**Übungszettel 1**

**Aufgabe 1:**

1. Nennen Sie drei unterschiedliche Einsatzbereiche für Parallelisierung.
2. Was sind die Voraussetzungen für „Parallel Processing“?
3. Erklären Sie den Begriff „Speedup“.

**Aufgabe 2:**

Erläutern Sie zwei Gemeinsamkeiten und Unterschiede der TM, RAM und des v. Neumann Konzepts.

**Aufgabe 3:**

Betrachte das folgende Programm 1.

Programm 1

Read 0

JGTZ gr\_0

Write =1

Halt

gr\_0 Store 1

Sub =1

Store 2

JGTZ loop

Write =1

Halt

loop Load 1

Mult 2

Store 1

Load 2

Sub =1

Store 2

JGTZ loop

Write 1

Halt

1. Welche Berechnung wird mit dem Programm durchgeführt und welches Konzept steckt dahinter?
2. Wie sieht der Verlauf der Register aus, wenn das Programm aufgerufen wird?

**Lösungen zum Übungszettel 1**

**Aufgabe 1:**

1. Meteorologie (Wettervorhersage), Medizin (MRT), Biologie (Gene Mapping)
2. Das Problem muss auf Daten- und/oder Prozess-Ebene aufteilbar sein.
3. „Speedup“ ist der Quotient aus serieller und paralleler Ausführungszeit. Er gibt den Geschwindigkeitszuwachs an, der an der seriellen Ausführung gemessen wird.

**Aufgabe 2:**

Unterschiede:

* V. Neumann Rechner einziger real umgesetzter Rechner
* TM besitzt Lese- und Schreibkopf auf einem I/O-Band, RAM besitzt einen Lesekopf für ein I-Band und einen Schreibkopf für das O-Band.

Gemeinsamkeiten:

* Grundmodelle zur Berechenbarkeit
* Alle besitzen eine serielle Ausführung
* Ein Programm wird benötigt

**Aufgabe 3:**

1. Das Programm berechnet für eine vorgegebene Zahl die Fakultät.  
   n! = n \* (n – 1) \* (n – 2) \* … \* 1  
   Das Konzept entspricht der RM, Registermaschine.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **R0** | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 6 | 6 | 2 | 1 | 1 | 6 | 6 | 6 | 1 | 0 | 0 | ***1*** |
| **R1** | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | ***6*** |
| **R2** | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | ***1*** |

**Übungszettel 2**

**Aufgabe 1:**

1. Welche Thesen zum Speedup wurden in der Vorlesung vorgestellt?
2. Wie sind die Thesen bzgl. des Speedup Faktors einzuordnen?
3. Geben Sie Möglichkeiten an, die Thesen zu erweitern.

**Aufgabe 2:**

Das Gesetz von *Amdahl* beschäftigt sich mit Aussagen über die parallelen und sequenziellen Anteile eines Programms. Hieraus lässt sich der bereits besprochene Speedup herleiten, den ein Programm durch eine mögliche Parallelisierung maximal erzielen kann.

1. Warum kann die Ausführungszeit eines Programms durch Hinzufügen von *N* Prozessoren nicht beliebig verringert werden?
2. Welcher ist momentan der wesentlichste Faktor, der die lineare Skalierung bezüglich der Ausführungszeit verhindert?
3. Nennen Sie drei unterschiedliche Interconnect-Varianten bei Parallelrechnern. (Die Antworten können sich auf die Topologie als auch die verwendete Technik beziehen.)

**Aufgabe 3:**

Die Taxonomie von *Flynn* teilt Rechnerarchitekturen in vier Klassen ein:

**SISD / MISD / SIMD / MIMD**

1. Was bedeuten die vier Akronyme?
2. Falls möglich, finden Sie zu jeder Klasse zwei real existierende Beispiele.
3. Gibt es noch andere Taxonomien für Parallelrechner? Wenn ja, welche?

