

Vorwort	VII
Inhaltsverzeichnis	XI
 Prolog	 1
0 Motivation	3
 Teil A: Strukturen nebenläufiger Programmsysteme	 11
1 Nebenläufigkeit	13
1.1 Zusätzliche Eigenschaften von Algorithmen	13
1.1.1 Verzicht auf Sequentialität	14
1.1.2 Verzicht auf Determinismus	17
1.1.3 Nebenläufigkeit, Nichtdeterminismus, Nichtdeterminiertheit	18
1.2 Prozesse	21
1.2.1 Kooperierende und konkurrierende Prozesse	22
1.2.2 Synchronisation und Kommunikation	26
2 Modularität	29
2.1 Module	29
2.2 Modularten	32
2.2.1 Abstrakte Datenstrukturen	32
2.2.2 Abstrakte Datentypen	35
2.2.3 Generische abstrakte Datentypen	35
2.3 Modularität in Modula-2	37
2.4 Modularität in Ada	41
3 Prozeßbeschreibung	47
3.1 Ablauforientierte Prozeßbeschreibung	47
3.1.1 Prozeßablösung	48
3.1.2 Koroutinen	49
3.1.3 Nebenläufige Blöcke	50
3.1.4 Prozeßabzweigung	54
3.2 Prozeßdeklaration	57

3.2.1	Prozesse in PEARL	58
3.2.2	Prozesse in Ada	60
Teil B: Abwicklung von Prozessen		63
4	Prozeßverwaltung	65
4.1	Betriebsmittel für Prozesse	65
4.2	Zuteilung eines Prozessors	67
4.2.1	Zustandsübergänge von Prozessen	67
4.2.1.1	Verwaltungsarbeiten bei Zustandsübergängen	69
4.2.2	Zustandsübergänge in PEARL	75
4.3	Planung	75
4.3.1	Planungskriterien	76
4.3.2	Planung im prozessorbeschränkten System	77
4.3.2.1	Einplanung nach Wartezeit	77
4.3.2.2	Einplanung nach Laufzeit	78
4.3.2.3	Zyklische Einplanung	78
4.3.2.4	Mehrstufige Warteschlangen	79
4.3.3	Berücksichtigung zusätzlicher Betriebsmittel	80
5	Unterbrechungen	83
5.1	Unterbrechungsarten	83
5.2	Asynchrone Unterbrechungen	84
5.2.1	Beispiel der Unterbrechungsbehandlung beim MC 68000	85
5.2.2	Unterbrechungsbehandlung in PEARL	87
5.2.3	Unterbrechungsbehandlung in Ada	89
5.3	Ausnahmebedingungen	93
5.3.1	Ausnahmebehandlung mit konventionellen Sprachmitteln	94
5.3.2	Ausnahmebehandlung mit speziellen Sprachmitteln	94
5.3.3	Ausnahmebehandlung in PEARL	96
5.3.4	Ausnahmebehandlung in Ada	98
6	Echtzeitabhängigkeit	103
6.1	Echtzeitbetrieb	103
6.2	Zeitbedingungen	105
6.2.1	Technische Prozesse	105
6.2.2	Verarbeitung von Prozeßdaten	106
6.2.3	Maximale Antwortzeiten	108
6.2.3.1	Beispiel einer Meßwertaufzeichnung	109
6.2.3.2	Beispiel einer Paketverteilanlage	110
6.3	Zeitgerechte Einplanung	111
6.3.1	Planung für Einprozessorsysteme	112
6.3.2	Planung für Mehrprozessorsysteme	115
6.4	Zeitangaben in Programmen	117
6.4.1	Zeitangaben in PEARL	118
6.4.2	Zeitangaben in Ada	120
6.5	Zeitüberwachung	124

