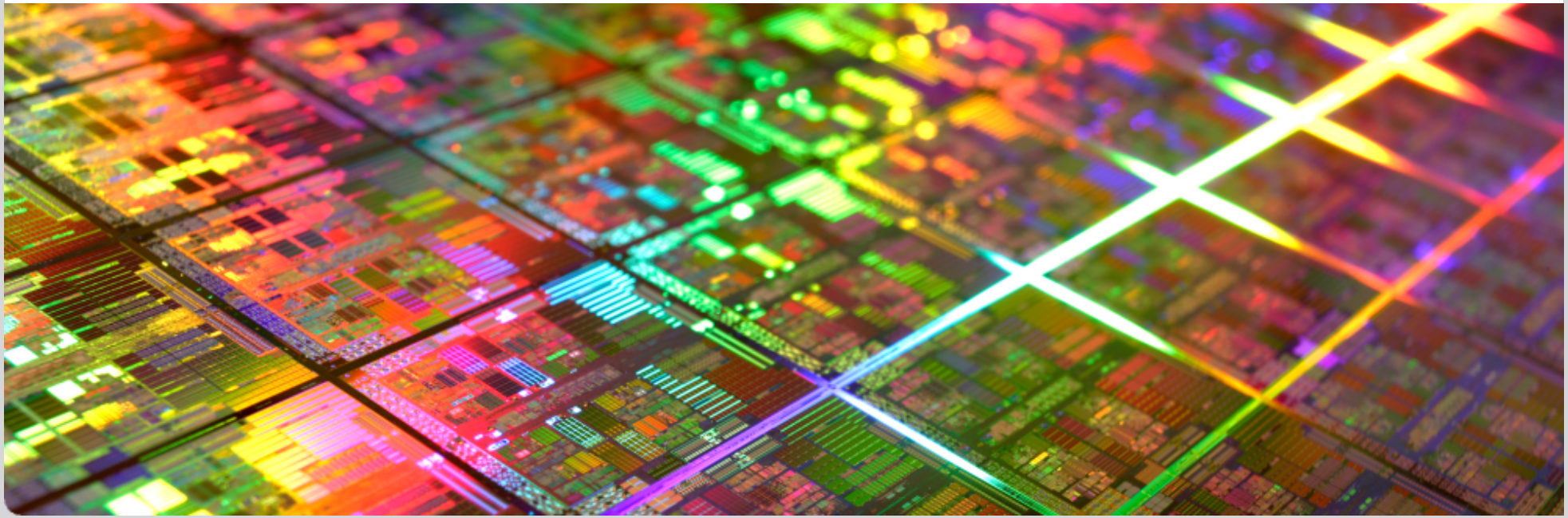
Karlsruher Institut für Technologie

Zentralübung Rechnerstrukturen im SS 2011
Verbindungsstrukturen

Oliver Mattes, Wolfgang Karl

Lehrstuhl für Rechnerarchitektur und Parallelverarbeitung

30. Juni 2011



Überblick

Karlsruher Institut für Technologie

Verbindungsstrukturen:

- Charakterisierung von Verbindungsnetzen
- Statische Verbindungsnetze (Aufgabe 1)
- Dynamische Verbindungsnetze (Aufgabe 2)

Vergleich von Parallelrechnern:

- Motivation
- Aufgabe 3

Klausuraufgaben:

- Klausuraufgabe 2010/11-WS
- Klausuraufgabe 2010-SS

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Verbindungsgrad eines Knoten P

Anzahl der Kanten von einem Knoten zu anderen Knoten

Durchmesser

- Maximale Distanz zwischen zwei Knoten
- Maximale Pfadlänge
- Keine Aussage über die realen Leitungslängen $\Leftrightarrow$ Latenz

Blockierung

$\rightarrow$ blockierungsfrei?

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Erweiterbarkeit

- begrenzt
- stufenlos
- z.B. durch verdoppeln der Knoten

Skalierbarkeit des Verbindungsnetzes

- Fähigkeit, die wesentlichen Eigenschaften des Verbindungsnetzes auch bei beliebiger Erhöhung der Knotenzahl beizubehalten.

$\Rightarrow$ Vergrößerung möglich ohne die wesentlichen Eigenschaften des Netzwerks zu verlieren

$\Leftrightarrow$ **Nicht verwechseln mit der Skalierbarkeit eines Parallelrechners**

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Minimale Bisektionsbreite:

Schneidet man einen Graphen in zwei gleich große in sich zusammenhängende Teile und betrachtet die Menge der Kanten, die diesen Schnitt kreuzen, so bezeichnet man die Kardinalität der kleinsten Kantenmenge – über alle möglichen Schnitte – als minimale Bisektionsbreite.

Diskonnektivität:

$$\text{Diskonnektivität} = \#\,\text{Knoten} \;/\; \text{min. Bisektionsbreite}$$

Kosteneffektivität:

$$\text{Kosteneffektivität} = \text{Verbindungsgrad} * \max(\text{Durchmesser}, \text{Diskonnektivität})$$

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Übertragungsbandbreite / Durchsatz:

- Die maximale Übertragungsleistung des Verbindungsnetztes oder einzelner Verbindungen
- Meist theoretisch errechnet.

Bisektionsbandbreite

Maximale Datenmenge, die das Netzwerk über die Bisektionslinie, die das Netzwerk in zwei Hälften teilt, pro Sekunde transportieren kann.

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Latenz (latency)

Übertragungszeit einer Nachricht

- Kanalverzögerung
- Schalt-/Routing-Verzögerung (switching/routing delay)
- Blockierungszeit (contention time)

Ausfalltoleranz (Redundanz)

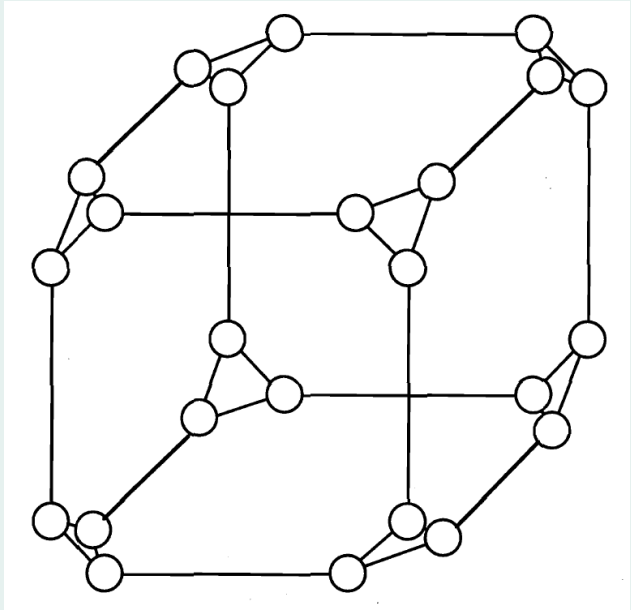
- Verbindungen zwischen Knoten sind selbst dann noch zu schalten, wenn einzelne Elemente des Netzes ausfallen
- minimale Bisektionsbreite
- Diskonnektivität

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Ausfalltoleranz (Redundanz):

Kriterien:

- minimale Bisektionsbreite
- Diskonnektivität
- Wurzelknoten
- Flaschenhals
- Ausweichverbindungen
- ...



Interpretation der Daten:

- Vergleich mit anderen Netzen
- Beachtung von Teilnetzen (z.B. Ring-Würfel-Netzwerk)
- ...

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Datentransfer: Durchschalte- oder Leitungsvermittlung

Circuit switching

- direkte Verbindung zwischen zwei oder mehreren Knoten zu schalten
- Blockierungsfreie Kommunikation
- Kurze Latenzen
- Startup-Time lange

$\Rightarrow$ Besonders geeignet für lange Nachrichten

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

Datentransfer: Paketvermittlung

Packet switching

- Datenpakete fester Länge und Nachrichten variabler Länge werden verschickt
- Wegefindungsalgorithmus (routing) notwendig
- Absender und Empfänger
- In jedem Knoten auf dem Weg erfolgt eine Verarbeitung zur Weiterleitung

$\Rightarrow$ Günstig für kurze Nachrichten

Verbindungsstrukturen: Charakterisierung

Karlsruher Institut für Technologie

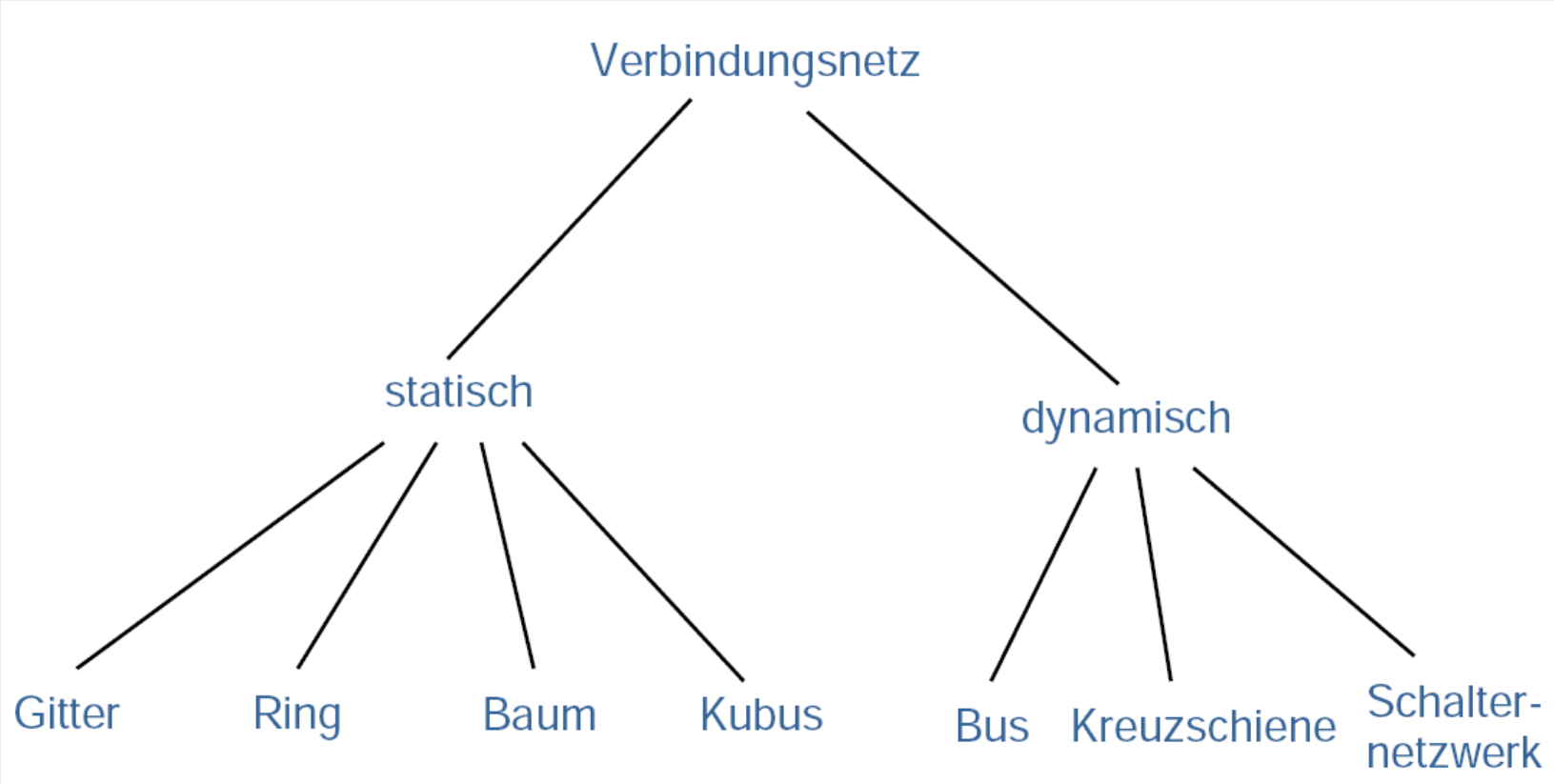
Datentransfer: Paketvermittlung (Packet switching)