**Lösungen zum Übungszettel 2**

**Aufgabe 1:**

1. Wilke’sche paradoxon: Superlinearer Speedup  
   Minsky:   
   Amdahl:
2. Amdahl: Kommunikationsaufwand und Speichergeschwindigkeit mit berechnen

**Aufgabe 2:**

1. Der Speedup wird durch den Anteil des seriellen Codes im Programm irgendwann gehemmt.
2. Speichergeschwindigkeit und Zugriffszeit ist bisher noch das Bottleneck.
3. Tightly coupled (eng gekoppelt)  
   Loosely coupled (lose gekoppelt)  
   Hybrid

**Aufgabe 3:**

1. **SISD**: Single Instruction, Single Data   
   **SIMD**: Single Instruction, Multiple Data  
   **MISD**: Multiple Instruction, Single Data   
   **MIMD**: Multiple Instruction, Multiple Data
2. **SISD**: PC (v. Neumann Rechner)  
   **SIMD**: Vektorrechner, PRAM  
   **MISD**: Schachcomputer, Shuttlecomputer (Redundante Rechnung)  
   **MIMD**: Cray-1 (80 Mflops), Cray XK7 (1 Petaflops, CPU+GPU), usw.
3. Hardware level Support (Klassen):  
   Klassifizierung aufgrund der Methode, die durch die Hardware technisch unterstützt wird (Multicore, Symmetric multiprocessing, Distributed computing, Cluster, Massive parallel, Grid, GPGPU, Circuits, Vector processor, usw.)

**Übungszettel 3**

In dieser Übung sollen einige Grundlagen zur parallelen Programmierung in der Programmiersprache Java kennengelernt und ausprobiert werden.

**Aufgabe 1:**

1. Moderne Betriebssysteme unterstützen die Nebenläufigkeit in Prozessen und Threads. Beschreiben Sie den Unterschied, Vorteil und Nachteil von Prozessen und Threads im Kontext der Programmiersprache Java.
2. Programmieren Sie eine kleine Java-Anwendung mit folgenden Schritten:  
   - 10 Threads werden in einer „for“-Schleife mit der „Thread“-Klasse gestartet  
   - jeder Thread gibt zu Beginn der Ausführung den Text „Start“ + Threadname aus  
   - jeder Thread wartet anschließend für 5 Sekunden  
   - jeder Thread gibt zum Schluss den Text „End“ + Threadname aus
3. Starten Sie das Programm und beschreiben Sie die Ausgabe. Was fällt Ihnen auf?

**Aufgabe 2:**

1. Neben den einfachen Threads bietet die Java Concurrency-API weitere Möglichkeiten zur parallelen Programmierung. Beschreiben Sie was ein „Thread-Pool“ ist und welche Vorteile er gegenüber normalen Threads bietet.
2. Machen Sie sich mich dem „ExecutorService“ in Java vertraut und programmieren Sie das Beispiel aus Aufgabe 1 mit einem ExecutorService Thread-Pool der Größe 10.
3. Welchen Unterschied bemerken Sie, wenn der Thread-Pool mit einer Größe von 2 erstellt wird und warum?

**Aufgabe 3:**

Die bisherigen Methoden führen den Code lediglich einmal im Thread aus. Manchmal ist es allerdings sinnvoll den gleichen Code in periodischen Abständen auszuführen.

1. Geben Sie Beispiele bei denen diese periodische Ausführung sinnvoll wäre.
2. Auch hierfür gibt es in Java eine Implementierung: „ScheduledExecutorService“.
3. Programmieren Sie eine kleine Java-Anwendung, welche mit Hilfe des ScheduledExecutorService alle 5 Sekunden die aktuelle Zeit in der Form „hh-mm-ss“ ausgibt.

