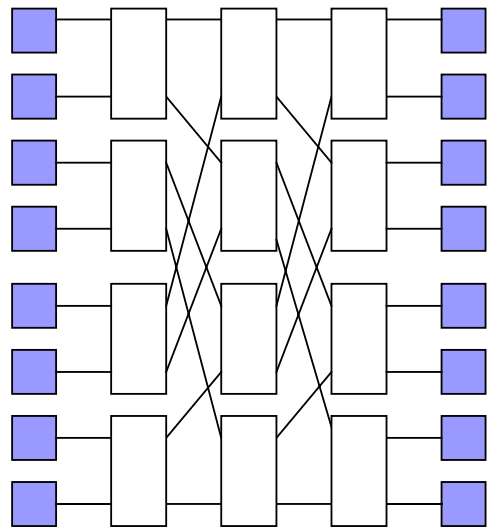
# Gemeinsamer Speicher



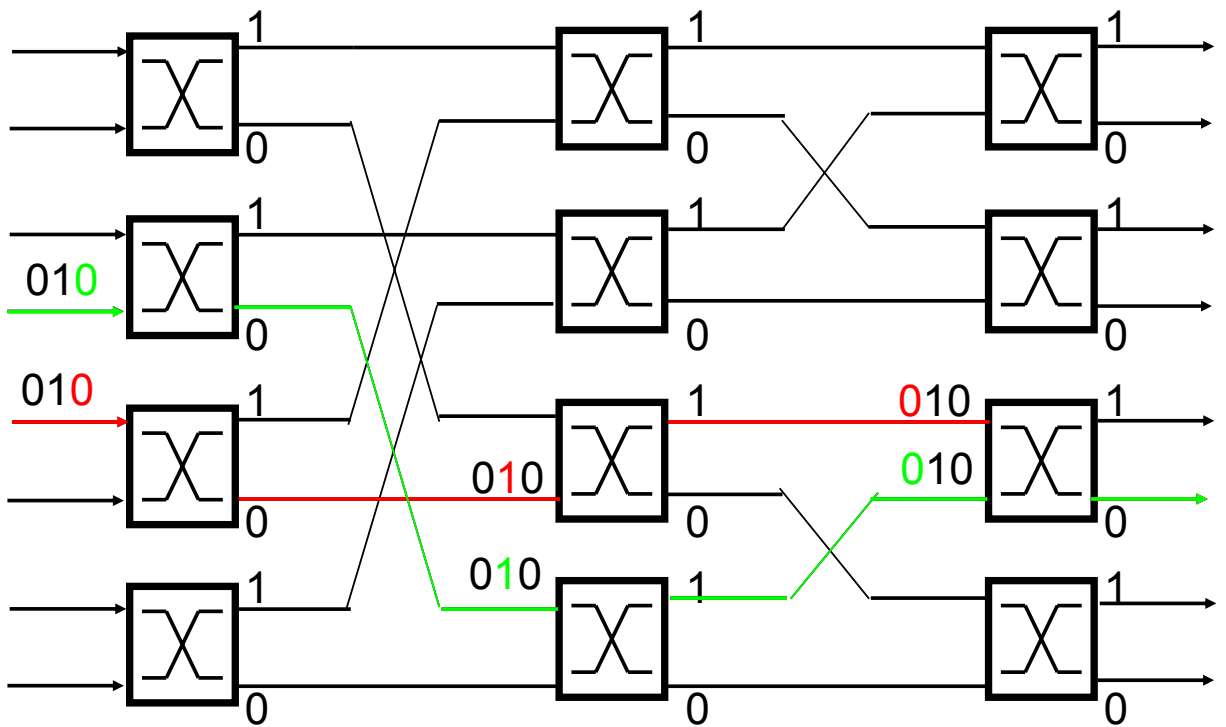
- hohe Anforderung an gemeinsamen Speicher (vgl. Multiprozessorsysteme)
  - Zugriffssteuerung
  - hohe Zugriffsgeschwindigkeit

