

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil 1: Einführung</b>	<b>1</b>
<b>1 Das Fachgebiet Künstliche Intelligenz</b>	<b>1</b>
1.1 Zielstellung . . . . .	1
1.2 Historischer Rückblick . . . . .	4
1.2.1 Ausgangspunkte . . . . .	4
1.2.2 Die Entwicklungsetappen der Künstlichen Intelligenz . . . . .	7
1.3 Teilgebiete der Künstlichen Intelligenz . . . . .	10
1.4 Ingenieurtechnische Anwendungen der Künstlichen Intelligenz . . . . .	12
1.4.1 Impulse der Künstlichen Intelligenz für die Lösung ingenieurtechnischer Probleme . . . . .	12
1.4.2 Potentielle Anwendungsbiete . . . . .	15
1.4.3 Schwierigkeiten ingenieurtechnischer Anwendung . . . . .	16
1.5 Möglichkeiten und Grenzen der Künstlichen Intelligenz . . . . .	17
Literaturhinweise . . . . .	19
<b>2 Einführungsbeispiel</b>	<b>21</b>
2.1 Beschreibung eines Wasserversorgungssystems . . . . .	21
2.2 Einfache Methoden zur Verarbeitung von Regeln . . . . .	25
2.2.1 Umformung der Wissensbasis . . . . .	25
2.2.2 Verschachtelung der Regeln in einem Entscheidungsbaum .	26
2.2.3 Anordnung der Regeln als Wissensbasis . . . . .	31
2.2.4 Probleme der Wissensverarbeitung . . . . .	34
Literaturhinweise . . . . .	35
<b>Teil 2: Methodische Grundlagen</b>	<b>36</b>
<b>3 Graphensuche</b>	<b>36</b>
3.1 Bestimmung von Erreichbarkeitsbäumen . . . . .	36
3.1.1 Problemstellung . . . . .	36
3.1.2 Geradeaussuche . . . . .	38
3.1.3 Tremaux–Algorithmus zur Bestimmung des Erreichbarkeitsbaumes . . . . .	44
3.1.4 Breite–zuerst–Suche . . . . .	44
3.1.5 Tiefe–zuerst–Suche . . . . .	51
3.1.6 Struktur und Eigenschaften der Suchalgorithmen . . . . .	56
3.2 Bestimmung von Pfaden . . . . .	59
3.2.1 Erweiterung der bisher behandelten Algorithmen . . . . .	59
3.3 Heuristische Suchalgorithmen . . . . .	63
3.3.1 Heuristische Erweiterung der Suchsteuerung . . . . .	63