Verschiedene Übertragungsmodi:

- Store and forward
- Cut through
- Wormhole
- Virtual cut through
- Wormhole routing
- Buffered wormhole routing
- …

Verbindungsstrukturen

Klassifizierung von Verbindungsnetzen:



Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

Statische Verbindungsstrukturen

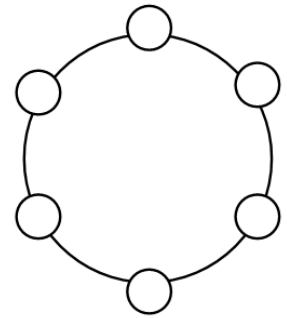
- In statischen Netzen existieren fest installierte Verbindungen zwischen Paaren von Netzknoten
- Steuerung des Verbindungsaufbaus ist Teil der Knoten

Dynamische Verbindungsstrukturen

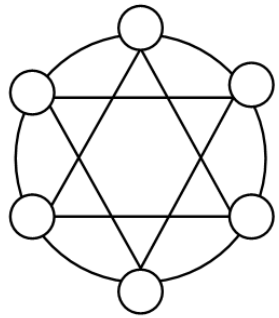
- Dynamische Netze enthalten eine Komponente „Schaltnetz“, an die alle Knoten über Ein- und Ausgänge angeschlossen sind.
- Direkte, fest installierte Verbindungen zwischen den Knoten existieren nicht.
- Alle notwendigen Steuerungsfunktionen sind im Schaltnetz konzentriert

Statische Verbindungsstrukturen

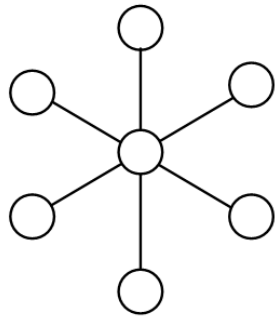
- Kette
- Ring
- Stern
- Baum (event. mit Fat-Tree)
- Chordaler Ring
- Gitter



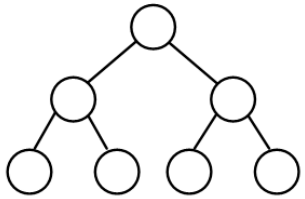
Ring



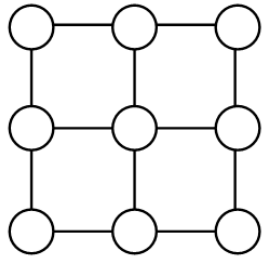
Chordaler Ring



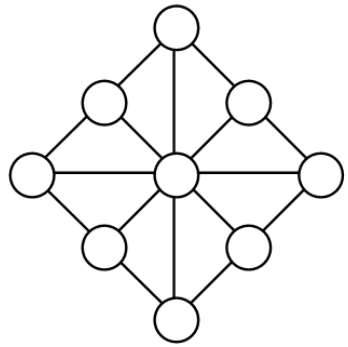
Stern



Baum



Gitter mit vier Nachbarknoten

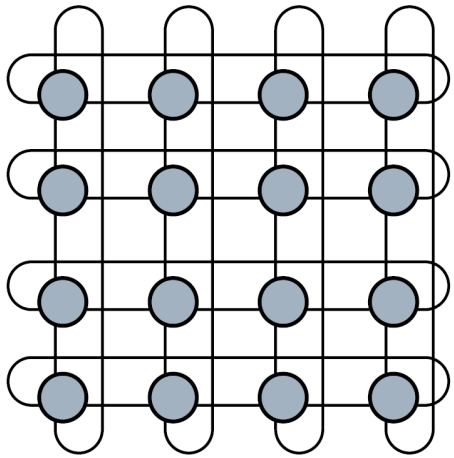


Gitter mit acht Nachbarknoten

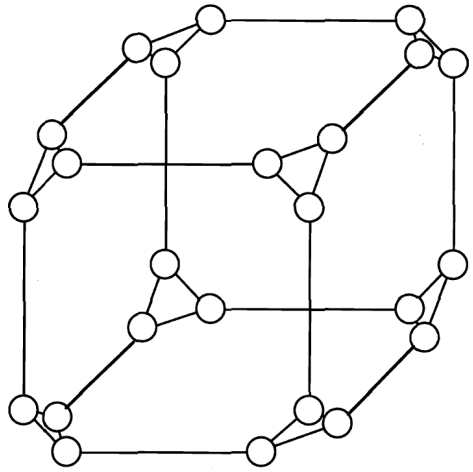
Statische Verbindungsstrukturen

- Torus
- Pyramide
- Würfel
- n-dimensionaler Hyperwürfel
- Ring-Würfel-Netzwerk
  Cube-Connected-Cycle (CCC)

2-dim. Torus



CCC



K-ärer n-Kubus – Korrektur

Verbindungsstrukturen

Topologie:

- **Statische Verbindungsnetze**
- **K-ärer n-Kubus (Cubes, Würfel)**
  - Allgemeine Form eines Kubus-Verbindungsnetzwerkes
  - Ringe, Gitter, oder Hyperkubi sind topologisch isomorph zu einer Familie von K-ären n-Kubus Netzwerken
    - n ist die Dimension
    - Radius K ist die Anzahl der Knoten, die einen Zyklus in einer Dimension bilden
  - Enthält $N=K^n$ Knoten
  - ⇒ Die Knoten werden über eine n-stellige binäre Radius K Zahl der Form $a_0,a_1,\ldots,a_{n-1}$ adressiert
    - ⇒ Jede Stelle $0 \leq a_i > K$ stellt die Position des Knotens in der entsprechenden i-ten Dimension dar, mit $0 \leq i \leq n-1$
    - Ein Nachbarknoten in der i-ten Dimension zu einem Knoten mit Adresse $a_0,a_1,\ldots,a_{n-1}$ kann erreicht werden mit $a_0,a_1,\ldots,a_{(i\pm1)} \bmod k \ldots a_{n-1}$.
  - Knotengrad ist 2n und der Diameter ist

© Prof. Dr. Wolfgang Karl

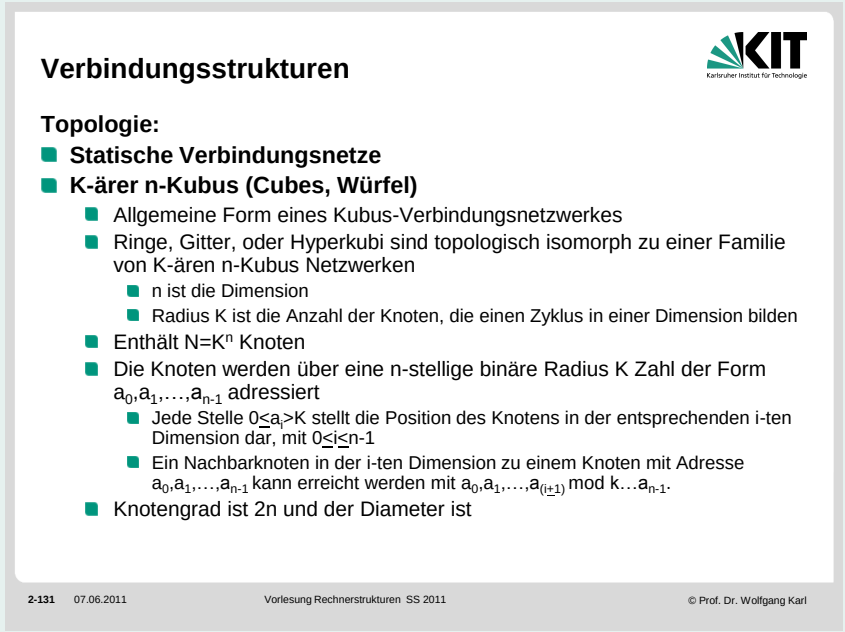
Statische Verbindungsstrukturen

K-ärer n-Kubus – Korrektur

- n Dimension
- K Radius: Anzahl der Knoten, die einen Zyklus in einer Dimension bilden

$\Rightarrow$ Rückwärtskanten

- $N = K^n$ Knoten
- $a_i : 0 \leq a_i < K$ Position des Knotens in der i-ten Dimension
- Adresse $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$ durch n-stellige K-äre Zahl
- $2n$ Knotengrad (mit Rückwärtskanten)
- $n\lfloor \frac{k}{2} \rfloor$ Diameter (mit Rückwärtskanten)



Verbindungsstrukturen

Topologie:

