



**Karlsruher Institut für Technologie**  
Institut für Technische Informatik  
Prof. Dr. Wolfgang Karl

**Klausur Rechnerstrukturen**  
**Wintersemester 2011/2012**  
**Aufgabenteil**

---

## Aufgabe 1: Parallelverarbeitung und Architekturen 9P

### Quantitative Maßzahlen 3P

- a) Die Ausführungszeit einer MPI-Anwendung auf einem Knoten betrage 5120 Sekunden. Von dem Anwendung kann  $\frac{1}{255}$ -stel nicht parallel ausgeführt werden. Die Anwendung soll nun auf einem Cluster mit 256 Knoten ausgeführt werden. 2P
- Geben Sie eine allgemeine Formel an, mit deren Hilfe Sie die Ausführungszeit auf dem Cluster ausrechnen können, und erklären Sie die unterschiedlichen Teile der Formel.
  - Berechnen Sie die Ausführungszeit auf dem Cluster mit 256 Knoten.
- b) Geben Sie eine Formel für die Abschätzung von Auslastung und Effizienz an. 1P

### Parallele Architekturen und Parallelisierung 6P

- c) Geben Sie die als „Partitionierung“ zusammengefassten Punkte im Parallelisierungsprozess an! 1,5P
- d) Wieso muß beim Parallelisierungsprozess die Granularität beachtet werden? 1P
- e) Ordnen Sie die folgenden Begriffe jeweils den beiden Grafiken auf den Lösungsblättern zu. 2,5P
- UMA
  - NORMA
  - MPI
  - OpenMP
  - SMP

*Hinweis: Jede korrekte Antwort gibt einen halben Punkt, für jeden falsch eingetragenen Begriff wird ein halber Punkt abgezogen. Die Aufgabe wird nicht mit weniger als 0 Punkten bewertet.*

- f) In welche Klasse bei der Klassifikation von Rechensystemen nach Flynn fallen Systeme, auf denen MPI-Programme ausgeführt werden. 1P

## Aufgabe 2: Verbindungsstrukturen

9P

- a) Zeichnen Sie das Grundmuster der Umkehrpermutation mit 8 Eingängen und 8 Ausgängen ( $n = 3$ ) auf. Verwenden Sie hierfür als Hilfe die Vorgaben in den Lösungsblättern. 1P
- b) Wie ist die Bisektionsbandbreite definiert? 1P
- c) Ordnen Sie die folgenden vier, hier alphabetisch sortierten, Begriffe den statischen oder dynamischen Verbindungsnetzen zu. 2P
- Baum
  - Bus
  - Kreuzschiene
  - Schalernetzwerk
- Hinweis: Jede korrekte Antwort gibt einen halben Punkt, für jeden falsch eingetragenen Begriff wird ein halber Punkt abgezogen. Die Aufgabe wird nicht mit weniger als 0 Punkten bewertet.*
- d) Geben Sie zwei Kriterien an, mit Hilfe derer die Ausfalltoleranz (Redundanz) eines Verbindungsnetzes charakterisiert werden kann. 1P
- e) Was ist das Problem für die Skalierbarkeit eines Verbindungsnetzes mit Baumstruktur? Und wie kann es abgemildert werden? 1P
- f) Wofür stehen die Parameter  $K$  und  $n$  beim  $K$ -ären  $n$ -Kubus? 1P
- g) Wie wird ein  $K$ -ärer  $n$ -Kubus mit  $K=3$  und  $n=3$  auch vereinfacht bezeichnet? 2P  
Wie viele Knoten besitzt dieses Verbindungsnetz und wie groß ist der Knotengrad (inkl. Rückwärtskanten)?

## Aufgabe 3: Speicherhierarchie

12P

### Cache-Leistung

3P

Bei dem Entwurf eines Systems stehen zwei Entwurfsalternativen zur Auswahl. In der ersten Entwurfsalternative kommt eine einstufige Cache-Hierarchie, in der zweiten eine zwei-stufige Cache-Hierarchie zum Einsatz.

Entwurfsalternative A hat einen großen L1-Cache mit einer Zugriffszeit von  $t_{A-L1} = 10 \text{ ns}$ , Entwurfsalternative B besitzt einen kleineren L1-Cache mit einer Zugriffszeit von  $t_{B-L1} = 8 \text{ ns}$ , sowie einen L2-Cache mit einer Zugriffszeit von  $t_{B-L2} = 16 \text{ ns}$ . Die Zugriffszeit des Hauptspeichers sei in beiden Entwurfsalternativen gleich und betrage  $t_{Mem} = 100 \text{ ns}$ .

