

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>	<b>III</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Das Parallelrechnerdilemma . . . . .	1
1.2 Realisierung von PRAM-Emulationen . . . . .	2
1.2.1 Kommunikation . . . . .	3
1.2.2 Synchronisation . . . . .	3
1.3 Grundidee der Arbeit . . . . .	4
1.4 Verwandte Arbeiten . . . . .	4
1.5 Aufbau und Beiträge dieser Arbeit . . . . .	5
<b>2 PRAM-Emulationen</b>	<b>7</b>
2.1 Modelle paralleler Systeme . . . . .	7
2.1.1 PRAM-Modell . . . . .	7
Zugriffsmodi beim PRAM-Modell . . . . .	8
2.1.2 Modelle mit verteiltem Speicher . . . . .	8
Gemeinsamer Adressraum . . . . .	9
2.1.3 Kritik am PRAM-Modell . . . . .	9
2.1.4 Realistische Modelle paralleler Rechner . . . . .	10
Konsistenzbedingungen in Mehrprozessorsystemen . . . . .	11
2.1.5 Parallelrechnermodell für Triton . . . . .	14
2.1.6 Effizienz von Parallelrechnern und PRAM-Emulationen . . . . .	15
2.2 Aufbau von PRAM-Emulationen . . . . .	17
2.2.1 Theoretische Erkenntnisse über PRAM-Simulationen . . . . .	17
2.2.2 Praxisbezug der theoretischen Resultate . . . . .	19
2.2.3 Praktische Aspekte von PRAM-Emulationen . . . . .	20
2.2.4 Organisationsformen paralleler Systeme . . . . .	21
2.2.5 Synchronisation . . . . .	22
Realisierung von Synchronisation . . . . .	23
Synchronisation in MIMD Systemen . . . . .	23
2.2.6 Beispiele vom PRAM-Emulationen aus der Literatur . . . . .	25
PRAM-Emulationen mit dynamischer Speicherverwaltung . . . . .	26
PRAM-Emulationen mit statischer Speicherverwaltung . . . . .	27
2.3 Entwurf des Triton-Systems . . . . .	28
2.3.1 PRAM-Emulation des Triton-Systems . . . . .	28
Software- / Hardwareschnittstelle . . . . .	29

2.3.2	Anforderungsanalyse . . . . .	30
	Leistungskritische Komponenten . . . . .	30
	Laststruktur des Kommunikationsmediums . . . . .	31
	Häufigkeit von Kommunikationsoperationen . . . . .	32
	Häufigkeit von Synchronisationsoperationen . . . . .	33
	Skalierbarkeit und Realistische Rechnergrößen . . . . .	34
	Ergebnisse der Anforderungsanalyse . . . . .	35
2.4	Zusammenfassung und Beiträge dieser Arbeit . . . . .	36
<b>3</b>	<b>Kommunikationsnetze</b>	<b>37</b>
3.1	Verwandte Arbeiten . . . . .	37
3.2	Aufbau von Kommunikationsnetzen . . . . .	38
3.2.1	Beispiele von Netztopologien . . . . .	40
3.3	Betrieb von Kommunikationsnetzen . . . . .	43
3.3.1	Übertragungsverfahren . . . . .	44
3.3.2	Wegfindungsverfahren . . . . .	44
3.3.3	Verklemmungen . . . . .	45
3.4	Bewertung von Kommunikationsnetzen . . . . .	47
3.4.1	Anforderungen einer PRAM-Emulation . . . . .	47
3.4.2	Analyse der Latenzzeit . . . . .	48
	Ankunftsduer eines Pakets . . . . .	49
3.4.3	Untersuchung der Knotenlatenzzeit . . . . .	49
	Untere Schranke für $\bar{d}$ . . . . .	50
	Beispiele zur Knotenlatenz . . . . .	51
3.4.4	Untersuchung der Leitungslatenzzeit . . . . .	52
	Anordnungsmodell A . . . . .	53
	Untere Schranke für $\bar{l}$ . . . . .	55
	Obere Schranke für $\bar{l}$ . . . . .	56
	Beispiele für Anordnungen von Netzen . . . . .	56
3.4.5	Untersuchung der Wartezeit . . . . .	60
	Modellierung von Netzen mit homogener Verkehrsdichteverteilung . . . . .	61
	Modellierung von Netzen mit inhomogener Verkehrsdichteverteilung . . . . .	63
	Wartezeiten verschiedener Netze . . . . .	64
3.4.6	Auswertung der Latenzzeiten . . . . .	67
	Vergleich von Gitter und de Bruijn-Netz . . . . .	69
	Vergleich von de Bruijn-Netz und Hyperkubus . . . . .	70
	Grundlegende Zusammenhänge von Latenzzeit und Rechnerdaten . . . . .	71
	Selektion von Netztopologien . . . . .	72
3.5	Auswahl einer Netztopologie für Triton/1 . . . . .	73
3.6	Beiträge dieser Arbeit . . . . .	73
<b>4</b>	<b>Triton/1, Aufbau und Analyse</b>	<b>75</b>
4.1	Triton/1 Hardware . . . . .	76
4.1.1	Aufbau einer Verarbeitungseinheit . . . . .	77
	Der Instruktionsstrom . . . . .	78
	Datenaustausch zwischen Steuerrechner und Verarbeitungseinheiten . . . . .	80
4.1.2	Globale Signale und Synchronisationsunterstützung . . . . .	82
4.1.3	Das Kommunikationsnetz von Triton/1 . . . . .	84