---

3.3.2	Bestimmung optimaler Pfade . . . . .	66
3.3.3	$A^*$ -Algorithmus . . . . .	69
3.4	Zusammenfassung . . . . .	75
	Literaturhinweise . . . . .	77
<b>4</b>	<b>Regelbasierte Wissensverarbeitung</b>	<b>78</b>
4.1	Zustandsraumdarstellung von Wissensverarbeitungsproblemen . . . . .	78
4.1.1	Darstellung von Wissen in Form von Regeln . . . . .	78
4.1.2	Formulierung von Wissensverarbeitungsproblemen . . . . .	79
4.1.3	Veranschaulichung der Wissensverarbeitung durch gerichtete Graphen . . . . .	82
4.2	Problemlösen durch Vorwärtsverkettung von Regeln . . . . .	85
4.2.1	Vorwärtsverkettung . . . . .	85
4.2.2	Verarbeitung von Schlußfolgerungsregeln . . . . .	86
4.2.3	Verarbeitung von Aktionsregeln . . . . .	95
4.2.4	Kommutative und nichtkommutative regelbasierte Systeme	105
4.2.5	Ein nichtkommutatives System mit Aktionsregeln . . . . .	106
4.3	Problemlösen durch Rückwärtsverkettung von Regeln . . . . .	115
4.3.1	Rückwärtsverkettung . . . . .	115
4.3.2	Beispiel: Diagnose des Wasserversorgungssystems . . . . .	118
4.3.3	Anwendungsbereiche der Rückwärtsverkettung . . . . .	123
4.4	Architektur und Einsatzgebiete regelbasierter Systeme . . . . .	124
4.4.1	Allgemeiner Wissensverarbeitungsalgorithmus . . . . .	124
4.4.2	Architektur regelbasierter Systeme . . . . .	127
4.4.3	Implementierung regelbasierter Systeme im OPS5 . . . . .	127
4.4.4	Einsatzcharakteristika regelbasierter Systeme . . . . .	131
	Literaturhinweise . . . . .	134
<b>5</b>	<b>Logikbasierte Wissensverarbeitung</b>	<b>135</b>
5.1	Einführung . . . . .	135
5.2	Grundlagen der Aussagenlogik . . . . .	136
5.2.1	Aussagen und Aussagenverknüpfungen . . . . .	136
5.2.2	Logische Gesetze . . . . .	138
5.2.3	Inferenzregeln der Aussagenlogik . . . . .	140
5.2.4	Aussagenkalkül . . . . .	143
5.3	Grundlagen der Prädikatenlogik . . . . .	148
5.3.1	Prädikate, Aussagen und Aussageformen . . . . .	148
5.3.2	Inferenzregeln der Prädikatenlogik . . . . .	151
5.3.3	Prädikatenkalkül . . . . .	154
5.4	Problemlösen durch Problemreduktion . . . . .	156
5.5	Das Resolutionsprinzip . . . . .	159
5.5.1	Resolutionsprinzip der Aussagenlogik . . . . .	160
5.5.2	Resolutionsprinzip der Prädikatenlogik . . . . .	161
5.6	Problemlösen durch Resolution . . . . .	163
5.6.1	Der Widerspruchsbeweis . . . . .	163
5.6.2	Widerspruchsbeweis mit der Resolutionsmethode . . . . .	165

5.6.3	Steuerung des Inferenzprozesses	169
5.6.4	Resolutionswiderlegung in der logischen Programmierung	174
5.6.5	Merkmale von Resolutionssystemen	182
5.7	Logik als Grundlage der Wissenverarbeitung	185
5.7.1	Syntax und Semantik logischer Ausdrücke	185
5.7.2	Wissenverarbeitung mit Hilfe der Logik	187
5.7.3	Erweiterungsmöglichkeiten	189
	Literaturhinweise	190
<b>6</b>	<b>Wissenverarbeitung mit strukturierten Objekten</b>	<b>191</b>
6.1	Begriffsbildung und strukturierte Objekte	191
6.1.1	Begriffshierarchien und Vererbung von Eigenschaften	191
6.1.2	Multihierarchien und Sichten	194
6.2	Semantische Netze	195
6.3	Frames	198
6.3.1	Grundidee	198
6.3.2	Anordnung von Frames in Generalisierungshierarchien	199
6.3.3	Erweiterungsmöglichkeiten	200
6.3.4	Vergleich von Frames mit anderen Wissenrepräsentationsformen	202
	Literaturhinweise	203
<b>7</b>	<b>Merkmale und Anwendungsgebiete der Wissenverarbeitung</b>	<b>204</b>
7.1	Wissenrepräsentation	204
7.1.1	Ziel der Wissenrepräsentation	204
7.1.2	Deklaratives und prozedurales Wissen	206
7.1.3	Anforderungen an die Wissenrepräsentation	208
7.1.4	Wissenrepräsentationsmodelle	209
7.1.5	Wissenserwerb	212
7.1.6	Probleme der Wissenrepräsentation	213
7.1.7	Formalierbarkeit von Wissen	215
7.2	Wissenverarbeitung	217
7.3	Anwendungsgebiete der Wissenverarbeitung	219
7.3.1	Problemspezifikation und Algorithmierung	219
7.3.2	Vergleich der wichtigsten Verarbeitungsschritte der numerischen Datenverarbeitung und der Wissenverarbeitung	223
	<b>Teil 3: Softwaretechnologie</b>	<b>226</b>
<b>8</b>	<b>Funktionale Programmierung in LISP</b>	<b>226</b>
8.1	Funktionale Programmierung	226
8.2	Rekursive Funktionen	229
8.3	Syntax von LISP	231
8.3.1	Listen	231

