

# Inhalt

Materialien zum Buch .....	12
Vorwort .....	13

## **1 Einleitung** 15

---

<b>1.1 Compiler und Sprache</b> .....	15
<b>1.2 Aufbau dieses Buches</b> .....	19

## **2 Grundbegriffe der Programmiersprachen** 29

---

<b>2.1 Paradigmen</b> .....	30
2.1.1 Prozedurale Programmierung .....	31
2.1.2 Funktionale Programmierung .....	33
2.1.3 Objektorientierte Programmierung .....	34
2.1.4 Logikbasierte Sprachen .....	35
<b>2.2 Konzepte der Programmiersprachen</b> .....	37
2.2.1 Programm .....	37
2.2.2 Literale .....	38
2.2.3 Operatoren und Trennzeichen .....	39
2.2.4 Schlüsselwörter (Keywords) .....	40
2.2.5 Bezeichner (Identifier) .....	41
2.2.6 Gültigkeitsbereiche .....	43
2.2.7 Lebensdauer .....	46
2.2.8 Typen .....	47
2.2.9 Weitere Merkmale von Typsystemen .....	56
2.2.10 Typumwandlungen .....	56
2.2.11 Ausdrücke .....	59
2.2.12 Anweisungen .....	60
2.2.13 Unterprogramme .....	61
<b>2.3 Die Beispielsprache SPL</b> .....	63
2.3.1 Trennzeichen .....	65
2.3.2 Kommentare .....	66

2.3.3	Literale .....	66
2.3.4	Typen .....	67
2.3.5	Variablen .....	68
2.3.6	Ausdrücke .....	69
2.3.7	Prozeduren .....	71
2.3.8	Anweisungen .....	72
2.3.9	Das Programm .....	75
<b>2.4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	76
<b>2.5</b>	<b>Übungsaufgaben</b> .....	77
2.5.1	Funktionales Paradigma .....	77
2.5.2	Logikorientiertes Paradigma .....	77
2.5.3	Prozedurales Paradigma .....	77
2.5.4	Gültigkeitsbereiche .....	78
2.5.5	SPL .....	78

---

### **3 Lexikalische Analyse** 79

---

<b>3.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	79
<b>3.2</b>	<b>Lexikalische Elemente</b> .....	80
<b>3.3</b>	<b>Reguläre Ausdrücke</b> .....	82
<b>3.4</b>	<b>Endliche Automaten</b> .....	90
3.4.1	Nichtdeterministische Automaten .....	93
3.4.2	Elimination von $\epsilon$ -Übergängen .....	99
3.4.3	Deterministische Automaten .....	103
3.4.4	Minimierung von DEAs .....	109
<b>3.5</b>	<b>Scanner-Generatoren</b> .....	114
3.5.1	Lex bzw. Flex .....	114
3.5.2	JFlex .....	124
<b>3.6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	129
<b>3.7</b>	<b>Übungen</b> .....	129
3.7.1	Reguläre Ausdrücke .....	129
3.7.2	Reguläre Sprachen .....	130
3.7.3	Nichtdeterministische Automaten .....	130
3.7.4	Deterministische Automaten .....	130

3.7.5	Minimierung von endlichen Automaten .....	132
3.7.6	Vervollständigung des Codes .....	132

---

## 4 Syntaxanalyse 133

<b>4.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	133
<b>4.2</b>	<b>Grammatiken</b> .....	135
<b>4.3</b>	<b>Pumping-Lemma für reguläre Sprachen</b> .....	143
<b>4.4</b>	<b>Backus-Naur-Form</b> .....	146
<b>4.5</b>	<b>Ableitungsbäume</b> .....	148
4.5.1	Ableitungsbäume .....	148
4.5.2	Mehrdeutigkeit .....	149
4.5.3	Präzedenzen .....	151
<b>4.6</b>	<b>Top-Down-Parser</b> .....	153
4.6.1	Rekursiver Abstiegs-Parser .....	155
4.6.2	Grammatiktransformationen .....	158
4.6.3	LL(1)-Parser .....	160
<b>4.7</b>	<b>Bottom-Up-Parser</b> .....	176
4.7.1	LR(0)-Parser .....	178
4.7.2	SLR(1)-Parser .....	190
4.7.3	LR(1)-Parser .....	194
4.7.4	LALR(1)-Parser .....	197
<b>4.8</b>	<b>Fehlerbehandlung</b> .....	200
<b>4.9</b>	<b>Parsergeneratoren</b> .....	201
4.9.1	Yacc/Bison .....	201
4.9.2	CUP .....	210
4.9.3	ANTLR .....	216
<b>4.10</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	220
<b>4.11</b>	<b>Übungen</b> .....	222
4.11.1	Grammatiken .....	222
4.11.2	First- und Follow-Mengen .....	223
4.11.3	LL(1)-Parser .....	223
4.11.4	LR(0)-Parser .....	224
4.11.5	SLR(1)-Parser .....	224

