

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	1
1.1	Merkmale von OpenMP	2
1.1.1	OpenMP-fähige Compiler	6
1.2	Parallele Programmierung	7
1.2.1	Prozesse und Threads	8
1.2.2	Parallele Hardwarearchitekturen	10
1.2.3	Leistungsmessung	13
1.2.4	Das Amdahl'sche Gesetz	14
1.2.5	Eine andere Sichtweise – das Gustafson'sche Gesetz	16
<b>2</b>	<b>Das OpenMP-Ausführungsmodell</b>	23
2.1	Hallo Welt!	24
2.2	Arbeit aufteilende Direktiven	28
2.3	Fehlerbehandlung in OpenMP	29
<b>3</b>	<b>Parallelisierung von Schleifen</b>	31
3.1	Parallelität auf Schleifenebene	31
3.2	Zugriff auf Variablen und Kommunikation zwischen Threads	37

3.2.1	Gemeinsam und privat genutzte Variablen.....	40
3.2.2	Änderung des Standardverhaltens mit <b>default</b> .....	45
3.2.3	Parallele Berechnungen mit <b>reduction</b> .....	46
3.2.4	Lokale und automatische Variablen ..	49
3.2.5	Initialisierung und Finalisierung von privaten Variablen .....	51
3.3	Ablaufpläne mit <b>schedule</b> .....	58
3.3.1	Statische und dynamische Ablaufpläne	59
3.3.2	Syntax .....	60
3.3.3	Bedingte Parallelisierung .....	64
3.4	Anzahl der Threads in einem Team .....	64
3.5	Datenabhängigkeiten .....	67
3.5.1	Das Problem der Datenabhängigkeiten	68
3.5.2	Datenabhängigkeiten in Schleifen ....	69
3.5.3	Datenabhängigkeiten finden .....	69
3.5.4	Datenabhängigkeiten in verschachtelten Schleifen .....	72
3.5.5	Typen von Datenabhängigkeiten ....	74
3.5.6	Entfernen von Datenabhängigkeiten .	75
3.6	Nicht-parallele Ausführung mit <b>single</b> .....	82
3.6.1	Die <b>copyprivate</b> -Klausel.....	82
3.7	Implizite Barrieren mit <b>nowait</b> umgehen ...	83
3.8	Paralleles Traversieren von Containerklassen	84
4	<b>Synchronisation</b> .....	89
4.1	Wettlaufsituationen und kritische Abschnitte	89
4.2	Kritische Abschnitte in OpenMP .....	92
4.2.1	Deadlocks .....	94
4.3	Atomare Operationen mit <b>atomic</b> .....	95
4.4	<b>reduction</b> und Vergleich der Laufzeiten ....	97

4.5	Synchronisierung mit der OpenMP-Laufzeitbibliothek .....	98
4.5.1	Deadlocks und verschachteltes Locking .....	100
4.5.2	Scoped Locking in C++ .....	101
4.6	Synchronisierung von Ereignissen .....	105
4.6.1	Barrieren .....	106
4.6.2	Geordnete Ausführung .....	106
4.6.3	Nichtparallele Ausführung durch den Master-Thread .....	108
4.6.4	Konsistente Speicherbelegung mit <code>flush</code> .....	109
<b>5</b>	<b>Parallele Abschnitte</b> .....	<b>113</b>
5.1	Parallele Teilaufgaben mit <code>sections</code> .....	113
5.2	Globale Variablen und <code>threadprivate</code> .....	118
5.3	Verwaiste Direktiven .....	121
5.4	Verschachtelte parallele Abschnitte .....	122
<b>6</b>	<b>Parallele Aufgaben</b> .....	<b>125</b>
6.1	Eine Task-Warteschlange mit OpenMP-Bordmitteln .....	127
6.2	Intel-spezifische Erweiterungen: <code>taskq</code> und <code>task</code> .....	129
6.3	Ausblick auf die <code>task</code> -Direktive in OpenMP 3.0 .....	134
6.3.1	Scheduling-Punkte .....	136
<b>7</b>	<b>Die OpenMP-Laufzeitbibliothek</b> .....	<b>139</b>
7.1	Zeitmessung .....	139
7.2	Parameter der Laufzeitumgebung .....	141
7.2.1	Dynamische Anpassung von Thread-Teamgrößen .....	141
7.3	Synchronisation .....	143

X	Inhaltsverzeichnis	
---	--------------------	--

8	Effiziente Parallelisierung	145
---	-----------------------------	-----

	Literaturverzeichnis	155
--	----------------------	-----

	Sachverzeichnis	159
--	-----------------	-----

## OpenMP

Eine Einführung in die parallele Programmierung mit  
C/C++

Hoffmann, S.; Lienhart, R.  
2008, X, 162 S., Softcover  
ISBN: 978-3-540-73122-1