# Omega-Netz

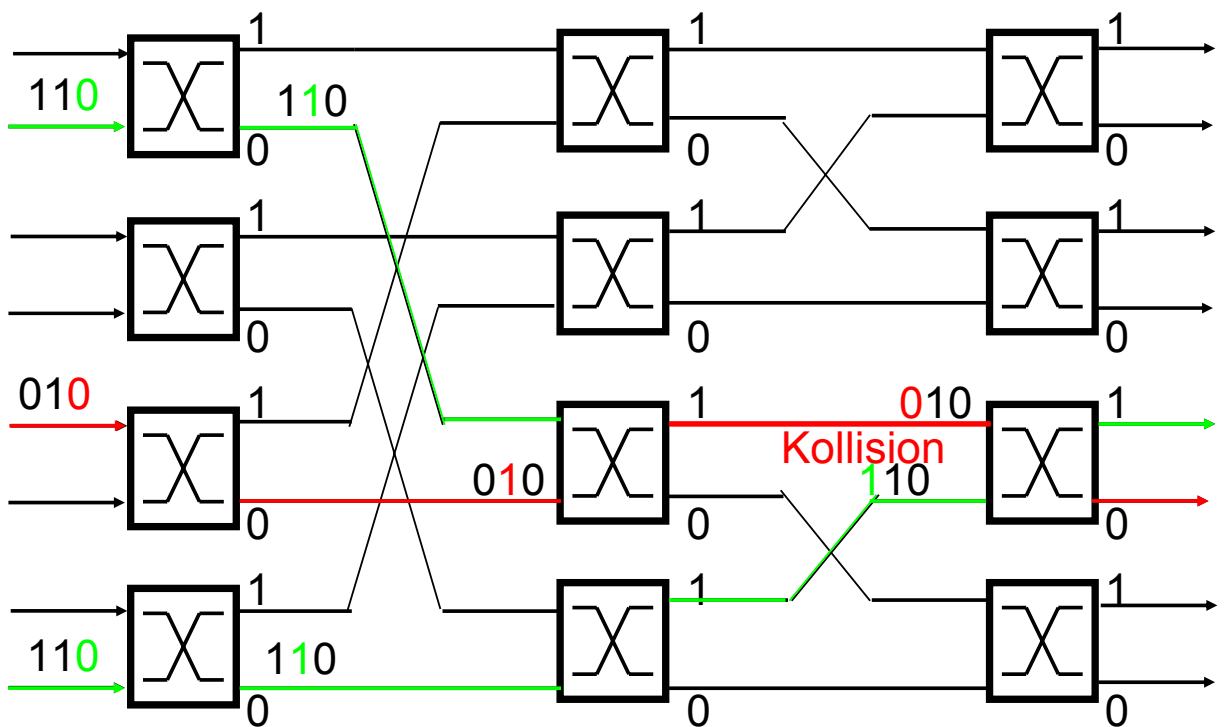
- $N/2 \log_2 N$  Elemente
- im Beispiel:  $4 * 3 = 12$
- interne Blockierungen möglich



# Banyan-Netz



## Interne Kollisionen in Banyan-Netz



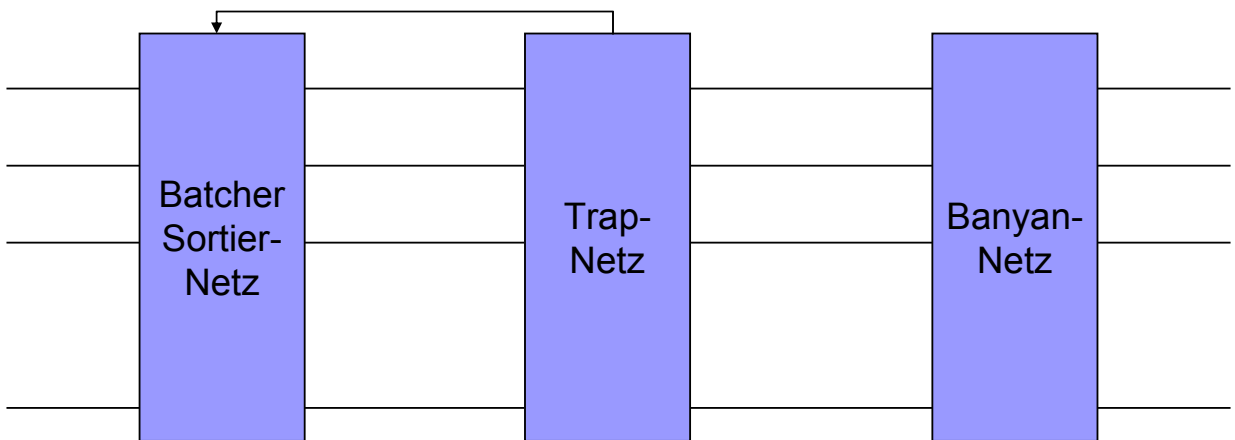
## Interne Kollisionen

- Pakete sollen an unterschiedliche Ausgänge weitergeleitet werden, aber es gibt Kollisionen auf dem Weg vom Eingang zum Ausgang
- Vermeiden interner Kollisionen durch
  - Sortieren am Eingang
  - interne Puffer
  - höhere Geschwindigkeit der internen Elemente, d.h. interne Links und Koppelemente (Overprovisioning)
  - Parallele Koppelemente
  - Backpressure
    - Senden von Signalen an Vorgängerelemente (→ Puffern)