	Aufbau des Kommunikationsnetzes . . . . .	84
	Zusammensetzung eines Datenpakets . . . . .	86
	Das Übertragungsverfahren . . . . .	87
	Funktionalität des NCP . . . . .	87
4.1.4	Das Wegfindungsverfahren . . . . .	88
	Tabellengesteuerte Wegfindung . . . . .	88
	Umwegnutzung . . . . .	88
	Die Prioritätsregel . . . . .	89
	Hamiltonkreise in Kommunikationsnetzen . . . . .	89
	Kreisvermittlung . . . . .	90
	Eigenschaften des Wegfindungsverfahrens . . . . .	90
4.2	Triton/1 Laufzeitsystem . . . . .	92
4.2.1	MIMD-Servicefunktionen . . . . .	93
4.2.2	Arithmetische Operationen . . . . .	93
4.2.3	Kommunikationsoperationen . . . . .	94
	Kommunikation im MIMD-Betrieb . . . . .	96
4.2.4	Operationen zur Verwaltung der Aktivitätsbits . . . . .	97
4.2.5	Weitere Operationen für PRAM-Emulationen . . . . .	99
4.3	Triton/1 Leistungsdaten . . . . .	100
4.3.1	Leistungsprofil Triton/1 . . . . .	101
4.3.2	Analyse der Kommunikationsleistung von Triton/1 . . . . .	103
	Latenzzeitüberdeckung . . . . .	105
4.3.3	Bewertung des Parallelrechners Triton/1 . . . . .	107
4.3.4	Skalierbarkeit von Triton/1 in der Technologie . . . . .	107
4.4	Beiträge dieser Arbeit . . . . .	108
<b>5</b>	<b>Leistung von PRAM-Emulationen</b> . . . . .	<b>109</b>
5.1	Meßaufbauten für die Effizienzbestimmung . . . . .	109
	Modula-2* . . . . .	109
5.1.1	Aufbau der PRAM-Emulation mit Triton/1 . . . . .	110
	Besonderheiten von Triton/1 . . . . .	112
5.1.2	Aufbau der PRAM-Emulation mit MasPar MP-1216A . . . . .	113
	Besonderheiten der MasPar . . . . .	113
5.1.3	Art der Messungen . . . . .	114
	Ermittelbare Kenndaten . . . . .	116
5.2	PRAM Leistungsmessungen auf Triton/1-256 . . . . .	117
	Kern 1 . . . . .	118
	Kern 2 . . . . .	120
	Kern 3 . . . . .	121
	Kern 4 . . . . .	122
	Kern 5 . . . . .	123
	Kern 6 . . . . .	125
	Kern 7 . . . . .	126
	Kern 8 . . . . .	127
	Kern 9 . . . . .	128
	Kern 10 . . . . .	129
	Kern 11 . . . . .	129
	Kern 12 . . . . .	130

## VIII

5.2.1	Zusammenfassung der Laufzeitmessungen auf Triton/1-256 . . . . .	132
5.3	Skalierung des Triton-Entwurfs . . . . .	132
	Skalierungsvergleich mit Kern 1 . . . . .	133
	Skalierungsvergleich mit Kern 3 . . . . .	133
5.3.1	Bewertung der Skalierbarkeit von Triton/1 . . . . .	134
5.4	Vergleich von MasPar MP-1216A mit Triton/1-256 . . . . .	134
5.4.1	Zusammenfassung des Vergleichs von MasPar und Triton/1 . . . . .	137
<b>6</b>	<b>Konklusion und Ausblick</b> . . . . .	<b>139</b>
6.1	Zusammenfassung . . . . .	139
6.2	Ausblick . . . . .	140
6.2.1	Verbesserung der Kommunikationsverzögerung . . . . .	140
6.2.2	Verbesserung der Übersetzer . . . . .	140
6.2.3	Gekoppelte Arbeitsstationen . . . . .	141
<b>A</b>		<b>142</b>
A.1	k-dimensionale Nachbarschaftsnetze . . . . .	142
A.1.1	Knotennumerierung in k-dimensionalen Nachbarschaftsnetzen . . . . .	142
A.1.2	Pfadlängen in k-dimensionalen Nachbarschaftsnetzen . . . . .	143
A.1.3	Maximaler Durchmesser von k-dimensionalen Nachbarschaftsnetzen . . . . .	143
A.1.4	Mittlerer Durchmesser von k-dimensionalen Nachbarschaftsnetzen . . . . .	143
A.2	Hamiltonkreise in de Bruijn-Netzen . . . . .	144
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>146</b>