- **Statische Verbindungsnetze**
- **K-ärer n-Kubus (Cubes, Würfel)**
  - Allgemeine Form eines Kubus-Verbindungsnetzwerkes
  - Ringe, Gitter, oder Hyperkubi sind topologisch isomorph zu einer Familie von K-ären n-Kubus Netzwerken
    - n ist die Dimension
    - Radius K ist die Anzahl der Knoten, die einen Zyklus in einer Dimension bilden
  - Enthält $N=K^n$ Knoten
  - Die Knoten werden über eine n-stellige binäre Radius K Zahl der Form $a_0,a_1,\ldots,a_{n-1}$ adressiert
    - Jede Stelle $0 \leq a_i < K$ stellt die Position des Knotens in der entsprechenden i-ten Dimension dar, mit $0 \leq i \leq n-1$
    - Ein Nachbarknoten in der i-ten Dimension zu einem Knoten mit Adresse $a_0,a_1,\ldots,a_{n-1}$ kann erreicht werden mit $a_0,a_1,\ldots,a_{(i+1)} \bmod k \ldots a_{n-1}$.
  - Knotengrad ist 2n und der Diameter ist

2-131 07.06.2011 Vorlesung Rechnerstrukturen SS 2011 © Prof. Dr. Wolfgang Karl

Statische Verbindungsstrukturen

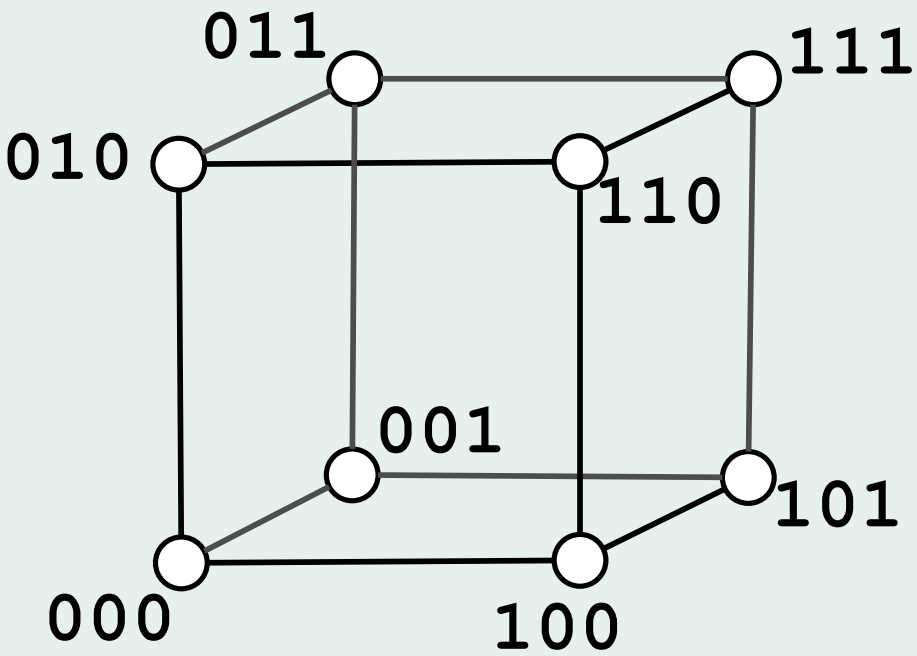
K-ärer n-Kubus (Cubes, Würfel)

- Allgemeine Form eines Kubus-Verbindungsnetzwerkes
- Ringe, Gitter oder Hyperkubi sind eine Teilmenge der Klasse der K-ären n-Kubus-Netzwerke
  - n ist die Dimension
  - Der Radius K ist die Anzahl der Knoten, die einen Zyklus in einer Dimension bilden (Rückwärtskanten)
- Enthält $N = K^n$ Knoten
- Die Knoten werden über eine n-stellige K-äre Zahl der Form $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$ adressiert
  - Jede Stelle a_i mit $0 \leq a_i < K$ stellt die Position des Knotens in der entsprechenden i-ten Dimension dar mit $0 \leq i \leq n-1$
  - Von einem Knoten mit Adresse $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$ kann ein Nachbarknoten in der i-ten Dimension mit $a_0, a_1, \ldots, (a_i \pm 1) mod\ K, \ldots, a_{n-1}$ erreicht werden
- Knotengrad ist $2n$ und der Diameter ist $n\lfloor \frac{K}{2} \rfloor$

Statische Verbindungsstrukturen

K-ärer n-Kubus – Beispiele

- **K=2, n=3** (hier vereinfacht ohne Rückwärtskanten)
- Adresse: 3-stellige 2-äre (binäre) Zahl $a_0\ a_1\ a_2$
- a_i mit $0 \leq a_i < 2$



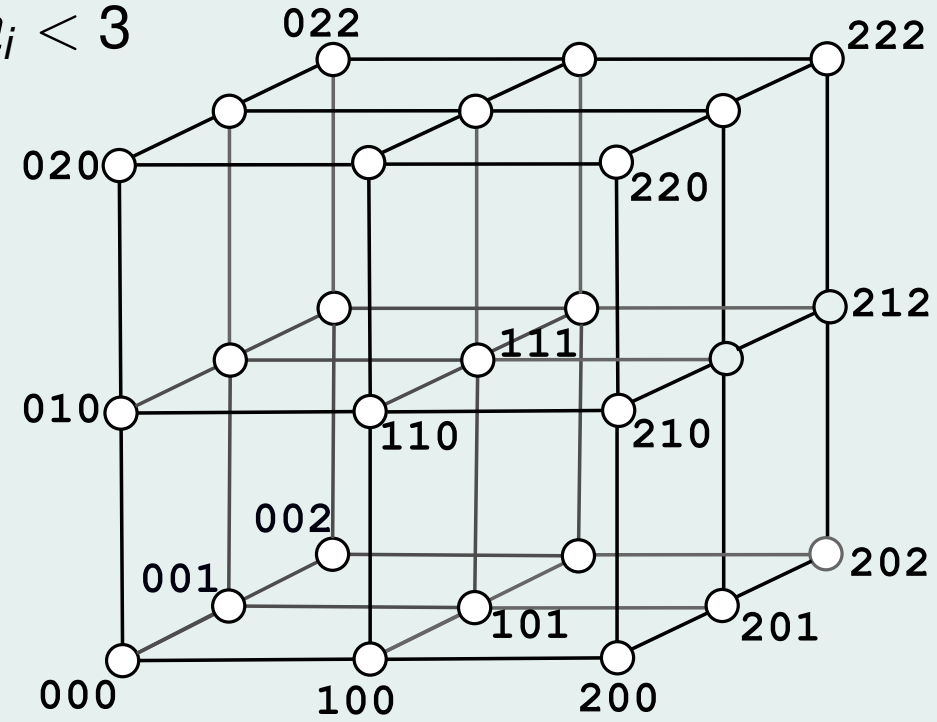
Statische Verbindungsstrukturen

K-ärer n-Kubus – Beispiele

- **K=3, n=3**

$\Rightarrow$ 3D-Torus (hier vereinfacht ohne Rückwärtskanten)

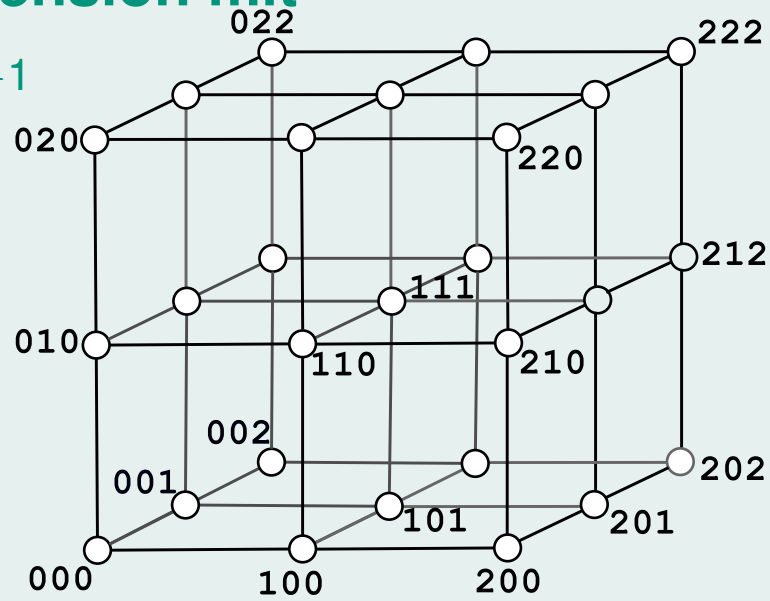
- Adresse: 3-stellige 3-äre Zahl $a_0\ a_1\ a_2$
- a_i mit $0 \leq a_i < 3$



Statische Verbindungsstrukturen

K-ärer n-Kubus – Beispiele

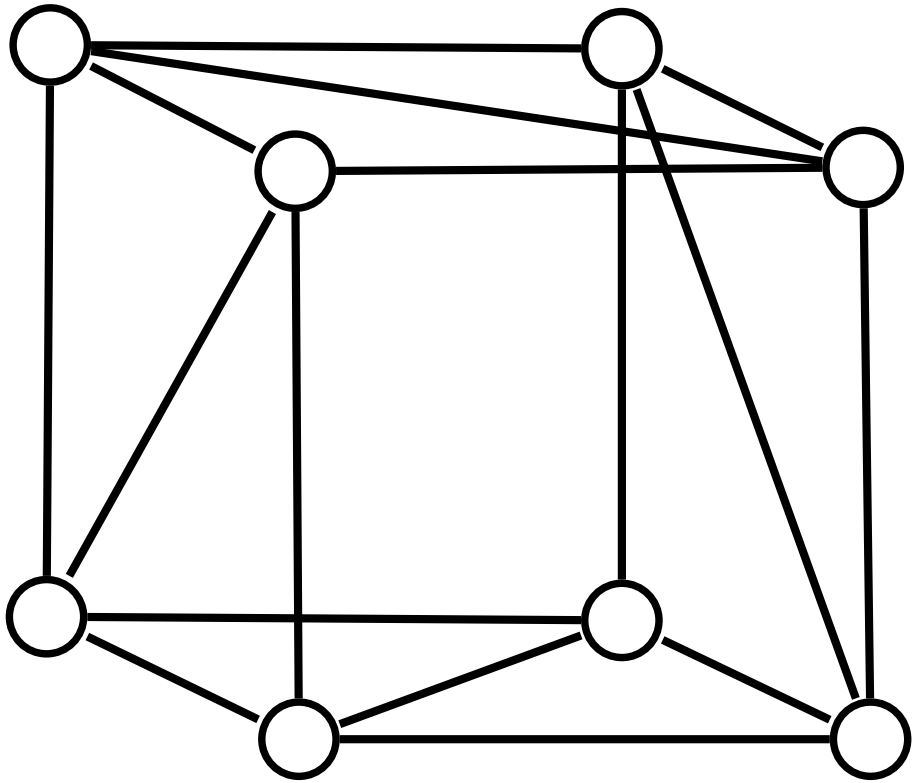
- **K=3, n=3**, 3D-Torus (im Bild vereinfacht o. Rückwärtskanten)
- Adresse: 3-stellige 3-äre Zahl $a_0\ a_1\ a_2$
- a_i mit $0 \leq a_i < 3$
- **Von einem Knoten mit Adresse $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$ kann ein Nachbarknoten in der i-ten Dimension mit $a_0, a_1, \ldots, (a_i \pm 1) mod\ K, \ldots, a_{n-1}$ erreicht werden**