## Externe Kollisionen

- Zwei Pakete sollen gleichzeitig an denselben Ausgang weitergeleitet werden
- Kollision am Ausgang
- Vermeiden externer Kollisionen durch Puffern/Verzögern

## Batcher-Banyan-Switch

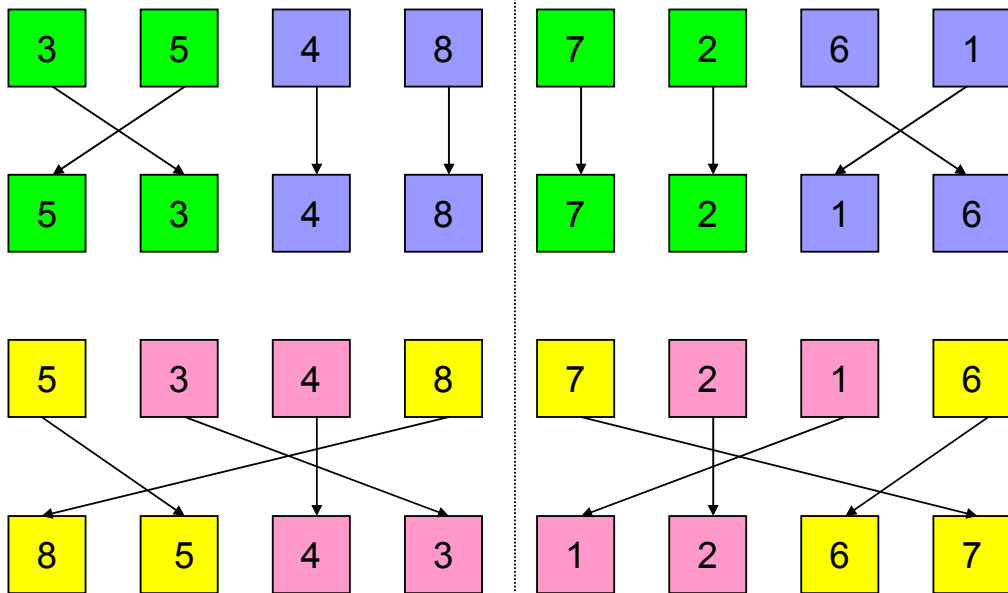


- Bitonisches Sortieren (Hardware-Implementierung von Merge Sort)
- Trap-Netz erkennt Duplikate und leitet sie an Sortiernetz zurück.

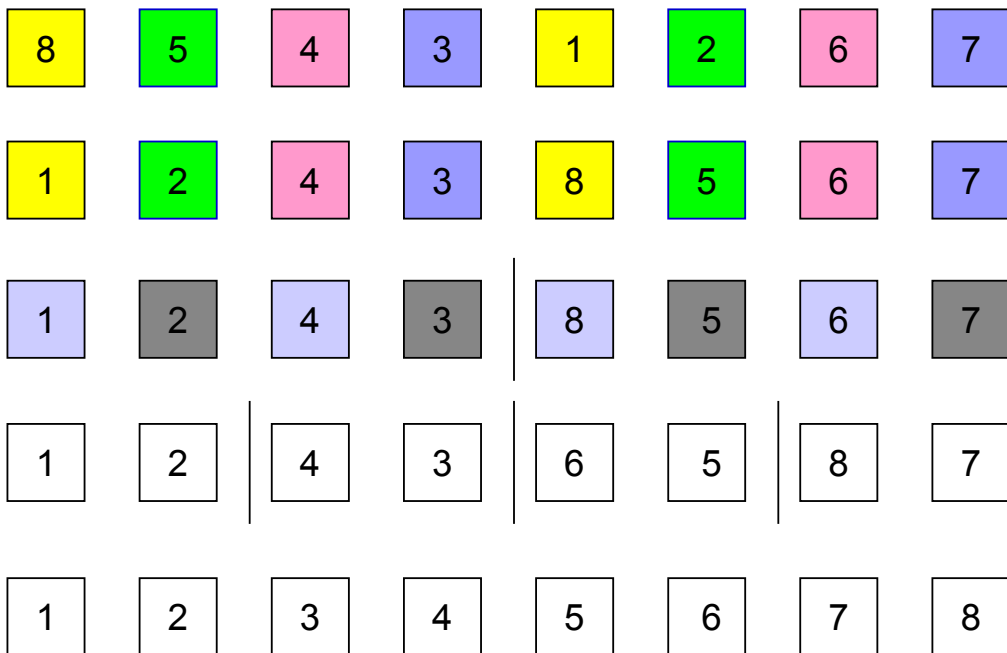
## Bitonische Sequenz

- Bitonische Sequenzen bestehen aus aufsteigender und absteigender Sequenz.
- Beispiele
  - 1,2,3,8,7,6,5,4
  - 8,7,1,2,3,4,5,6
- Schritte
  1. Erzeugen einer bitonischen Sequenz
  2. Bitonisches Sortieren