Teil C: Abhängigkeiten zwischen Prozessen	127
7 Synchronisation	129
7.1 Synchronisationsbedarf	129
7.1.1 Vermeiden von Nichtdeterminiertheit	130
7.1.2 Vermeiden von Inkonsistenz	131
7.1.3 Gewährleisten einer logischen Abfolge	132
7.2 Synchronisationsarten	132
7.2.1 Einseitige Synchronisation	135
7.2.2 Mehrseitige Synchronisation	137
7.3 Typische Synchronisationsprobleme	140
7.3.1 Betriebsmittelnutzung	140
7.3.2 Leser und Schreiber	141
7.3.3 Speisende Philosophen	142
8 Petri-Netze	145
8.1 Petri-Netze ohne Marken	145
8.1.1 Kanal-Instanz-Netze	147
8.1.2 Netzmorphismen	148
8.2 Petri-Netze mit Marken	150
8.2.1 Stellen-Transitions-Netze	151
8.2.2 Beispiele für die Synchronisation in Petri-Netzen	154
8.2.2.1 Produzenten und Konsumenten	156
8.2.2.2 Leser und Schreiber	157
8.2.2.3 Speisende Philosophen	159
8.2.3 Petri-Netze mit unterscheidbaren Marken	159
9 Verklemmungen	163
9.1 Ursachen für Verklemmungen	163
9.2 Verklemmungsvermeidung durch Regeln	166
9.3 Verklemmungsvermeidung durch Bedarfsanalyse	168
9.4 Verklemmungserkennung	171
Teil D: Kommunikation über gemeinsame Variablen	175
10 Schloßvariablen	177
10.1 Gegenseitiger Ausschluß mit Schloßvariablen	177
10.2 Schloßalgorithmen mit unteilbaren Operationen	179
10.3 Schloßalgorithmen ohne spezielle Operationen	182
10.3.1 Schloßalgorithmen für zwei Prozesse	182
10.3.1.1 Lösungsansatz 1	183
10.3.1.2 Lösungsansatz 2	184
10.3.1.3 Lösungsansatz 3	185
10.3.1.4 Lösungsansatz 4	187
10.3.1.5 Lösungsansatz 5	189
10.3.1.6 Lösungsansatz 6	190
10.3.1.7 Lösungsansatz 7	191
10.3.2 Schloßalgorithmen für eine beliebige feste Prozeßzahl	194
10.3.2.1 Lösungsansatz 1	194
10.3.2.2 Lösungsansatz 2	196
10.3.2.3 Lösungsansatz 3	197
10.4 Aktives Warten und andere Probleme	199

11	Semaphore	201
11.1	Synchronisation mit Semaphoren	201
11.1.1	Gegenseitiger Ausschluß mit Semaphoren	202
11.1.2	Einseitige Synchronisation mit Semaphoren	203
11.2	Implementierung von Semaphoren	203
11.3	Beispiele für die Synchronisation mit Semaphoren	205
11.3.1	Produzenten und Konsumenten	206
11.3.2	Produzenten und Konsumenten mit binären Semaphoren	207
11.3.3	Leser und Schreiber	211
11.3.4	Speisende Philosophen	213
11.3.5	Zigarettenraucher	217
11.4	Erweiterungen von Semaphoren	220
11.4.1	Additive Semaphore	221
11.4.2	Mehrfach-Semaphoroperationen	223
11.5	Semaphore in PEARL	224
11.5.1	Gewöhnliche Semaphore	224
11.5.2	Eingeschränkte additive Semaphore	225
Teil E: Abstraktion von Semaphoren		227
12	Bedingte kritische Abschnitte	229
12.1	Bindung von Bedingungen an kritische Abschnitte	229
12.2	Implementierung bedingter kritischer Abschnitte	231
12.3	Synchronisation mit bedingten kritischen Abschnitten	235
12.4	Bedingte kritische Abschnitte in Edison	236
13	Monitore	239
13.1	Synchronisation mit Monitoren	240
13.1.1	Gegenseitiger Ausschluß im Monitor	240
13.1.2	Ereignisvariablen	241
13.2	Implementierung von Monitoren	242
13.3	Beispiele für die Synchronisation mit Monitoren	244
13.3.1	Produzenten und Konsumenten	244
13.3.2	Leser und Schreiber	246
13.4	Monitorvarianten	247
13.4.1	Einelementige Warteschlangen in Concurrent Pascal	248
13.4.2	Priorisiertes Warten in Concurrent Euclid	250
13.4.3	Bedingungsgebundene Ereignisvariablen	251
13.4.4	Signale als Hinweise in Mesa	253
13.4.5	Geschachtelte Aufrufe von Monitorprozeduren	255
14	Pfadausdrücke	257
14.1	Synchronisation mit Pfadausdrücken	257
14.1.1	Pfadoperatoren	258
14.1.2	Geschlossene Pfadausdrücke	259
14.1.3	Offene Pfadausdrücke	261
14.2	Beispiele für die Synchronisation mit Pfadausdrücken	263
14.2.1	Ringpuffer	263
14.2.2	Speisende Philosophen	264
14.3	Probleme mit Pfadausdrücken	266