**Lösungen zum Übungszettel 3**

**Aufgabe 1:**

1. Prozesse sind vom Betriebssystem ausführbare Programme, welche getrennte Speicherbereiche nutzen. Threads hingegen werden von einem Prozess erstellt und greifen auf den gleichen Speicherbereich des Prozesses zu.  
   Threads haben den Vorteil, dass die Kommunikation untereinander leichter zu implementieren ist und sie schnell erstellt werden können. Einen weiteren Prozess zu starten, dauert länger und kostet z.B. bei Java die Ressourcen einer kompletten JVM-Instanz. Nachteil der Threads ist die nötige Synchronisation von Datenzugriffen.
3. Die Ausgaben sind durch die parallele Ausführung nicht zwangsläufig in Reihenfolge.

**Aufgabe 2:**

1. Ein Thread-Pool ist eine Ansammlung von Threads, welche für Aufgaben erstellt und wiederverwendet werden können. Die Aufgaben werden hierbei in einer Warteschlange abgearbeitet. Bei einem begrenzten Thread-Pool wird entsprechend auf den nächsten freien Thread gewartet.
3. Die Ausführung mit einem Thread-Pool der Größe 2 zeigt deutlich die in a) beschriebene Funktion der Warteschlange mit einem begrenzten Thread-Pool. Die Ausgaben sind in 2er Blöcke gruppiert.

**Aufgabe 3:**

1. Periodische Pings auf eine Ressource als Verfügbarkeitscheck, periodischer Check auf neue Emails, usw.

**Übungszettel 4**

**Aufgabe 1:**

1. Beschreiben Sie das grundlegende Konzept der Parallelen Registermaschine (PRAM).
2. Welche Erweiterungen beinhaltet die PRAM gegenüber der RAM?
3. Wie ist der Ablauf bei einem FORK-Aufruf der PRAM?
4. Durch die entstehende Nebenläufigkeit kann es zur Laufzeit von PRAM-Programmen zu Konflikten kommen. Welche Konflikte können auftreten und wie wurden diese theoretisch gelöst?

**Aufgabe 2:**

Erstellen Sie mittels der Schaltsymbole von Halb- und Volladdierern einen Schaltkreis, welcher zwei Binärzahlen der Länge 3 Bit addieren kann.

**Aufgabe 3:**

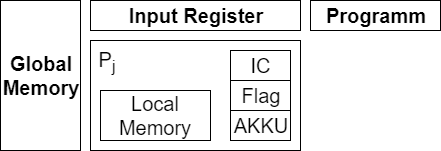
Erstellen Sie die Schaltkreise C3 (n=3) und C5 (n=5), welche die Sprache der Palindrome über B erkennen.

**Aufgabe 4:**

Wieso werden parallele Berechnungen oft mit Schaltkreisen simuliert?