- Geben Sie sowohl eine allgemeine Formel zur Berechnung  $t_a$  der mittleren Zugriffszeit in einer einstufigen ( $t_{a-1}$ ), als auch einer zwei-stufigen Cache-Hierarchie ( $t_{a-2}$ ) an. 1P
- Bei der Evaluation beider Entwurfsalternativen wurden folgende Hit-Raten gemessen: 2P
  - Alternative A:  $r_{A-L1} = 80 \%$
  - Alternative B:  $r_{B-L1} = 70 \%$ , sowie  $r_{B-L2} = 50 \%$

Für welche Entwurfsalternative würden Sie sich aus Gründen der Leistung entscheiden? Begründen Sie ihre Antwort.

### MESI-Kohärenzprotokoll

9P

- Welche Zustände des MESI-Protokolls sind bei der Verwendung von Cache mit Write-Through-Verfahren relevant? 1P
- In der Vorlesung wurden die Zustandsübergänge im MESI-Protokoll vorgestellt. Gegeben seien nun die vier lokalen Ereignisse *Read-Hit (RH)*, *Read-Miss (RM)*, *Write-Hit (WH)* und *Write-Miss (WM)*. Vervollständigen Sie auf dem Lösungsblatt angegebene Tabelle, indem Sie für die angegebenen Zustandsübergänge die auslösenden Ereignisse angeben. Wird ein Zustandsübergang durch keine der vier oben genannten Ereignisse ausgelöst, so kennzeichnen Sie dies bitte deutlich (z.B. durch –). 4P

*Hinweis: Zustandsübergänge, die durch entfernte Speicherzugriffe, sowie durch Ersetzung einer Cachezeile ausgelöst werden, sollen hier nicht berücksichtigt werden.*

- Ein Zweiprozessorsystem sei speichergekoppelt. Die Caches haben je eine Größe von drei Cachezeilen, welche je genau ein Speicherwort aufnehmen können. Die Füllung des Caches erfolgt von der niedrigsten Cachezeile aufwärts, sofern noch freie Zeilen zur Verfügung stehen, andernfalls wird gemäß LRU-Strategie verdrängt. Als Cache-Kohärenzprotokoll komme das MESI-Protokoll zum Einsatz. 4P

Vervollständigen Sie die auf dem Lösungsblatt angegebene Tabelle: Geben Sie jeweils Inhalt der Cache-Zeile und MESI-Zustand an.

## Aufgabe 4: Rechnerarchitektur

11P

### Parallelismus auf Befehlsebene

6P

- a) Was bedeuten *Completion* und *Commitment* eines Befehls in einer superskalaren Befehlspipeline? 1P
- b) Algorithmus von Tomasulo: 5P

Untenstehend finden Sie den Zustand der Reservierungstabelle und der Registerdatei eines Superskalarprozessors nach Abarbeitung des ersten Taktes der in Listing 1 dargestellten Befehlsfolge. Geben Sie den Zustand der Reservierungstabelle, sowie der Registerdatei nach Ablauf von Takt 4, d.h. nach drei weiteren Takten, unter Berücksichtigung der in Listing 1 dargestellten Befehlsfolge wieder.

Pro Takt kann ein Befehl in die Reservierungstabelle eingetragen werden. Eine Multiplikation benötigt 6 Takte, eine Division 9 Takte und eine Addition 2 Takte.

Takt	Befehlsfolge
1	mul R1, R2, R3
2	div R3, R4, R2
3	add R2, R1, R2
4	add R4, R3, R1

Listing 1

(Format: Opcode Ziel, Quelle 1, Quelle 2)

Feld	R1	R2	R3	R4
Value	-	(R2)	(R3)	(R4)
Valid	0	1	1	1
RS	Mul 1	-	-	-

Registerdatei

Unit	Empty	InFU	Op	Dest	Src1	Vld1	RS1	Src2	Vld2	RS2
Int 1	1									
Int 2	1									
Mul 1	0	0	mul	R1	(R2)	1	-	(R3)	1	-
Div 1	1									

Reservierungstabelle

**Sprungvorhersage****5P**

- c) Zeichnen Sie das Zustandsdiagramm eines 2-Bit Prädiktors mit Hysteresezähler. *1P*
- d) Bei einem Profiling-Lauf wird für zwei bedingte Sprünge *S1* und *S2* das auf dem Lösungsblatt angegebene Sprungmuster protokolliert. Gegeben Sei nun ein (1,1)-Korrelationsprädiktor, mit globalen Branch History Register und sprunglokalen Prädiktoren. Das Schieberegister BHR sei mit `Not Taken`, die verwendeten 1-Bit-Prädiktoren seien mit `Not Taken` initialisiert. *4P*
- Füllen Sie die auf dem Lösungsblatt angegebene Tabelle aus. Kennzeichnen Sie den jeweils ausgewählten Prädiktor deutlich.