- Von 110 $\Rightarrow$ 100
  $a_1 = 1 \Rightarrow (a_1 - 1) mod\ 3 = 0$
- Von 210 $\Rightarrow$ 010
  $a_0 = 2 \Rightarrow (a_0 + 1) mod\ 3 = 0$

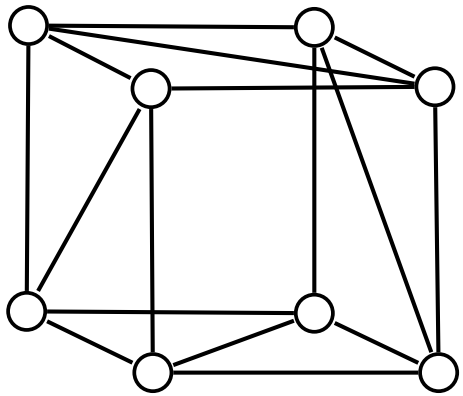
Aufgabe 1 – Statische Verbindungsstrukturen

Gegeben sei ein Verbindungsnetzwerk mit der nachfolgend dargestellten Topologie:



Aufgabe 1 – Statische Verbindungsstrukturen

a) **Bestimmen Sie den Verbindungsgrad, den Diameter, die minimale Bisektionsbreite, die Diskonnektivität und die Kosteneffektivität.**

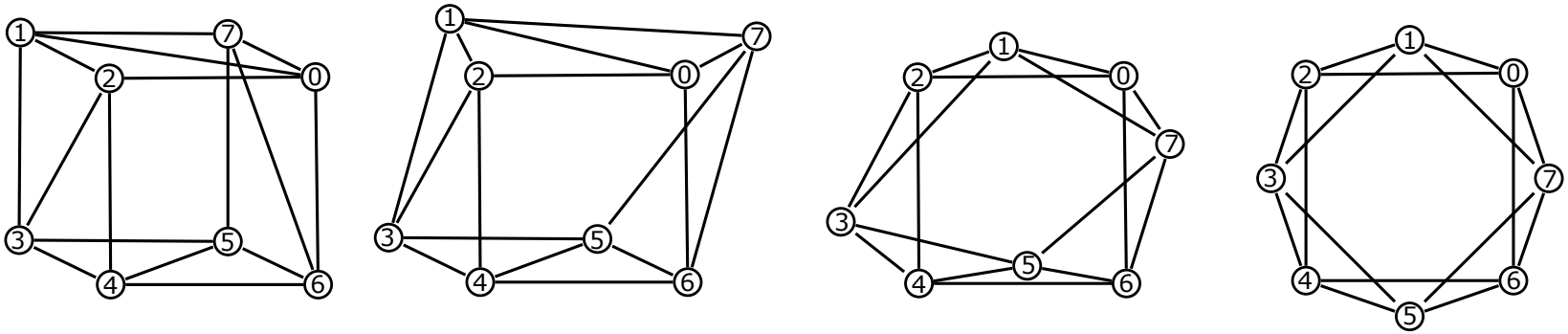


Verbindungsgrad:	4
Durchmesser:	2
min. Bisektionsbreite:	6
Diskonnektivität:	8/6 = 4/3 = 1,33
Kosteneffektivität:	4 * max (2, 4/3) = 8

Aufgabe 1 – Statische Verbindungsstrukturen

b) **Um welche Art eines Verbindungsnetzwerkes handelt es sich in diesem Fall?**

Chordaler Ring mit Knotengrad 4



Aufgabe 1 – Statische Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

c) **Liegt Redundanz vor? Wenn ja, wieviele Verbindungsleitungen können ausfallen bevor eine Verbindung zwischen zwei beliebigen Knoten nicht mehr geschalten werden kann?**

- Es liegt Redundanz vor.
- Da der Verbindungsgrad jedes Knotens 4 ist und bidirektionale Leitungen verwendet werden, können bis zu drei Leitungen ausfallen und dennoch jeder Knoten von einem anderen erreicht werden.
  Anmerkung: Hier ist die minimale Anzahl von Kanten gesucht, die ausfallen dürfen, bevor ein Knoten nicht mehr erreichbar ist.
- Allerdings kann beim Ausfall einer Kante der Durchmesser steigen, das heißt es könnten längere Wege notwendig sein.

Aufgabe 1 – Statische Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

d) **Vergleichen Sie diese Netzwerktopologie mit den Topologien (unidirektionaler) Ring, 2D-Gitter, (binärer) Baum und Hyperkubus in den Punkten Verbindungsgrad, Durchmesser, minimale Bisektionsbreite, Diskonnektivität und Kosteneffektivität.**

N = # Knoten

	Aufgabe 2	Ring	2D-Gitter	Baum	Hyperkubus
Knotenzahl	N	N	$N = n^2$	N	$N = 2^n$
Verbindungsgrad	4	2	$2 - 4$	$1 - 3$	$\log_2 N$
Durchmesser	$\lfloor \sqrt{N} \rfloor$	$\lfloor N/2 \rfloor$	$2\left(\sqrt{N} - 1\right)$	$2\left(\lceil \log_2 N \rceil - 1\right)$	$\log_2 N$
min. Bisektionsbreite	6	2	$\sqrt{N}$	1	$N/2$
Diskonnektivität	$N/6$	$N/2$	$\sqrt{N}$	N	2
Kosteneffektivität	$4\lfloor \sqrt{N} \rfloor$	N	$8\left(\sqrt{N} - 1\right)$	$3N$	$(\log_2 N)^2$

Aufgabe 1 – Statische Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

e) **Lange Zeit war ein Hyperkubus die häufigste Verbindungsstruktur bei nachrichtengekoppelten Multiprozessorsystemen. Wie viele Knoten müssen bei einem Hyperkubus für eine Erweiterung hinzugefügt werden? Was stellen Sie dabei für den Verbindungsgrad fest und was hat das für Auswirkungen auf den Aufbau und die Erweiterbarkeit des Rechners?**

- Jede Erweiterung benötigt die Verdopplung der Prozessorenanzahl
- Der Verbindungsgrad der Knoten steigt bei jeder Erweiterung um 1
- Rechner sind deshalb aus räumlichen Anordnungsgründen begrenzt

Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

Statische Verbindungsstrukturen

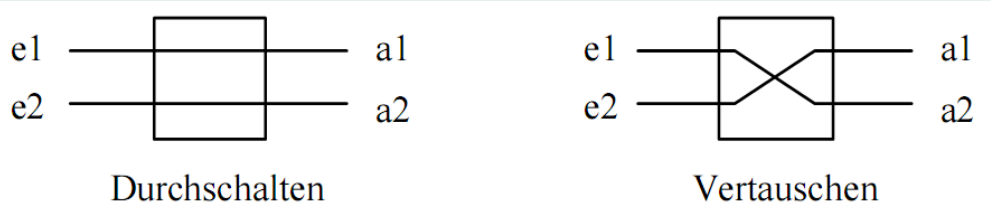
- In statischen Netzen existieren fest installierte Verbindungen zwischen Paaren von Netzknoten
- Steuerung des Verbindungsaufbaus ist Teil der Knoten

Dynamische Verbindungsstrukturen

- Dynamische Netze enthalten eine Komponente „Schaltnetz“, an die alle Knoten über Ein- und Ausgänge angeschlossen sind.
- Direkte, fest installierte Verbindungen zwischen den Knoten existieren nicht.
- Alle notwendigen Steuerungsfunktionen sind im Schaltnetz konzentriert

Dynamische Verbindungsstrukturen

- **Bus**, Mehrfachbus
- **Kreuzschienenverteiler** (Crossbar Switch)
  Alle angeschlossenen Prozessoren und Speicher können paarweise disjunkt gleichzeitig und blockierungsfrei miteinander kommunizieren.
- **Schalternetzwerke** aus Zweierschaltern



- **Permutationsnetze**

Dynamische Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

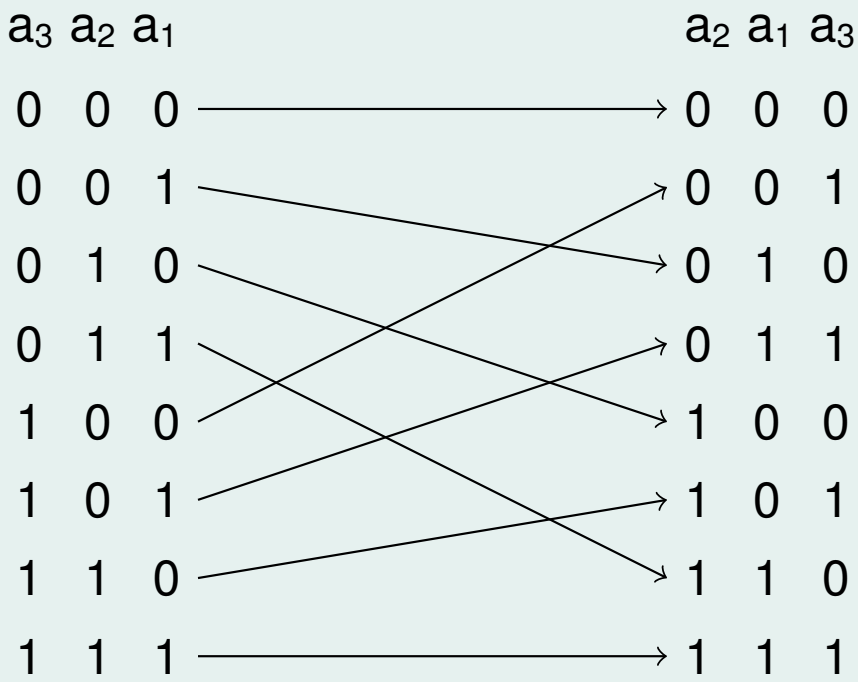
- **Permutationsnetze**
  - p Eingänge des Netzes können gleichzeitig auf p Ausgänge geschaltet werden
    $\Rightarrow$ Es wird eine Permutation der Eingänge erzeugt
  - **Einstufige und mehrstufige Permutationsnetze** enthalten eine bzw. mehrere Spalten von Zweierschaltern
  - **Reguläre Permutationsnetzwerke**
    - p Eingänge
    - p Ausgänge
    - k Stufen mit je $p/2$ Zwischenschaltern
    - p normalerweise eine Zweierpotenz
  - **Irreguläre Permutationsnetzwerke** weisen gegenüber der regulären Struktur Lücken auf

