

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Begriffe der Parallelverarbeitung .....	4
1.3 Überblick .....	6
<b>2. Architektur paralleler Plattformen</b> .....	9
2.1 Überblick über die Prozessorentwicklung .....	10
2.2 Parallelität innerhalb eines Prozessorkerns .....	14
2.3 Klassifizierung von Parallelrechnern .....	17
2.4 Speicherorganisation von Parallelrechnern .....	20
2.4.1 Rechner mit physikalisch verteiltem Speicher .....	21
2.4.2 Rechner mit physikalisch gemeinsamem Speicher .....	25
2.4.3 Reduktion der Speicherzugriffszeiten .....	28
2.5 Verbindungsnetzwerke .....	32
2.5.1 Bewertungskriterien für Netzwerke .....	34
2.5.2 Direkte Verbindungsnetzwerke .....	37
2.5.3 Einbettungen .....	43
2.5.4 Dynamische Verbindungsnetzwerke .....	46
2.6 Routing- und Switching-Strategien .....	53
2.6.1 Routingalgorithmen .....	53
2.6.2 Switching .....	64
2.6.3 Flusskontrollmechanismen .....	72
2.7 Caches und Speicherhierarchien .....	73
2.7.1 Charakteristika von Cache-Speichern .....	74
2.7.2 Cache-Kohärenz .....	84
2.7.3 Speicherkonsistenz .....	92
2.8 Parallelität auf Threadebene .....	98
2.8.1 Simultanes Multithreading .....	99
2.8.2 Multicore-Prozessoren .....	100
2.9 Beispiele .....	104
2.9.1 Architektur des Intel Pentium 4 .....	104
2.9.2 Architektur des Cell-Prozessors .....	107
2.9.3 IBM Blue Gene/L Supercomputer (BG/L) .....	108

<b>3. Parallele Programmiermodelle</b> .....	113
3.1 Modelle paralleler Rechnersysteme .....	114
3.2 Parallelisierung von Programmen .....	117
3.3 Ebenen der Parallelität .....	120
3.3.1 Parallelität auf Instruktionsebene .....	120
3.3.2 Datenparallelität .....	122
3.3.3 Parallelität in Schleifen .....	123
3.3.4 Funktionsparallelität .....	127
3.4 Explizite und implizite Darstellung der Parallelität .....	128
3.5 Strukturierung paralleler Programme .....	131
3.6 Datenverteilungen für Felder .....	134
3.7 Informationsaustausch .....	139
3.7.1 Gemeinsame Variablen .....	139
3.7.2 Kommunikationsoperationen .....	142
3.7.3 Parallele Matrix-Vektor-Multiplikation .....	150
<b>4. Laufzeitanalyse paralleler Programme</b> .....	157
4.1 Leistungsbewertung von Rechnersystemen .....	157
4.1.1 Bewertung der CPU-Leistung .....	158
4.1.2 MIPS und MFLOPS .....	160
4.1.3 Leistung von Prozessoren mit Cachespeichern .....	161
4.1.4 Benchmarkprogramme .....	163
4.2 Parallele Leistungsmaße .....	167
4.3 Modellierung von Laufzeiten .....	172
4.3.1 Realisierung von Kommunikationsoperationen .....	174
4.3.2 Kommunikationsoperationen auf dem Hyperwürfel .....	180
4.3.3 Kommunikationsoperationen auf einem Baum .....	189
4.4 Analyse von Laufzeitformeln .....	193
4.4.1 Paralleles Skalarprodukt .....	194
4.4.2 Parallele Matrix-Vektor-Multiplikation .....	196
4.5 Parallele Berechnungsmodelle .....	198
4.5.1 PRAM-Modelle .....	198
4.5.2 BSP-Modell .....	200
4.5.3 LogP-Modell .....	203
<b>5. Message-Passing-Programmierung</b> .....	207
5.1 Einführung in MPI .....	208
5.1.1 Einzeltransferoperationen .....	210
5.1.2 Globale Kommunikationsoperationen .....	224
5.1.3 Auftreten von Deadlocks .....	237
5.1.4 Prozessgruppen und Kommunikatoren .....	239
5.1.5 Prozessstopologien .....	245
5.1.6 Zeitmessung und Abbruch der Ausführung .....	250
5.2 Einführung in PVM .....	251
5.2.1 Programmiermodell .....	251