## Aufgabe 5: Fehlertoleranz

10P

### Ausfallverhalten

2P

Den Verlauf des Produktausfallverhaltens in Relation zum Produktalter lässt sich durch die Badewannenkurve illustrieren.

- a) Wie heißt der Bereich der Kurve, in welchem diese einen exponentiellen Anstieg verzeichnet? 1P
- b) Welche Effekte sind ursächlich für diesen Anstieg? 1P

### Redundanzsysteme

6P

Zur Steuerung eines Flugzeugs werden vier verschiedene Rechensysteme ( $RS1, RS2, RS3, RS4$ ) eingesetzt. Alle vier bekommen die gleichen Eingabewerte und rechnen mit diesen vollkommen unabhängig voneinander. Zur Synchronisation der vier Rechensysteme ist ein Mehrheitsentscheider ( $V$ ) nachgeschaltet. Die Ausgabe des Systems erfolgt über einen Monitor ( $M$ ). Das System arbeitet korrekt, wenn mindestens 3 von 4 Rechensystemen ein Ergebnis an den Mehrheitsentscheider übermitteln, dieser entscheidet und der Monitor das Ergebnis ausgibt.

- c) Zeichnen Sie das Zuverlässigkeitsblockdiagramm des Gesamtsystems. 1P
- d) Stellen Sie die Systemfunktion  $SF$  des Gesamtsystems auf. 1P
- e) Geben Sie die Formel zur Berechnung der Funktionswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems an. Nehmen Sie an, dass jedes Rechensystem dieselbe Funktionswahrscheinlichkeit  $\varphi(RS)$  besitzt. 1,5P
- f) Die Kurve der Funktionswahrscheinlichkeit eines 2-aus-3 Systems mit Mehrheitsentscheider schneidet die Kurve der Funktionswahrscheinlichkeit eines Systems ohne Redundanz bei einem x-Wert von 8 Jahren. Für welches der beiden Systeme würden Sie sich zum Zeitpunkt  $x_t = 9$  Jahre entscheiden? Begründen Sie! 1,5P
- g) Bei der Aktivierung der Redundanz haben Sie die Hybridredundanz kennengelernt. Welche beiden Möglichkeiten der Aktivierung vereinigt diese? 1P

### Berechnungen zur Verfügbarkeit

2P

- h) Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der mittleren Reparaturzeit  $MTTR$  eines Systems aus der Formel zur Berechnung der Punktverfügbarkeit  $V$  her. 1P
- i) Das System weist eine mittlere Funktionszeit von  $MTTF = 950h$  und eine Punktverfügbarkeit  $V$  von 95% auf. Berechnen Sie die mittlere Reparaturzeit  $MTTR$ . 1P

## Aufgabe 6: Quantifizierung

9P

### Analytische/empirische Leistungsbewertung:

2P

Ihre Firma entwickelt Anwendungen in Software die optimiert werden sollen. Es ist eine bestimmte (Hardware)-Architektur fest vorgegeben.

- a) Wie heißt der allgemeine Fachbegriff, den Sie in der Vorlesung für das Sammeln von Informationen bzgl. des Laufzeitverhaltens der Anwendung kennengelernt haben und die spezielle Art der Implementierung in diesem Fall (jeweils  $\frac{1}{2}$ P)? 1P
- b) Wo genau wird das System um eine geeignete Komponente erweitert und zu welchem Zweck (jeweils  $\frac{1}{2}$ P)? 1P

### Verfahren zur Leistungsbewertung:

4P

- c) Welche Verfahren sind unabhängig von der Existenz des Rechners und eignen sich somit hervorragend für Leistungsabschätzungen von zukünftigen Rechnerarchitekturen? 1P
- d) Nennen Sie den wichtigsten Schritt bei der Umsetzung ebendieser Verfahren und drei notwendige Unterschritte. 2P
- e) Nennen Sie zwei Ziele, die man mit Hilfe ebendieser Verfahren erreichen möchte. 1P

### Leistungsbewertung mit Benchmarks:

3P

In der Vorlesung wurde die SPEC-Benchmark-Suite vorgestellt. In der nebenstehenden Tabelle finden Sie exemplarische Ausführungszeiten von 2 Benchmarks mit Integerberechnungen auf 3 Architekturen ohne Optimierungen.