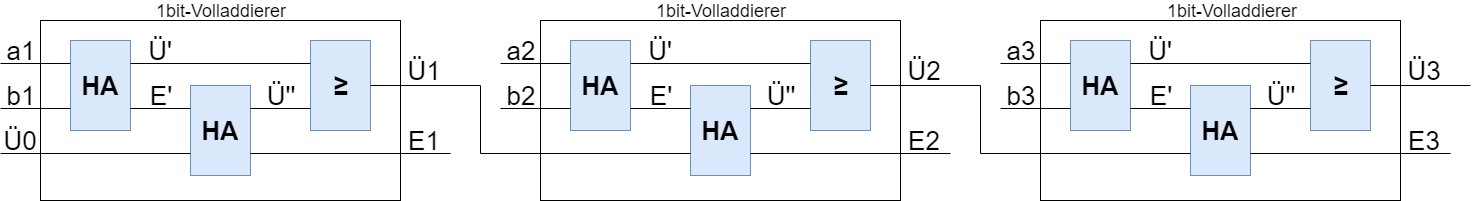
**Lösungen zum Übungszettel 4**

**Aufgabe 1:**

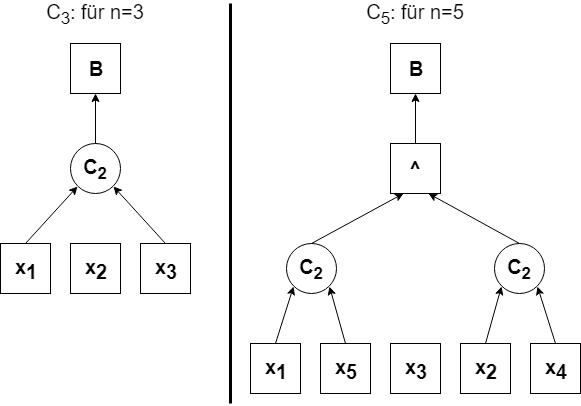


1. Der Instruktionsbereich wird durch den FORK-Befehl erweitert, der neue Prozessoren generieren kann.
2. Programmablauf trifft auf den Befehl „**FORK *label***“:  
   1. Schritt: Freier Prozessor wird gesucht - Pj  
   2. Schritt: Speicher von Pj löschen  
   3. Schritt: AKKU-Inhalt von P0 in Pj übertragen  
   4. Schritt: Pj bei ***label*** starten  
   **P0 und Pj laufen nebenläufig.**
3. Konflikte:  
   - Zwei Prozessoren wollen gleichzeitig aus einer Zelle lesen/in eine Zelle schreiben.  
   - Prozessor will aus einer Zelle lesen, in die ein anderer schreiben will.  
   Lösungen sind geeignete PRAM-Modelle: EREW-PRAM, CREW-PRAM, CRCW-PRAM

**Aufgabe 2:**



**Aufgabe 3:**



**Aufgabe 4:**

* Einfaches paralleles Modell, dass sofort in Hardware gegossen werden kann
* Komplexitätsmaße leicht definierbar (Tiefe = Worst Case Laufzeit, Größe = erforderliche Hardware). Platz und Zeit sind realistische Größen.
* Schaltkreise sind leicht übersetzbar in andere parallele Modelle (TM, RAM, PRAM) oder Graphen.

**Übungszettel 5**

**Aufgabe 1:**

1. Erklären Sie das Modell des Zellulären Automaten (ZA).
2. Welche Vor- und Nachteile beinhaltet das Modell?

**Aufgabe 2:**

*Simulation eines ZA (Conway’s Game of Life):* <https://bitstorm.org/gameoflife/>

Die Welt ist in diesem Fall zweidimensional und besteht aus einem quadratischen Gitter. Die Zellen auf diesem Gitter werden geboren, bleiben am Leben oder sterben ab in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte in ihrer Moore-Nachbarschaft. Die Zellen haben zwei mögliche Zustände: 0 = tot und 1 = lebend. Die Regeln sind wie folgt:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Zustand** | **Nachbarzahl** | **Folgezustand** |
| 0 | 3 | 1 |
| 1 | 3 | 1 |
| 0 | < 2 oder > 3 | 0 |
| 1 | < 2 oder > 3 | 0 |
| 0 | 2 | 0 |
| 1 | 2 | 1 |

Folgende Startkonfiguration mit der Anzahl lebender Nachbarn (grün) ist gegeben:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I** | **J** | **K** |
| **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** |  | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |
| **5** |  | 0 | 2 | 2 | 3 | 1 |  |  |  |  |  |
| **6** |  | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 |  |  |  |  |  |
| **7** |  | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 |  |  |  |  |  |
| **8** |  | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |  |  |  |  |  |
| **9** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Simulieren Sie zwei Folgegenerationen anhand der beschriebenen Regeln.
2. Welche Auffälligkeit ist bei der Simulation erkennbar?

**Aufgabe 3:**

1. Erstellen Sie einen Datenflußgraph nach Aufrollen der folgenden Schleife:  
   DO I = 1,5  
    C(I) = A(I) \* B(I)  
    E(I) = C(I) + D(I)  
    F(I) = C(I) – D(I)  
   ENDDO
2. Welche Möglichkeiten gibt es, diese Rechenschritte zu parallelisieren?  
   (Tipp: horizontal und vertikal)
3. Welche Art der Parallelisierung wird von Vektormaschinen angewandt?