Karlsruher Institut für Technologie

Mischpermutation M (Perfect Shuffle)

Kreisverschiebung der Adressbits

$$M(a_n, a_{n-1}, \ldots, a_2, a_1) = (a_{n-1}, \ldots, a_2, a_1, a_n)$$

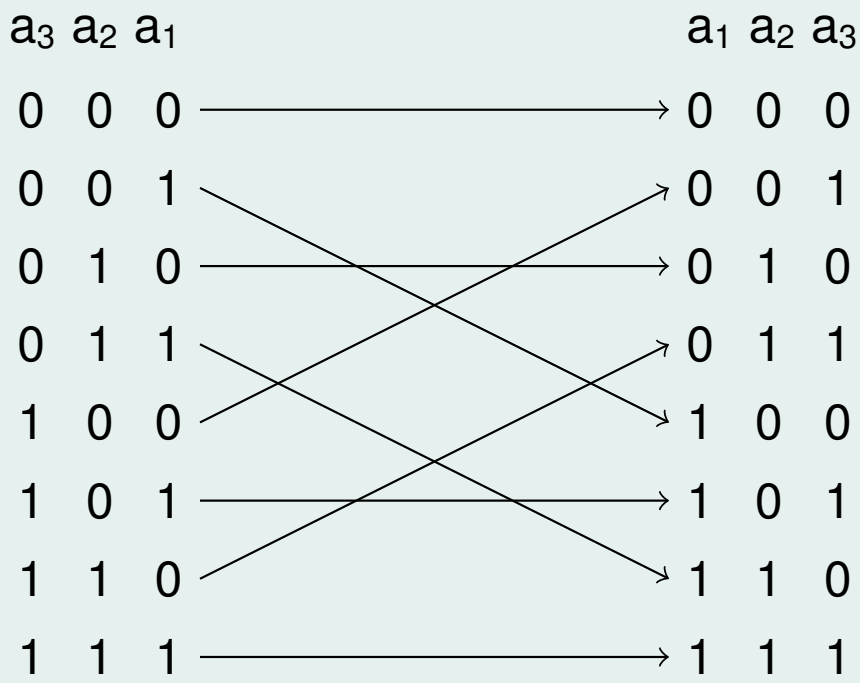


Dynamische Verbindungsstrukturen

Kreuzpermutation K (Butterfly)

Vertauschen des hochwertigsten mit dem niedrigwertigsten Adressbit

$$K(a_n, a_{n-1}, \ldots, a_2, a_1) = (a_1, a_{n-1}, \ldots, a_3, a_2, a_n)$$

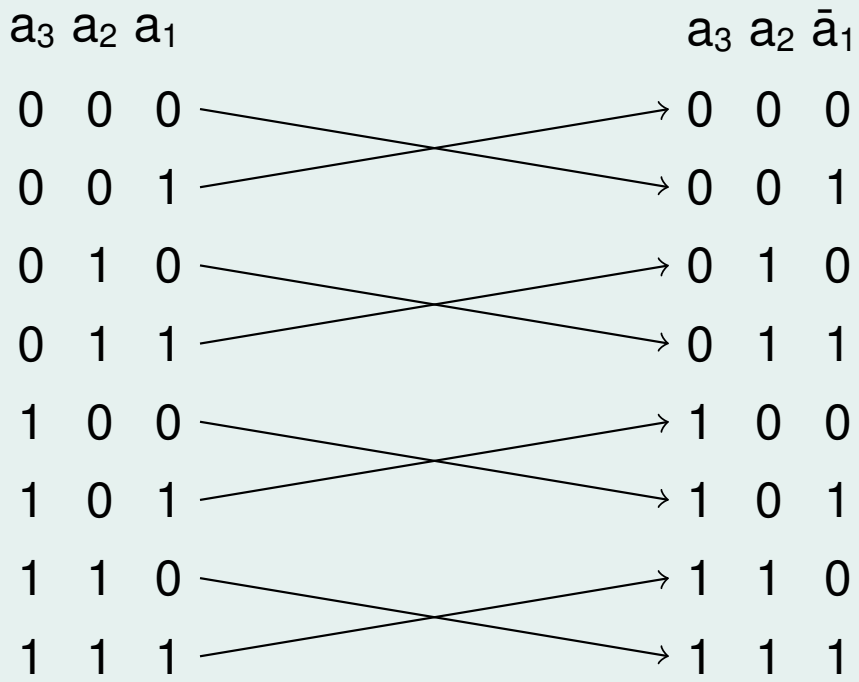


Dynamische Verbindungsstrukturen

Tauschpermutation T

Negation des niedrigwertigsten Adressbits

$$T(a_n, a_{n-1}, \ldots, a_2, a_1) = (a_n, a_{n-1}, \ldots, a_2, \bar{a}_1)$$



Dynamische Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

Umkehrpermutation U

Spiegelung aller Adreßbits um die Mitte der Adressbitfolge:

$$U(a_n, a_{n-1}, \ldots, a_2, a_1) = (a_1, a_2, \ldots, a_{n-1}, a_n)$$

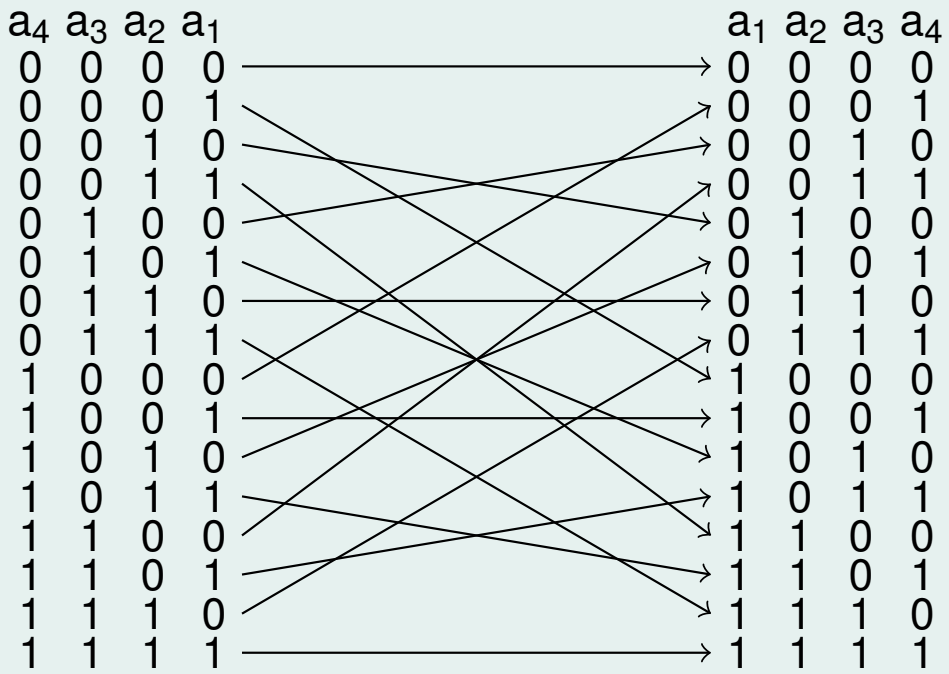
Für $n = 2$ und $n = 3$ ergibt sich dasselbe Grundmuster wie bei der Kreuzpermutation.

Dynamische Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

Umkehrpermutation

Für $n \geq 4$ unterscheiden sich jedoch Umkehr- und Kreuzpermutation



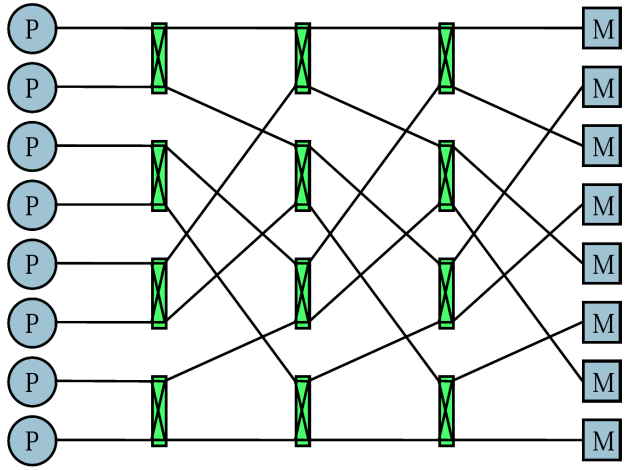
Dynamische Verbindungsstrukturen

Mehrstufige Permutationsnetzwerke:

- jeweils aus einem bestimmten Grundmuster aufgebaut
- oft mit einer der eben vorgestellen Permutationen

Beispiele:

- Omega-Netzwerk
  - Mischpermutation
- Switching-Banyan-Netzwerk
  - Kreuzpermutation
- Benes-Netzwerk
  - rekursiver Aufbau



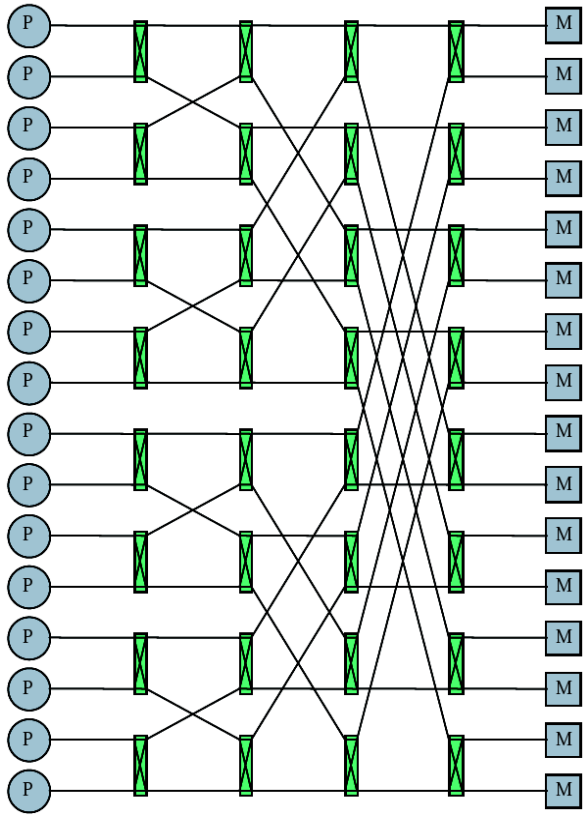
Dynamische Verbindungsstrukturen

Mehrstufige Permutationsnetzwerke:

- jeweils aus einem bestimmten Grundmuster aufgebaut
- oft mit einer der eben vorgestellen Permutationen

Beispiele:

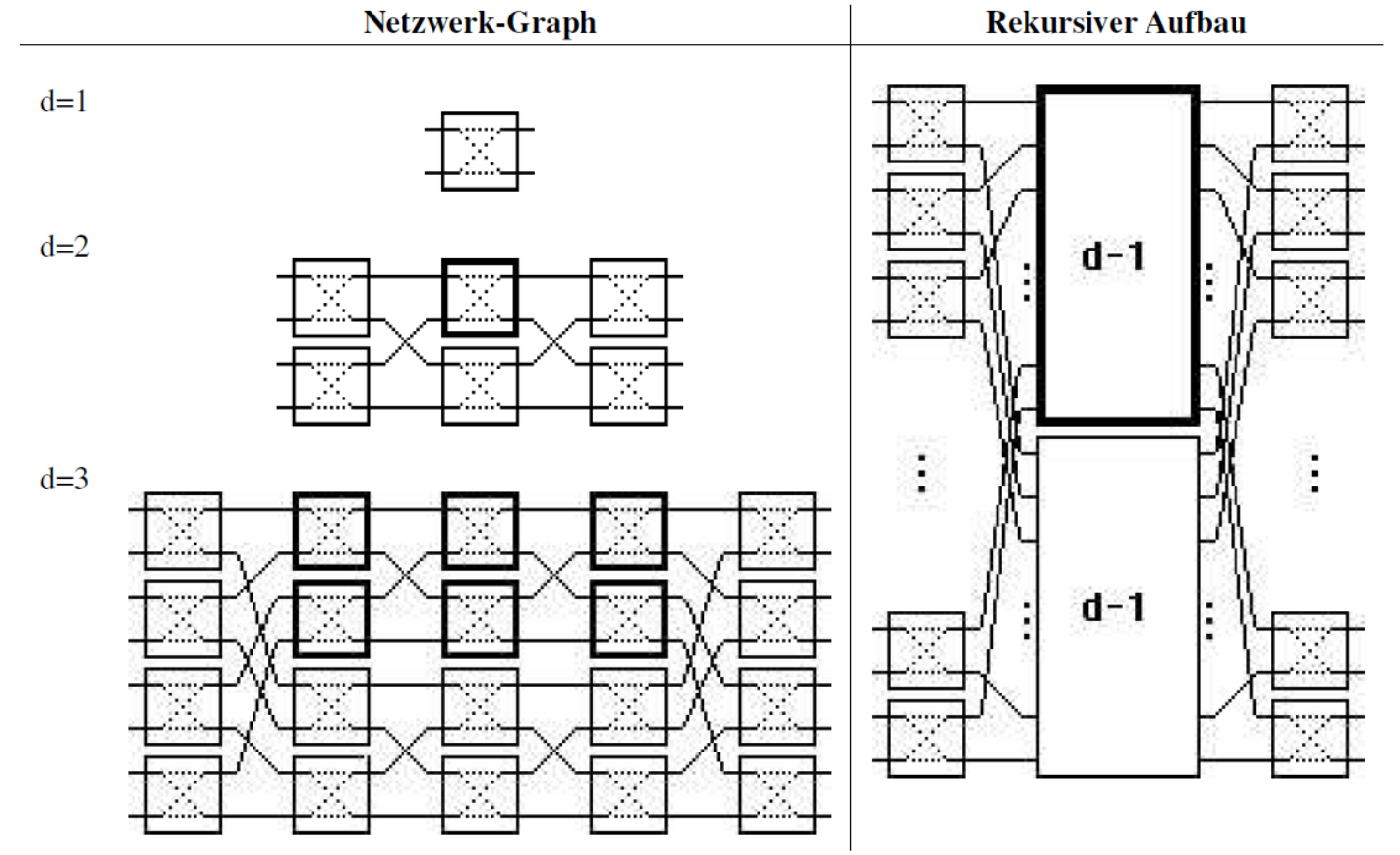
- Omega-Netzwerk
  - Mischpermutation
- Switching-Banyan-Netzwerk
  - Kreuzpermutation
- Benes-Netzwerk
  - rekursiver Aufbau



Dynamische Verbindungsstrukturen

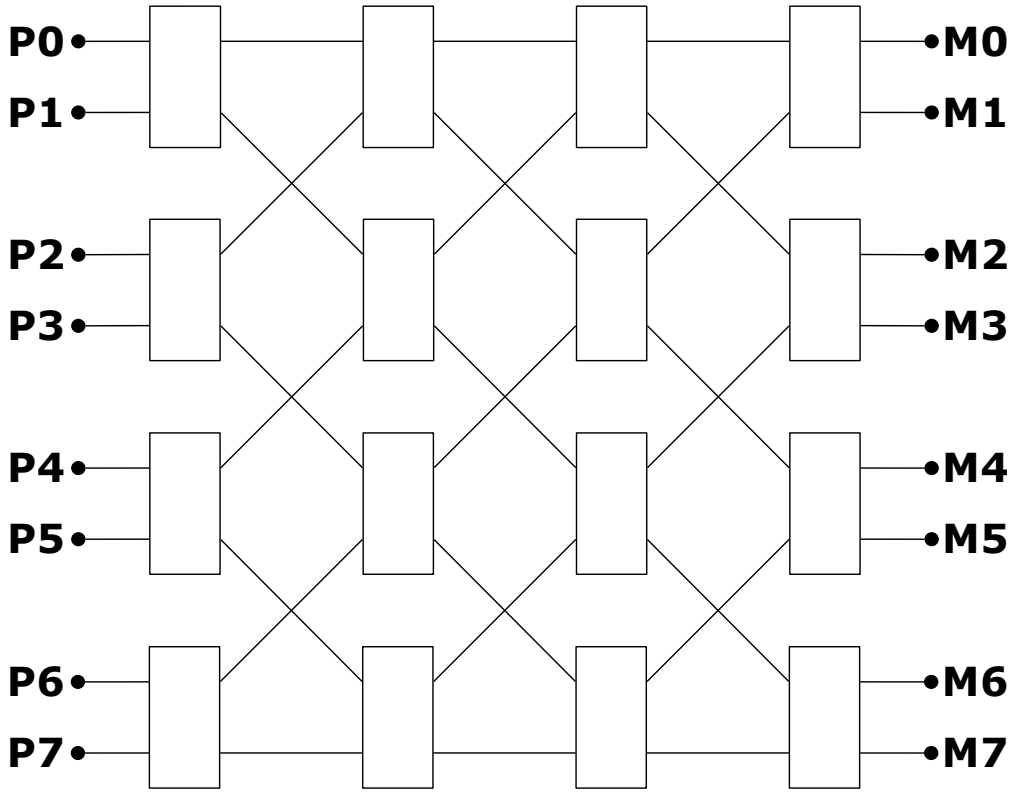
Benes-Netzwerk

- rekursiver Aufbau



Aufgabe 2 – Dyn. Verbindungsstrukturen

Gegeben sei ein dynamisches Verbindungsnetzwerk, das 8 Prozessoren (P0 – P7) mit 8 Speichern (M0 – M7) wie folgt verbindet:



Aufgabe 2 – Dyn. Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

a) **Kann zwischen jedem Prozessor- und Speicherpaar eine Verbindung hergestellt werden?**

Ja!

Hier war nicht nach gleichzeitig möglichen Verbindungen gefragt (vgl. Teilaufgabe b über alle Permutationen)

Aufgabe 2 – Dyn. Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

b) **Kann jede Permutation generiert werden? Begründen Sie Ihre Antwort!**

Nein! Beweis durch Widerspruch.

Annahme: jede Permutation kann generiert werden.

Gesucht: mindestens eine Permutation, für die die Annahme nicht gilt.

- Bei einer paarweisen Mischpermutation (Kreisverschiebung), hier also Verbindung von P0 und P1 mit M6 bzw. M7 gibt es nur einen möglichen Verbindungsweg, der gleichzeitig für beide Verbindungen benutzt werden müßte

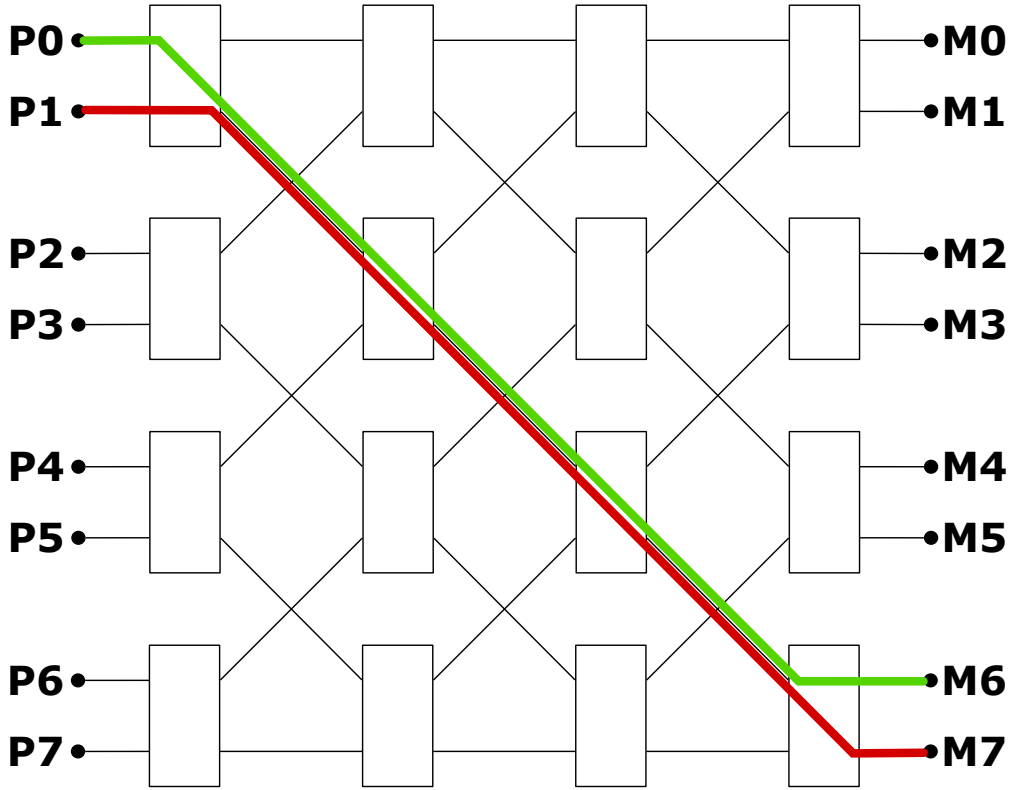
$\Rightarrow$ Blockierung

Aufgabe 2 – Dyn. Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

c) **Was ist die minimale Verbindungszahl ab der eine Blockierung auftritt? Geben Sie ein Beispiel an.**