System	Benchmark	Ausführungszeit
Referenzsystem	Benchmark A	4 s
Referenzsystem	Benchmark B	10 s
System 1	Benchmark A	2 s
System 1	Benchmark B	20 s
System 2	Benchmark A	4 s
System 2	Benchmark B	5 s

- f) Errechnen Sie jeweils für die Systeme 1 und 2 die  $Spec_{ratio_x}$  für beide Benchmarks A und B. 1P
- g) Berechnen Sie den  $Spec_{int base}$ -Wert für beide Systeme 1 und 2. 1P
- h) Welches System würden Sie aufgrund der Berechnungen empfehlen und warum? 1P



**Karlsruher Institut für Technologie**  
Institut für Technische Informatik  
Prof. Dr. Wolfgang Karl

# Klausur Rechnerstrukturen

## Wintersemester 2011/2012

### Lösungsteil

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Tragen Sie bitte auf jedem Blatt Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer ein. Bitte tragen Sie alle Lösungen und Rechenwege an den vorgesehen Stellen ein und geben Sie keine zusätzlichen Blätter ab, ohne dies dem Aufsichtspersonal mitzuteilen.

**Hinweis:** Bei Rechenaufgaben ist die Angabe des Rechenwegs zwingend erforderlich. Ergebnisse ohne Rechenweg werden **nicht** gewertet.

Zum Bestehen der Klausur sind mindestens 20 Punkte erforderlich.

- Ich wünsche **keine** Notenveröffentlichung per Aushang (Matrikelnummer und Note) am schwarzen Brett  
*(Bei Ankreuzen kann die Note erst in der Klausureinsicht erfragt werden.)*

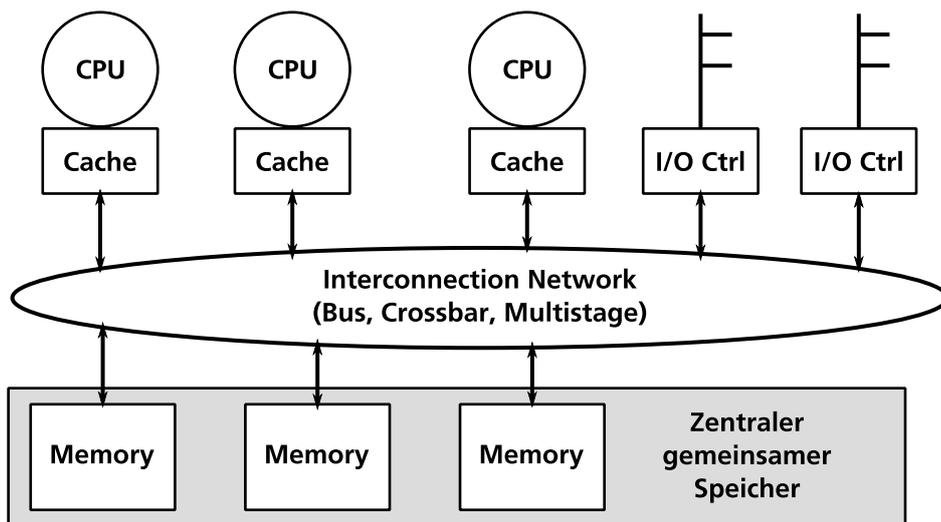
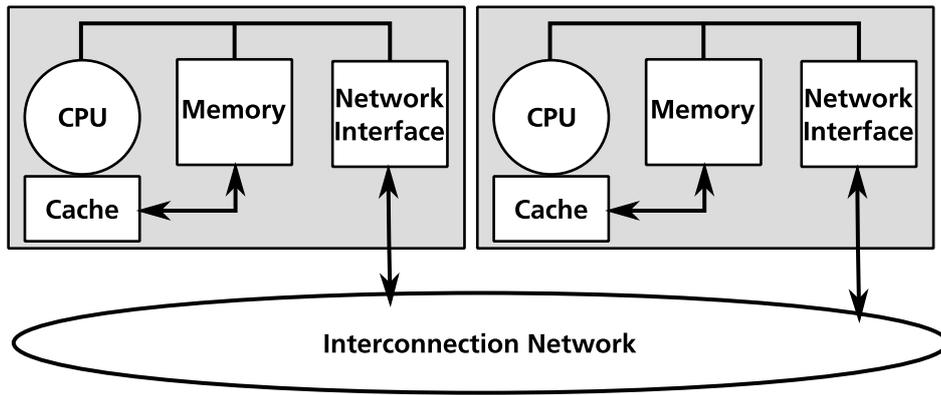
Erreichte Punkte (wird vom Institut ausgefüllt):