**Lösungen zum Übungszettel 5**

**Aufgabe 1:**

1. Unter einem zellulären Automaten (ZA) versteht man eine (meist) zweidimensionale, gitterförmige Anordnung quadratischer Zellen nebst zugehöriger Regeln, die beschreiben, in welcher Weise die Zustände der Nachbarzellen den Zustand einer Zelle beeinflussen (Nüchel 1995). Ein ZA ist demnach ein Verbund endlicher Automaten, die einer eingeschränkten TM entsprechen. Die Grundcharakteristika eines ZA sind wie folgt:  
   - Seine Entwicklung findet in Raum und Zeit statt  
   - Sein Raum ist eine diskrete Menge zahlreicher Zellen  
   - Simulation verteilter Systeme mit ZAs  
   - Jede dieser Zellen hat nur eine endliche Anzahl möglicher Zustände  
   - Die Zustände verändern sich in diskreten Zeitschritten  
   - Alle Zellen sind identisch und verhalten sich nach den gleichen Regeln  
   - Die Entwicklung einer Zelle hängt nur ab von ihrem Zustand und dem ihrer sie lokal umgebenden Nachbarzellen
2. Vorteile:  
   - Mit sehr einfachen Regeln kann ein sehr komplexes Verhalten modelliert werden  
   - Die Dynamik ist „exakt“, d.h. da nur mit diskreten Werten gearbeitet wird, treten keine Rundungsfehler auf, die sich akkumulieren können und so Einfluss auf die Dynamik nehmen  
   - Sehr einfache Implementierung und Kontrolle der Software  
   - Es besteht häufig ein Geschwindigkeits- und Speicherplatzvorteil bei der Simulation  
   - Erfahrungswissen lässt sich häufig leicht in Regeln überführt werden  
   Nachteile:  
   - Der ZA berücksichtigt lediglich direkte Zell-Nachbarschaften  
   - Sequentielle und daher keine parallele Verarbeitung möglich  
   - Relativ hoher Hardwareaufwand erforderlich

**Aufgabe 2:**

a)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I** | **J** | **K** |
| **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** |  | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |
| **5** |  | 0 | 2 | 2 | 3 | 1 |  |  |  |  |  |
| **6** |  | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 |  |  |  |  |  |
| **7** |  | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 |  |  |  |  |  |
| **8** |  | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |  |  |  |  |  |
| **9** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

D5, E7, E6 bleiben am Leben; D6, C7 sterben; C6, E5 werden lebendig

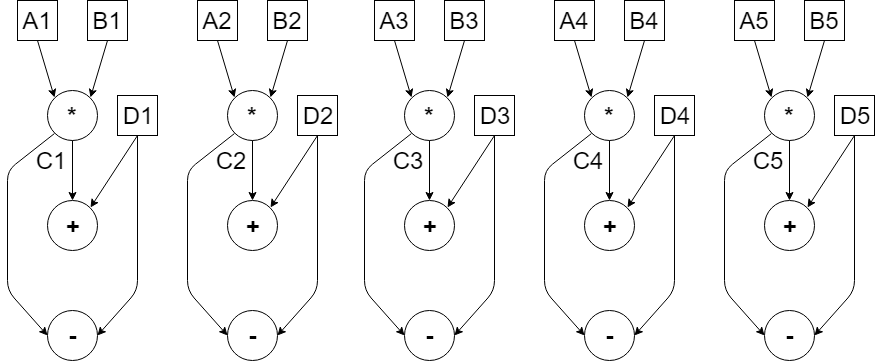
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I** | **J** | **K** |
| **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** |  |  | 1 | 2 | 2 | 1 |  |  |  |  |  |
| **5** |  | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 |  |  |  |  |  |
| **6** |  | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 |  |  |  |  |  |
| **7** |  | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 |  |  |  |  |  |
| **8** |  |  |  | 1 | 1 | 1 |  |  |  |  |  |
| **9** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