Schon bei zwei Verbindungen kann eine Blockierung auftreten: z.B. bei P0 $\rightarrow$ M6 und P1 $\rightarrow$ M7

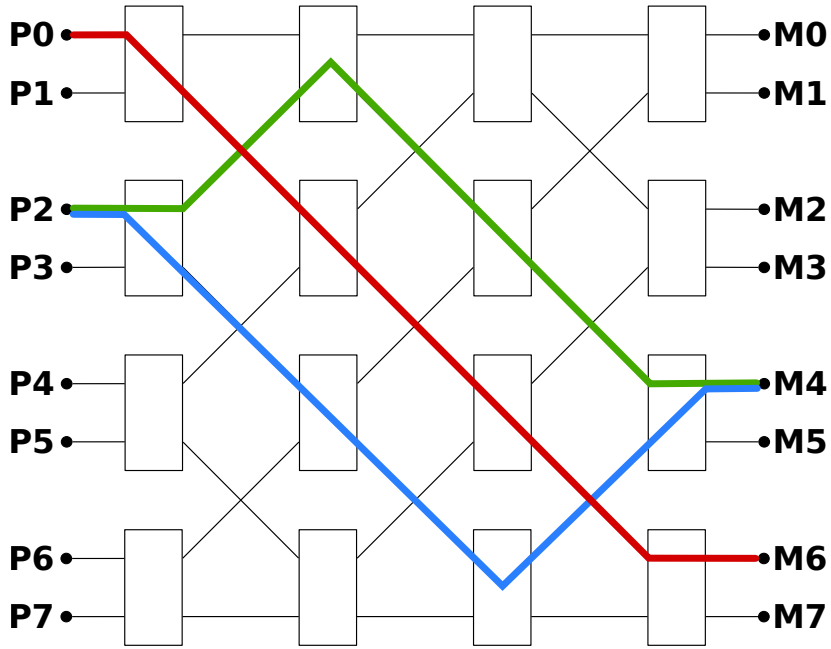


Aufgabe 2 – Dyn. Verbindungsstrukturen

Karlsruher Institut für Technologie

d) **Ist das Netzwerk redundant? Begründen Sie Ihre Antwort.**

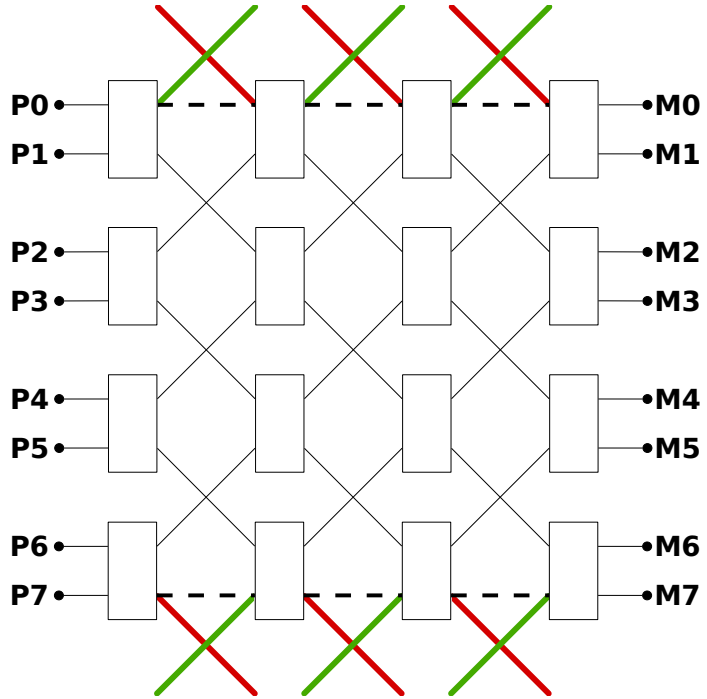
Nein!
Auf der einen Seite gibt es für bestimmte Paare mehre Möglichkeiten (vgl. P2 $\rightarrow$ M4), aber ebenso gibt es Paare, bei denen schon der Ausfall einer Verbindung die Weiterleitung ausschließt (z.B. P0 $\rightarrow$ M6).



Aufgabe 2 – Dyn. Verbindungsstrukturen

- **Wie könnten manche der Problem mit diesem Netzwerk vermeiden/verringert werden?**

  $\Rightarrow$ Verbindungen vom oberern Rand nach unten (vgl. n-dim Torus)



- Achtung, durch das Weglassen der gestrichelten Verbindungen wäre z.B. auch keine Verbindung von P0 zu M0 mehr möglich!

Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

Motivation

- Jedes Halbjahr neue Top500-Liste
  - Kommentare bei Golem und Heise
  - Mehr Frames beim Zocken,. . .
- Welchen Rechner kaufen?
- Was für eine Leistung ist notwendig?
  - $\Rightarrow$ Wetterbericht vgl. Ocean
  - Abstand zwischen den berechneten Punkten
  - Bei Ocean Gitter mit 100 x 100 Punkte, Abstand 20 km
- Unterstützte Programmiermodelle
- Skalierbarkeit

Oft keine eindeutige Antwort möglich!
Abhängigkeit von zu berechnenden Problemstellungen.

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

a) **Wieviel GFLOPs trägt jeder einzelne Prozessor zur theoretischen Spitzenleistung bei?**

- BlueGene/L:
  478200 GFLOPS / 212992 Proz $=$ $2,25$ GFLOPS/Proz
- HP XC6000:
  1900 GFLOPS / $(101 * 2 + 10 * 8)$ Proz $=$ $6,74$ GFLOPS/Proz
- Achtung, dies sind sehr theoretische und vereinfachte Werte!

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

b) **Was für ein Netzwerktyp/-struktur wird verwendet? (Topologie, Hersteller, statisches oder dynamisches Netz,. . .)**

- BlueGene/L:
  3-dimensionaler Torus, Eigenentwicklung von IBM, statisches Netz
- HP XC6000:
  Fat-Tree (Baumstruktur), Quadrics QsNet II Interconnect, dynamisches Netz, Rechnerknoten sind nicht im Netzwerk auf verschiedenen Ebenen verteilt

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

c) Wie groß ist der Durchmesser, d.h. die längste Verbindung zwischen zwei Knoten?

- BlueGene/L:

  Kantenlänge eines 3-dim. Würfels: $\sqrt[3]{212992} \approx 60$

  $\Rightarrow$ Durchmesser von 3D-Torus: $3 * 60/2 \approx 90$

  Bei einem Torus wird im Vergleich zu einem Gitter der Durchmesser auf Grund der Rückwärtskanten halbiert.

  Achtung, dies ist eine Schätzung ohne Berücksichtigung des wirklichen Netzwerkaufbaus!

- HP XC6000:
  Aufsteigen im Baum bis zur Wurzel und zurück: 4

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

d) **Vergleichen Sie Bandbreite, Latenz und Blockierungsfreiheit der beiden Netzwerke.**

- BlueGene/L:
  Netzwerk ist nicht blockierungsfrei, Bandbreitenengpässe können auftreten, die Latenz ist unterschiedlich je nach Verbindung
- HP XC6000:
  Netzwerk ist blockierungsfrei, Bandbreite von mehr als 800 MB/s, geringe Latenz

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

e) Gibt es einen Flaschenhals?

- BlueGene/L:
  Prinzipiell nein.
  Je nach Wegewahlverfahren können aber Probleme auftreten.
- HP XC6000:
  Nein, da ein „Dynamic Fat-Tree“ verwendet wird, bei dem jede Permutation geschaltet werden kann

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

f) **Bewerten Sie die Skalierbarkeit und Erweiterbarkeit der beiden Netzwerkvarianten.**

- BlueGene/L:
  Sehr gut, das Netzwerk kann einfach um eine Ebene erweitert werden, prinzipiell unbeschränkt
- HP XC6000:
  Sehr schlecht, erweiterbar um jeweils eine 2-er-Potenz, maximal 4096 angeschlossene Rechenknoten, d.h. maximal $\approx$ 40000 CPUs je nach Rechenknoten

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

g) **Nehmen Sie an, die Prozessorenzahl des HP XC6000 würde an die Größenordnung der Prozessorenzahl des BlueGene/L angepasst. Welches Problem hinsichtlich der Netzwerkkommunikation ergibt sich hierbei? Insbesondere welche Veränderungen am Netzwerk müssten durchgeführt werden, damit es die Anforderungen hinsichtlich Blockierungsfreiheit weiterhin erfüllt?**

- Netzwerk besteht aus drei Schichten miteinander verknüpfter Switches
- Ebene 1 - Switche haben genausoviel Verbindungen zur nächsten Ebene wie angebundene Rechenknoten
- In jeder Ebene nimmt die Portzahl quadratisch zu

$\Rightarrow$ Netzwerkgröße limitiert durch die größe (Portzahl) der Switche

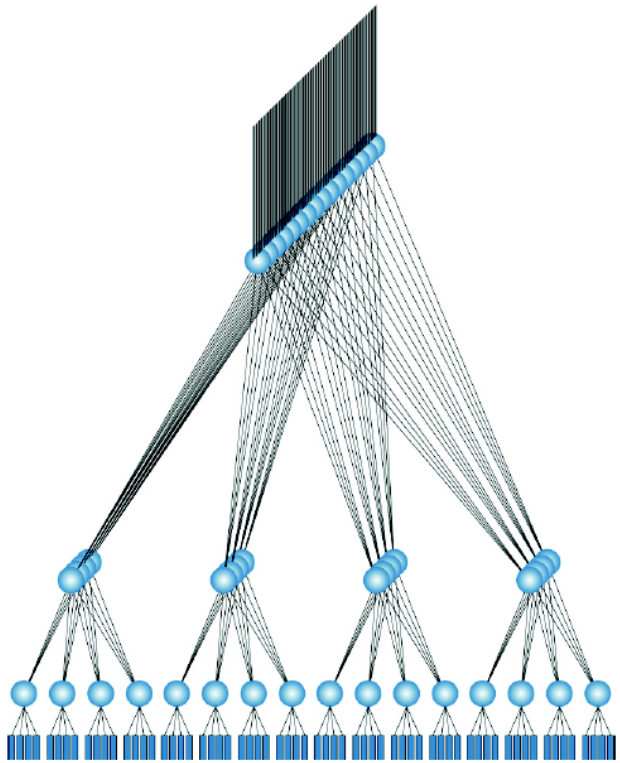
$\Rightarrow$ Nach Erweiterung auf $\sim$200000 Prozessoren müßten Switche mit mehr als 20000 Port verwendet werden.