Aufgabe	1	2	3	4	5	6
Punkte	/9	/9	/12	/11	/10	/9
Summe:						/60

**Lösung 1: Parallelverarbeitung und Architekturen** **9P****Quantitative Maßzahlen** **3P**a) **2P**b) Abschätzung: **1P****Parallele Architekturen und Parallelisierung** **6P**c) **1,5P**d) **1P**

e)

2,5P



f)

1P

**Lösung 2: Verbindungsstrukturen****9P**

a) Umkehrpermutation:

*1P*

$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1

b)

*1P*

c) • Statische Verbindungsnetze:

*2P*

• Dynamische Verbindungsnetze:

d)

*1P*

e) •

*1P*

•

Name:

Matrikelnummer:

5/14

---

f) •

*1P*

•

g) •

*2P*

•

•

**Lösung 3: Speicherhierarchie****12P****Cache-Leistung****3P**

a) Formeln:

*1P*

b) Antwort:

*2P***MESI-Kohärenzprotokoll****9P**

c) Antwort:

*1P*

d) Tabelle:

4P

Zustand	Zustands- übergang	Auslösendes Ereignis
Modified	$M \Rightarrow M$	
	$M \Rightarrow E$	
	$M \Rightarrow S$	
Exclusive	$E \Rightarrow M$	
	$E \Rightarrow E$	
	$E \Rightarrow S$	
Shared	$S \Rightarrow M$	
	$S \Rightarrow E$	
	$S \Rightarrow S$	
Invalid	$I \Rightarrow M$	
	$I \Rightarrow E$	
	$I \Rightarrow S$	

e) Tabelle:

4P

Prozessor	Aktion	Prozessor 1			Prozessor 3		
		Line 1	Line 2	Line 3	Line 1	Line 2	Line 3
	init	-	-	-	-	-	-
2	rd 1				1/E		
2	rd 2					2/E	
1	rd 3	3/E					
1	rd 4		4/E				
1	wr 1						
2	rd 3						
1	rd 1						
2	wr 3						
2	wr 4						
1	rd 3						
1	wr 4						
2	wr 2						



Name:

Matrikelnummer:

10/14

**Sprungvorhersage**

**5P**

c) Antwort:

*1P*

d) Tabelle:

*4P*

	S1				S2			
	Init	Vhs.	Sprung	Präd neu	Init	Vhs.	Sprung	Präd neu
1	( NT , NT )		T	( , )	( NT , NT )		T	( , )
2	( , )		NT	( , )	( , )		NT	( , )
3	( , )		T	( , )	( , )		T	( , )
4	( , )		T	( , )	( , )		T	( , )

**Lösung 5: Fehlertoleranz****10P****Ausfallverhalten****2P**

a) Antwort:

*1P*

b) Antwort:

*1P***Redundanzsysteme****6P**

c) Zuverlässigkeitsblockdiagramm:

*1P*

d) Systemfunktion:

*1P*

e) Formel für Gesamtsystem:

*1,5P*

Name:

Matrikelnummer:

12/14

---

f) Antwort:

*1,5P*

g) Antwort:

*1P*

**Berechnungen zur Verfügbarkeit**

**2P**

h) Herleitung:

*1P*

i) Rechnung:

*1P*

**Lösung 6: Quantifizierung****9P****Analytische/empirische Leistungsbewertung:****2P**

a) Antwort:

*1P*

b) Antwort:

*1P***Verfahren zur Leistungsbewertung:****4P**

c) Antwort:

*1P*

d) Antwort:

*2P*

e) Antwort:

*1P*

**Leistungsbewertung mit Benchmarks:****3P**

f)

*1P*

System 1:

$$Spec_{ratio A} =$$

$$Spec_{ratio B} =$$

System 2:

$$Spec_{ratio A} =$$

$$Spec_{ratio B} =$$

g)

*1P*

$$\text{System 1: } Spec_{int base} =$$

$$\text{System 2: } Spec_{int base} =$$

h) Antwort:

*1P*