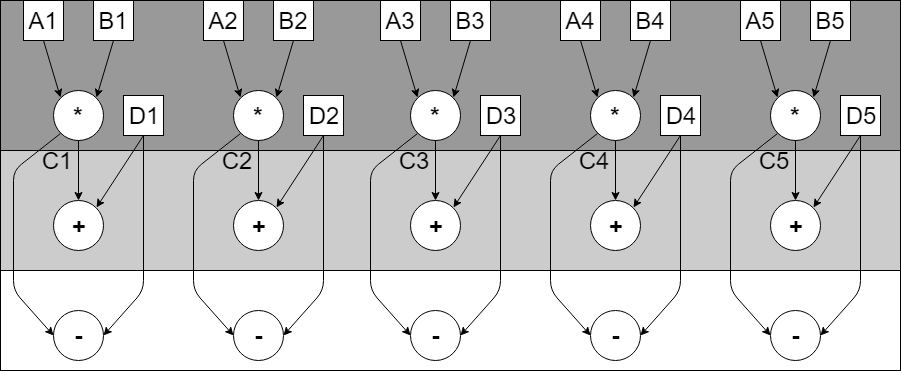
D5, E5, E6 bleiben am Leben; C6, E7 sterben; D7, F6 werden lebendig

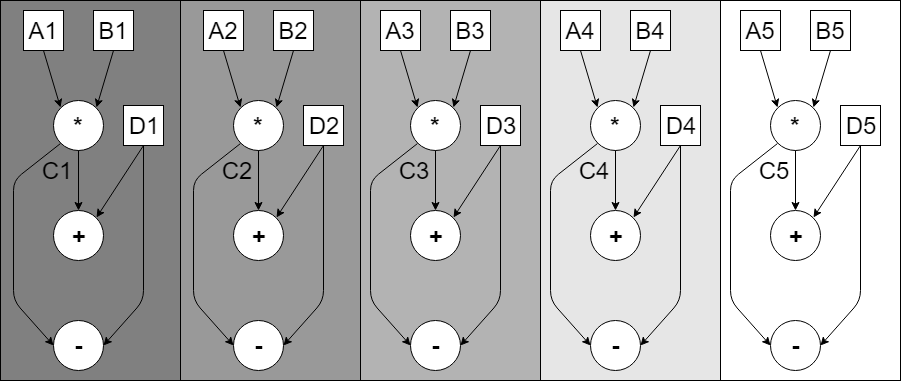
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I** | **J** | **K** |
| **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** |  |  | 1 | 2 | 2 | 1 |  |  |  |  |  |
| **5** |  |  | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 |  |  |  |  |
| **6** |  |  | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 |  |  |  |  |
| **7** |  |  | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 |  |  |  |  |
| **8** |  |  | 1 | 1 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **9** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

b) Das Ergebnis ist die Anfangsfigur horizontal gespiegelt und um 90° nach rechts gedreht.

**Aufgabe 3:**



1. Horizontale Parallelisierung - Vektorisierung  
     
   Vertikale Parallelisierung – Iteration



1. Die horizontale Parallelisierung wird von den Compilern der Vektormaschinen angewandt, aber auch von manchen Compilern für superskalare Prozessoren. Auf Vektorrechnern sinnvollerweise eingesetzte Programmiersprachen kennen den Datentyp Vektor. Der Programmierer formuliert den Algorithmus demnach nicht als Schleife, sondern als drei Vektoroperationen. Der Compiler braucht dann diese Transformation nicht mehr leisten.

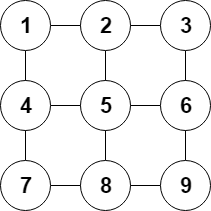
**Übungszettel 6**

**Aufgabe 1:**

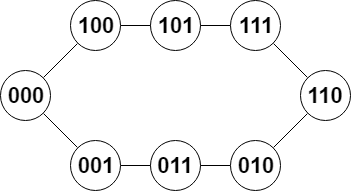
1. Erklären Sie den Begriff „Verbindungsnetzwerk“ und seine Aufgaben.
2. Welche Arten von Verbindungsnetzwerken gibt es? Erläutern Sie die Unterschiede und nennen Sie jeweils zwei typische Vertreter dieser Netzwerke.