5.2.2	Prozesskontrolle . . . . .	252
5.2.3	Austausch von Nachrichten . . . . .	255
5.2.4	Verwaltung von Prozessgruppen . . . . .	257
5.3	Einführung in MPI-2 . . . . .	260
5.3.1	Prozesserzeugung und -verwaltung . . . . .	260
5.3.2	Einseitige Kommunikation . . . . .	263
<b>6.</b>	<b>Thread-Programmierung . . . . .</b>	<b>275</b>
6.1	Einführung in die Programmierung mit Threads . . . . .	276
6.2	Programmiermodell und Grundlagen für Pthreads . . . . .	281
6.2.1	Erzeugung und Verwaltung von Pthreads . . . . .	285
6.2.2	Koordination von Threads . . . . .	287
6.2.3	Implementierung eines Taskpools . . . . .	302
6.2.4	Parallelität durch Pipelining . . . . .	306
6.2.5	Realisierung eines Client-Server-Modells . . . . .	312
6.2.6	Steuerung und Abbruch von Threads . . . . .	317
6.2.7	Thread-Scheduling . . . . .	324
6.2.8	Prioritätsinversion . . . . .	329
6.2.9	Thread-spezifische Daten . . . . .	333
6.3	Java-Threads . . . . .	334
6.3.1	Erzeugung von Threads in Java . . . . .	334
6.3.2	Synchronisation von Java-Threads . . . . .	339
6.3.3	Signalmechanismus in Java . . . . .	344
6.3.4	Erweiterte Java-Synchronisationsmuster . . . . .	349
6.3.5	Thread-Scheduling in Java . . . . .	351
6.4	OpenMP . . . . .	354
6.4.1	Steuerung der parallelen Abarbeitung . . . . .	355
6.4.2	Parallele Schleife . . . . .	358
6.4.3	Nichtiterative parallele Bereiche . . . . .	362
6.4.4	Koordination von Threads . . . . .	365
6.5	Unified Parallel C . . . . .	371
6.5.1	UPC Programmiermodell und Benutzung . . . . .	372
6.5.2	Gemeinsame Felder . . . . .	374
6.5.3	Speicherkonsistenzmodelle von UPC . . . . .	375
6.5.4	Zeiger und Felder in UPC . . . . .	377
6.5.5	Parallele Schleifen in UPC . . . . .	379
6.5.6	UPC Synchronisation . . . . .	380
<b>7.</b>	<b>Lösung linearer Gleichungssysteme . . . . .</b>	<b>383</b>
7.1	Gauß-Elimination . . . . .	384
7.1.1	Beschreibung der Methode . . . . .	384
7.1.2	Parallele zeilenzyklische Implementierung . . . . .	388
7.1.3	Parallele gesamtzyklische Implementierung . . . . .	392
7.1.4	Laufzeitanalyse der gesamtzyklischen Implementierung . . . . .	398
7.2	Direkte Verfahren für Gleichungssysteme mit Bandstruktur . . . . .	403

7.2.1	Diskretisierung der Poisson-Gleichung . . . . .	403
7.2.2	Lösung von Tridiagonalsystemen . . . . .	409
7.2.3	Verallgemeinerung auf beliebige Bandmatrizen . . . . .	420
7.2.4	Anwendung auf die Poisson-Gleichung . . . . .	423
7.3	Klassische Iterationsverfahren . . . . .	425
7.3.1	Beschreibung iterativer Verfahren . . . . .	426
7.3.2	Parallele Realisierung des Jacobi-Verfahrens . . . . .	430
7.3.3	Parallele Realisierung des Gauß-Seidel-Verfahrens . . . . .	432
7.3.4	Rot-Schwarz-Anordnung . . . . .	436
7.4	Cholesky-Faktorisierung für dünnbesetzte Matrizen . . . . .	443
7.4.1	Sequentieller Algorithmus . . . . .	444
7.4.2	Abspeicherungsschemata für dünnbesetzte Matrizen . . . . .	450
7.4.3	Implementierung für gemeinsamen Adressraum . . . . .	453
7.5	Methode der konjugierten Gradienten . . . . .	460
7.5.1	Beschreibung der Methode . . . . .	461
7.5.2	Parallelisierung des CG-Verfahrens . . . . .	463
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>469</b>
	<b>Index</b> . . . . .	<b>477</b>