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

g) Quadrics

- Firma inzwischen insolvent
- Dieser Netzwerktyp wurde zeitweise ($\sim$ 2003) von mehreren der Top-10 der schnellsten Supercomputern der Welt genutzt.
- Quadrics QsNet III wurde nie auf den Markt gebracht



Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

g) Quadrics

- Weitere Netzwerktypen
  - **Infiniband**
  - **Gigabit Ethernet**
  - **Spezielle Entwicklungen** (vgl. IBM BlueGene)
  - Myrinet
  - Scalable Coherent Interconnect (SCI)
  - NUMAlink
  - HIPPI
  - ...

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

g) Beispiel: Infiniband-Switch mit 4096 Ports

Aufgabe 3 – Vergleich von Parallelrechnern

Karlsruher Institut für Technologie

h) **Welche Vereinfachungen im Netzwerk könnten gemacht werden, um den Aufwand für Netzwerkhardware zu verringern und was wären die Auswirkungen hiervon?**

- Ausdünnung der Verbindungen in Richtung Wurzel des Baumes

$\Rightarrow$ Keine Blockierungsfreiheit mehr

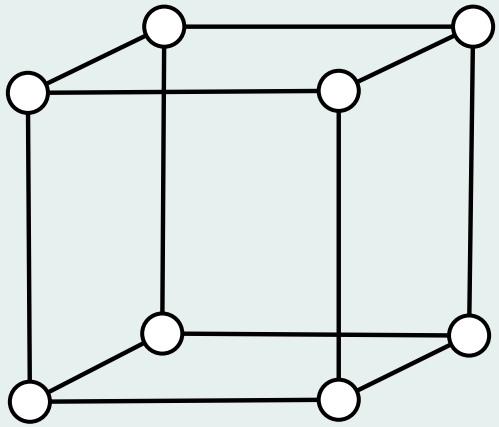
$\Rightarrow$ Durchsatz verringert sich

$\Rightarrow$ Redundanz geringer

Aufgabe 1

d) **Zeichnen Sie einen K-ären n-Kubus mit $K = 2$ und $n = 3$.**

- Radius $K = 2$, Dimension $n = 3$



Klausuraufgaben Wintersemester 2010/11

Karlsruher Institut für Technologie

Aufgabe 1

e) **Das Netzwerk aus Aufgabe d) wird erweitert, so dass $n = 4$ ist. Bestimmen Sie die Anzahl von Knoten N.**

- $N = 2^n$ hier also $N = 2^4 = 16$

Wieviel Knoten müssen bei diesem Netzwerk für jede Erweiterung von n hinzugefügt werden ($K = 2$)?

- Jede Erweiterung benötigt mindestens die Verdoppelung der Knotenzahl.

Klausuraufgaben Wintersemester 2010/11

Karlsruher Institut für Technologie

Aufgabe 1

f) **Was versteht man unter einer vollständigen Verbindung?**

- Bei einem Verbindungsnetzwerk mit vollständiger Verbindung ist jeder Knoten mit jedem anderen Knoten verbunden.

Was ist dabei der große Nachteil?

- Nachteil: Schlechte Erweiterbarkeit (Netzwerkkosten steigen quadratisch mit der Anzahl der Knoten)

Klausuraufgaben Sommersemester 2010

Karlsruher Institut für Technologie

Aufgabe 4

a) **In der Vorlesung haben Sie das IBM BlueGene/P - System „JUGENE“ des Forschungszentrums Jülich kennengelernt. Als eines von 5 Verbindungsnetzen besitzt dieses System ein 3D-Torus-Netzwerk. Gehen Sie von einem idealisierten 3D-Torus mit gleichen Kantenlängen und $N = n^3$ Knoten aus:**

- **Wie groß ist bei diesem Netzwerktyp der Verbindungsgrad, der Diameter und die Bisektionsbandbreite?**
- **Wie ist die Skalierbarkeit, wenn bei einer Erweiterung die gleichen Kantenlängen des 3D-Torus nicht beibehalten werden müssen?**

Klausuraufgaben Sommersemester 2010

Karlsruher Institut für Technologie

Aufgabe 4

a) **... Als eines von 5 Verbindungsnetzen besitzt dieses System ein 3D-Torus-Netzwerk. Gehen Sie von einem idealisierten 3D-Torus mit gleichen Kantenlängen und $N = n^3$ Knoten aus:**

- **Wie groß ist bei diesem Netzwerktyp der Verbindungsgrad, der Diameter und die Bisektionsbandbreite?**
- Verbindungsgrad: 6
- Diameter: $\frac{3*(n-1)}{2}$
- Bisektionsbandbreite: $2 * n^2$
  $n * n = n^2$ direkte Verbindungen durch den Schnitt sowie je eine Rückwärtskante

Klausuraufgaben Sommersemester 2010

Karlsruher Institut für Technologie

Aufgabe 4

a) **... Als eines von 5 Verbindungsnetzen besitzt dieses System ein 3D-Torus-Netzwerk. Gehen Sie von einem idealisierten 3D-Torus mit gleichen Kantenlängen und $N = n^3$ Knoten aus:**

- **Wie ist die Skalierbarkeit, wenn bei einer Erweiterung die gleichen Kantenlängen des 3D-Torus nicht beibehalten werden müssen?**
- Skalierbarkeit: gut!

$\Leftrightarrow$ Eine Erweiterung ist einfach durch Hinzufügen einer Ebene möglich. Der Verbindungsgrad der Knoten ändert sich nicht.

Klausuraufgaben Sommersemester 2010

Karlsruher Institut für Technologie

Aufgabe 4

b) **Wieso verfügt das JUGENE-System zusätzlich über das sogenannte "Collective Network"?**

- Unterstützung von One-to-all-Broadcasts
- Unterstützung von Reduktionsoperationen
- Dieses Semester nicht mehr auf den Vorlesungsfolien...

c) **Welcher bekannten Permutation entspricht das Grundmuster der einzelnen Stufen eines Omega-Netzwerks?**

- Das Grundmuster der einzelnen Stufen entspricht der Mischpermutation.

Hinweise

Vektorprozessoren und -computer und deren Programmierung

- Wird in einer späteren Vorlesung behandelt
- **Klausurrelevant!**
- Thema wird in der nächsten Übung behandelt
- Bisher jedoch immer in einer Aufgabe zusammen mit den Themen der Übungen 5 und 6

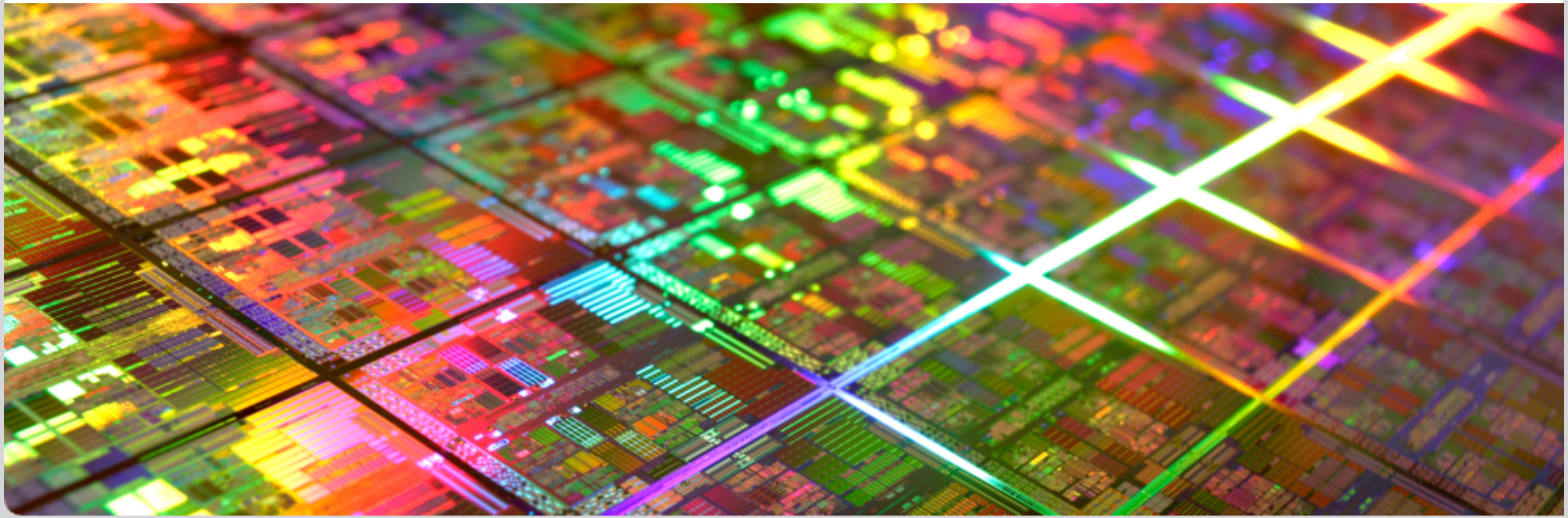
Karlsruher Institut für Technologie

Fragen?

Karlsruher Institut für Technologie

Zentralübung Rechnerstrukturen im SS 2011
Verbindungsstrukturen

Oliver Mattes, Wolfgang Karl

Lehrstuhl für Rechnerarchitektur und Parallelverarbeitung

30. Juni 2011