## Bilden einer bitonischen Sequenz



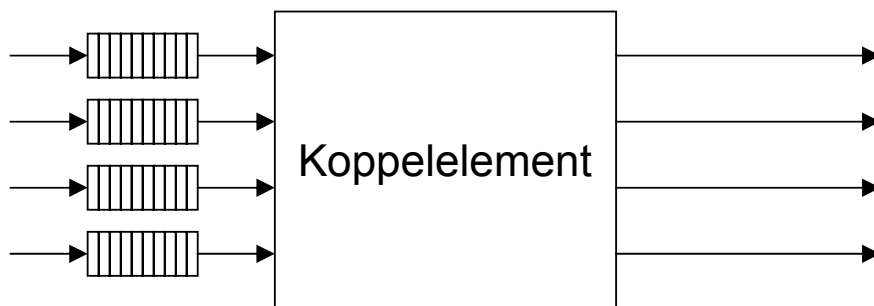
# Bitonisches Sortieren



## Speichermöglichkeiten

- Eingangsspeicher
- Ausgangsspeicher
- interner Speicher
  - verteilt
  - gemeinsam

## Eingangsspeicher



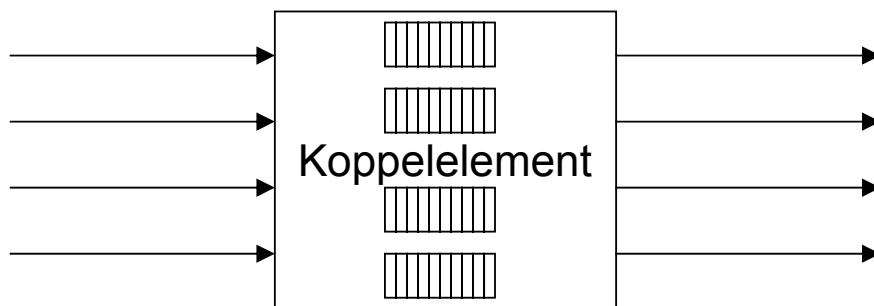
- Kollisionsauflösung am Eingang
- einfache Implementierung
- Geschwindigkeit der Verbindungen im Koppelement = Geschwindigkeit der Eingänge
- Head of Line Blocking

## Ausgangsspeicher

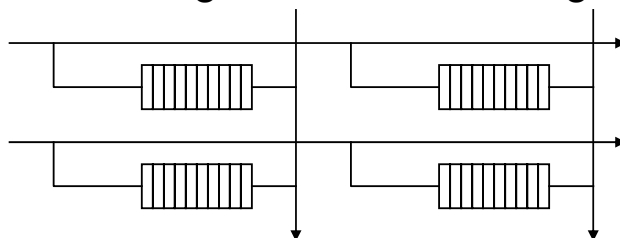


- Kollisionsauflösung am Ausgang
- Koppelement muss mit N-facher Eingangsgeschwindigkeit Pakete an Ausgang weiterleiten können (N: Anzahl der Eingänge).

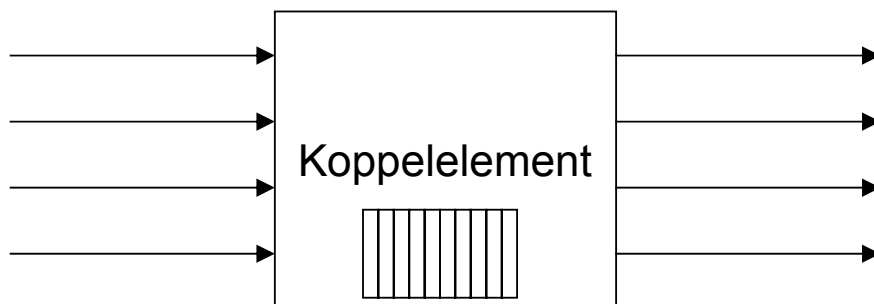
## Verteilter interner Speicher



- interne Speicher, z.B. an den Schaltpunkten
- relativ teuer da ineffizient (mehr Speicher notwendig)
- interne Geschwindigkeit = Geschwindigkeit der Eingänge



## Gemeinsamer interner Speicher



- Eingänge und Ausgänge teilen sich gemeinsamen internen Speicher.
- Bei  $N$  Eingängen und  $M$  Ausgängen:  $N \times M$  Speicherzugriffe während des Eintreffens eines Pakets, daher Speicher mit sehr schneller Zugriffszeit notwendig