**Aufgabe 2:**

1. Bestimmen Sie Grad, Durchmesser und Kantenkonnektivität des nachfolgenden Verbindungsnetzwerkes. Welche Topologie wird hier dargestellt?



1. Überführen Sie den nachfolgenden Ring mit 8 Knoten in ein 2x4-Gitter und anschließend in einen 3-dimensionalen Würfel.



**Aufgabe 3:**

1. Was ist eine „Connection Machine (CM)“ und wofür wurde sie konzipiert?
2. Welches Verbindungsnetzwerk wurde bei der CM-1 verwendet? Wie wurde im Netzwerk kommuniziert?

**Übungszettel 7**

**Aufgabe 1:**

1. Nennen Sie die zentralen Verwendungszwecke eines Computerclusters.
2. Erläutern Sie die zugrunde liegende Architektur eines *Beowulf-Clusters*.
3. Wie werden die Aufgabenverteilung, die Kommunikation und der Datenaustausch auf einem *Beowulf-Cluster* realisiert?

**Aufgabe 2:**

1. Welche Arten von Deadlocks gibt es?
2. Wie lassen sich Deadlocks verhindern?

**Aufgabe 3:**

In dieser Aufgabe soll das Message-Passing-Interface (MPI) Konzept praktisch nähergebracht werden. Hierfür müssen einige Vorbereitungen getroffen werden:

1. Zur Verwendung von MPI wird eine Bibliothek benötigt. Da diese Aufgabe in Java umgesetzt wird, verwenden wir in diesem Fall „MPJ Express“ (http://mpj-express.org) welches hier in der aktuellen Version heruntergeladen werden kann: <https://sourceforge.net/projects/mpjexpress/files/latest/download>
2. Der Pfad der Bibliothek muss als Umgebungsvariable gesetzt werden, z.B.:  
   **Linux**: *export MPJ\_HOME="/path/to/mpj-v0\_44"*  
   **Windows**: *setx MPJ\_HOME "C:\\path\\to\\mpj-v0\_44"*
3. Der Java Compiler benötigt ebenfalls den Pfad zur Bibliothek für unser Programm, z.B.:  
   *javac -cp ".;%MPJ\_HOME%/lib/mpj.jar" Program.java*

MPI ermöglicht es, Aufgaben in kleinere Teile zu zerlegen und über die Prozesse zu verteilen. Hier eignet es sich oft die Prozesse in einen Master- und die restlichen in Slave-Prozesse zu unterteilen.

Beginnend mit dem Java-Code in Programm 2 schreiben Sie ein MPI Programm, welches die Summe der Zahlen von 1 bis 10.000 berechnet. Die Prozesse berechnen hierbei Teilsummen aus gleichmäßigen Stücken des Bereichs [1, 10.000] und der Master akkumuliert die Teilergebnisse zur Gesamtsumme. Die Slaves schicken die Teilergebnisse über „MPI.COMM\_WORLD.Send“ an den Master, welcher diese mit „MPI.COMM\_WORLD.Recv“ empfängt.

Starten Sie das Programm mit 4 Prozessen wie folgt:  
*%MPJ\_HOME%/bin/mpjrun.bat -np 4 Program*

Programm 2

import mpi.\*;

public class Program {

public static void main(String[] args) throws Exception {

MPI.Init(args);

int id = MPI.COMM\_WORLD.Rank();

int size = MPI.COMM\_WORLD.Size();

System.out.println("Process " + id + " of " + size);

int[] sum = new int[1];

// TODO

If (id == 0) { // Master

System.out.println("The sum from 1 to 10000 is: " + sum[0]);

}

MPI.Finalize();

}

}

**Übungszettel 8**

**Aufgabe 1:**

**Übungszettel 9**

**Aufgabe 1:**

**Übungszettel 10**

**Aufgabe 1:**