4.11.6	LR(1)-Parser .....	224
4.11.7	LALR(1)-Parser .....	224
4.11.8	Parsergeneratoren .....	225

---

## 5 Abstrakter Syntaxbaum 227

---

5.1	Einleitung .....	227
5.2	Attributierte Grammatiken .....	229
5.3	Erzeugung des AST für SPL .....	237
5.4	Zusammenfassung .....	252
5.5	Übungen .....	253
5.5.1	Erweiterungen .....	253
5.5.2	ANTLR .....	253

---

## 6 Semantische Analyse 255

---

6.1	Einleitung .....	255
6.2	Namensanalyse .....	257
6.2.1	Symboltabellen .....	258
6.2.2	Das Visitor-Pattern .....	267
6.2.3	Typdeklarationen .....	273
6.2.4	Variablendeklarationen .....	280
6.2.5	Prozedurdeklarationen .....	281
6.3	Typanalyse .....	284
6.3.1	Typanalyse für Ausdrücke .....	286
6.3.2	Typanalyse für Anweisungen .....	292
6.4	Semantische Analyse komplett .....	296
6.5	Vorgehen .....	297
6.6	Zusammenfassung .....	298
6.7	Übungen .....	300
6.7.1	Typen .....	300
6.7.2	Symboltabelle .....	301
6.7.3	Typanalyse .....	301

<b>7</b>	<b>Variablenallokation</b>	303
7.1	Einleitung .....	303
7.2	Aktivierungsrahmen .....	305
7.2.1	Aufrufargumente .....	311
7.2.2	Lokale Variablen .....	315
7.2.3	Sichern der Register .....	317
7.2.4	Beispiel für Speicherallokation .....	318
7.3	Umsetzung im SPL-Compiler .....	320
7.4	Dynamische Speicherverwaltung .....	322
7.4.1	Explizite Deallokation .....	324
7.4.2	Implizite Deallokation .....	325
7.5	Erweiterungen für andere Sprachen .....	328
7.5.1	Zugriff auf Variablen eines umgebenden Gültigkeitsbereichs .....	328
7.5.2	Funktionen .....	331
7.5.3	Weitere Datentypen .....	333
7.6	Zusammenfassung .....	333
7.7	Übungen .....	334
7.7.1	AllocatorVisitor .....	334
7.7.2	Aktivierungsrahmen .....	335
7.7.3	Implementierung .....	335
<b>8</b>	<b>Codegenerierung</b>	337
8.1	Einleitung .....	337
8.2	Ziel-Hardware .....	338
8.2.1	RISC versus CISC .....	339
8.3	ECO32 .....	339
8.3.1	Unbedingte Sprungbefehle .....	341
8.3.2	Befehle zum Speicherzugriff .....	342
8.3.3	Rechenbefehle .....	343
8.3.4	Sprungmarken (Labels) .....	344
8.3.5	Bedingte Sprünge .....	344

<b>8.4</b>	<b>Codemuster</b>	346
8.4.1	Ausdrücke	347
8.4.2	Zuweisungen	353
8.4.3	If-Anweisung	355
8.4.4	While-Schleifen	357
8.4.5	Zusammengesetzte Anweisung	357
8.4.6	Prozeduren	358
8.4.7	Prozeduraufrufe	359
8.4.8	Beispiel	360
8.4.9	Andere Anweisungstypen	363
8.4.10	Assembler-Direktiven	363
8.4.11	Post-Processing	364
<b>8.5</b>	<b>Umsetzung im SPL-Compiler</b>	365
<b>8.6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	366
<b>8.7</b>	<b>Übungen</b>	368
8.7.1	Weitere Sprachkonstrukte	368
8.7.2	Auswertung von Ausdrücken	368
8.7.3	Codegenerierung für Anweisungen	369
8.7.4	Implementierung	369

---

<b>9</b>	<b>Optimierung</b>	371
<b>9.1</b>	<b>Einleitung</b>	371
<b>9.2</b>	<b>Grundlagen für die Optimierung</b>	374
<b>9.3</b>	<b>Kontrollflussanalyse</b>	376
<b>9.4</b>	<b>Datenflussanalyse</b>	385
<b>9.5</b>	<b>Lokale und globale Optimierungen</b>	391
<b>9.6</b>	<b>Schleifenoptimierungen</b>	394
<b>9.7</b>	<b>Sonstige Optimierungen</b>	398
9.7.1	Elimination von Endrekursion	399
9.7.2	Inlining	400
9.7.3	Leaf Routine Optimization	401
9.7.4	Registeroptimierung	403
<b>9.8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	407

<b>9.9</b>	<b>Übungen</b>	409
9.9.1	Kontrollflussanalyse	409
9.9.2	Datenflussanalyse	410

---

## **10 Ausblick**

---

<b>10.1</b>	<b>AOT und JIT</b>	411
<b>10.2</b>	<b>Forschungsfelder im Compilerbau</b>	412

Literaturverzeichnis	415
Index	423