Teil F: Kommunikation über Nachrichten	271
15 Nachrichten	273
15.1 Nachrichtenaustausch	273
15.1.1 Senden von Nachrichten	274
15.1.2 Empfangen von Nachrichten	275
15.1.3 Kopieren beim Nachrichtenaustausch	276
15.1.3.1 Synchroner Nachrichtenaustausch	276
15.1.3.2 Asynchroner Nachrichtenaustausch	277
15.1.3.3 Dualität beim Nachrichtenaustausch	278
15.2 Selektiver Nachrichtenaustausch	279
15.2.1 Selektives Empfangen	280
15.2.2 Selektives Senden	280
15.2.3 Erweiterungen des selektiven Nachrichtenaustauschs	282
15.3 Nachrichtenaustausch in CSP	283
15.3.1 Sprachelemente von CSP	284
15.3.1.1 Kommunikationsanweisungen	284
15.3.1.2 Nichtdeterministische Auswahl	285
15.3.1.3 Prozesse	287
15.3.2 Beispiele für die Synchronisation mit CSP	288
15.3.2.1 Rückkehr in den Zoo	288
15.3.2.2 Speisende Philosophen	289
15.3.2.3 Sieb des Eratosthenes	290
15.3.3 Korrektheitsbeweise für CSP-Programme	294
15.4 Nachrichtenaustausch in Occam	295
15.4.1 Kommunikationsanweisungen	295
15.4.2 Replikatoren	296
15.4.3 Beispiel einer einfachen Steuerung	297
16 Kommunikationskanäle	301
16.1 Adressierung	301
16.1.1 Direkte Benennung	301
16.1.2 Briefkästen	304
16.1.3 Ports	306
16.1.3.1 Rückmeldungen	307
16.1.3.2 Synchronisation von Prozeßklassen mit Ports	308
16.1.3.3 Synchronisationsverhalten beim Zugriff auf Ports	311
16.1.4 Verbindungen	313
16.1.4.1 Einrichten von Verbindungen	314
16.1.4.2 Verbindungen in Mehrrechner-PEARL	316
16.2 Dynamische Kommunikationskanäle	319

Teil G: Abstraktion von Nachrichten 321

17 Prozedurfernaufrufe	323
17.1 Aktionsorientierte Kommunikation	323
17.1.1 Prozeduren als Kommunikationsmittel	324
17.1.2 Nebenläufigkeit bei Prozedurfernaufrufen	325
17.2 Implementierung von Prozedurfernaufrufen	326
17.3 Lokale und ferne Prozeduren	328
17.3.1 Ausführen ferner Prozeduren	328

17.3.2	Parameter ferner Prozeduren	329
17.4	Prozedurfernaufrufe in DP	330
17.4.1	Prozesse und Prozeduren	330
17.4.2	Bewachte Anweisungen	331
17.4.3	Beispiele für die Synchronisation mit DP	331
18	Rendezvous	335
18.1	Eingehen eines Rendezvous	335
18.1.1	Selektives Eingehen von Rendezvous	336
18.1.2	Nebenläufigkeit beim Rendezvous	337
18.2	Beispiele für die Synchronisation mit Rendezvous	338
18.2.1	Ringpuffer	339
18.2.2	Leser und Schreiber	340
18.3	Rendezvous in Ada	345
18.3.1	Anbieten von Rendezvous	345
18.3.2	Beantragen von Rendezvous	349
18.3.3	Zeitüberwachung von Rendezvousausführungen	350

Teil H: Strukturen verteilter Programmsysteme 353

19	Verteiltheit	355
19.1	Verteilte Systeme	355
19.1.1	Physikalische Verteiltheit der Hardware	355
19.1.2	Physikalische Verteiltheit der Software	357
19.1.2.1	Dezentralisierung	357
19.1.2.2	Gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln	358
19.1.2.3	Erhöhen der Zuverlässigkeit	358
19.1.3	Von der physikalischen zur logischen Verteiltheit	360
19.2	Unschärfen in verteilten Systemen	360
19.3	Architektur verteilter Systeme	362
19.3.1	Dienste und Protokolle	362
19.3.2	Typische Schichtenstruktur verteilter Systeme	364
19.3.2.1	Anwendungssystem	366
19.3.2.2	Programmiersystem	366
19.3.2.3	Betriebssystem	367
19.3.2.4	Kommunikationssystem	367
20	Konfiguration	371
20.1	Topographie verteilter Systeme	371
20.1.1	Physikalische Topographie	372
20.1.2	Logische Topographie	374
20.1.3	Abbilden der Topographien	374
20.2	Konfiguration in Occam	376
20.3	Konfiguration in Mehrrechner-PEARL	377
20.3.1	Beschreibung der physikalischen Topographie	377
20.3.1.1	Stationsteil	378
20.3.1.2	Netzteil	378
20.3.1.3	Systemteil	379
20.3.2	Logische Topographie und Konfiguration	380
20.4	Benennung in verteilten Systemen	381
20.4.1	Namensbildung	382

20.4.2	Namensverwaltung	383
20.4.2.1	Namensvergabe	383
20.4.2.2	Namensverteilung	384
21	Protokolle	387
21.1	Aufgaben von Protokollen	387
21.1.1	Fehlererkennung	388
21.1.2	Reihenfolgeerhaltung	389
21.1.3	Flußkontrolle	390
21.1.4	Nachrichtenbestätigung	391
21.2	Abwicklung von Protokollen	391
21.2.1	Protokolle als Spielregeln	392
21.2.2	Protokollmaschinen	394
21.2.2.1	Protokollspezifikation	395
21.2.2.2	Protokollanwendung	397
21.3	Protokollspezifikation mit RSPL-Z	400
21.3.1	Sprachelemente von RSPL-Z	400
21.3.1.1	Sequenzausdrücke	400
21.3.1.2	Werdegang	402
21.3.2	Spezifikation eines einfachen Protokolls	404
21.4	Ein Protokoll zur datenorientierten Kommunikation	405
21.4.1	Protokoll auf Empfängerseite	406
21.4.2	Protokoll auf Senderseite	407
21.5	Ein Protokoll zur aktionsorientierten Kommunikation	407
21.5.1	Semantik von Prozedurfernaufrufen	408
21.5.1.1	Aufruf ferner Prozeduren	408
21.5.1.2	Ausführen ferner Prozeduren	409
21.5.2	Beispiel einer Fernaufrufimplementierung	411
21.5.2.1	Starten eines Fernaufrufs	412
21.5.2.2	Verwaltung von eigenen und fremden Fernaufrufen	413
21.5.2.3	Weiterleitung von Fernaufrufen an fremde Rechner	414
21.5.2.4	Empfang von fremden Fernaufrufen im eigenen Rechner	415
Epilog	419
22	Schlußbeispiel	421
22.1	Aufgabenstellung	421
22.2	Programmstruktur	422
22.3	Programminitialisierung	425
22.4	Steuerung der Kabinen	428
22.4.1	Fahrt einer Kabine über die Strecke	429
22.4.2	Fahrt einer Kabine in den Bahnhof	433
22.5	Sicherung der Streckenabschnitte	436
22.6	Verteilen von Fahraufträgen	441
22.7	Fahrgäste	443
Nachwort	447
Literatur	449
Index	457