8.3.2 LISP-Ausdrücke . . . . .	233
8.3.3 Wichtige LISP-Funktionen . . . . .	238
8.3.4 Definition und Aufruf neuer Funktionen . . . . .	244
8.4 Programmelemente . . . . .	247
8.4.1 Verarbeitung von Listen . . . . .	247
8.4.2 Bedingte Anweisungen und Let-Konstruktionen . . . . .	250
8.4.3 Weitere LISP-Funktionen . . . . .	252
8.5 Programmbeispiel: Tiefe-Zuerst-Suche in Graphen . . . . .	253
8.6 Merkmale der Programmiersprache LISP . . . . .	262
Literaturhinweise . . . . .	265
<b>9 Logische Programmierung in PROLOG</b> . . . . .	<b>266</b>
9.1 Syntax von PROLOG . . . . .	266
9.2 Abarbeitung logischer Programme . . . . .	269
9.2.1 Semantik logischer Programme . . . . .	269
9.2.2 Steuerfluß bei der Verarbeitung logischer Programme . . . . .	270
9.2.3 Interpretation des Ergebnisses . . . . .	273
9.3 Programmelemente . . . . .	276
9.3.1 Verarbeitung von Listen . . . . .	277
9.3.2 Rekursive Programmierung . . . . .	279
9.3.3 Built-in-Prädikate . . . . .	279
9.4 Programmbeispiele . . . . .	285
9.4.1 Bestimmung von Pfaden in Graphen . . . . .	285
9.4.2 Zusammenfassung eines Widerstandsnetzwerkes . . . . .	292
9.5 Anwendungsgebiete von PROLOG . . . . .	296
Literaturhinweise . . . . .	299
<b>10 Objektorientierte Programmierung</b> . . . . .	<b>300</b>
10.1 Grundidee der objektorientierten Programmierung . . . . .	300
10.1.1 Objekte . . . . .	300
10.1.2 Hierarchien von Objekten . . . . .	302
10.2 Verarbeitung von Frames in LISP . . . . .	303
10.2.1 Darstellung von Frames durch Listen . . . . .	303
10.2.2 Funktionen zum Editieren von Frames . . . . .	304
10.2.3 Vorbelegungen und Dämonen . . . . .	307
10.2.4 Funktionen für die Vererbung . . . . .	309
10.3 Objektorientierte Programmierung in LISP . . . . .	312
10.3.1 Erweiterung von Frames zu Objekten . . . . .	312
10.3.2 Nachrichtenaustausch zwischen den Objekten . . . . .	313
Literaturhinweise . . . . .	318
<b>11 Die Softwaretechnologie der Künstlichen Intelligenz</b> . . . . .	<b>319</b>
11.1 Anforderungen an eine neue Softwaretechnologie . . . . .	319
11.2 Sprachen und Programmierstile . . . . .	320
11.2.1 Merkmale der KI-Sprachen . . . . .	320
11.2.2 Programmierstile der Künstlichen Intelligenz . . . . .	322

11.2.3 Aufbau von Sprachebenen . . . . .	325
11.2.4 Anwendungsgebiete von LISP und PROLOG . . . . .	326
11.3 Strukturierung von Wissensverarbeitungssystemen . . . . .	327
11.4 Voraussetzungen für die Entwicklung von KI-Programmen . . . . .	329
11.5 Spezialhardware für Aufgaben der Künstlichen Intelligenz . . . . .	330
<b>12 Technische Expertensysteme</b>	<b>334</b>
12.1 Grundstruktur und Aufgabengebiete . . . . .	334
12.1.1 Erweiterung wissensbasierter Systeme zu Expertensystemen	334
12.1.2 Aufgabenklassen . . . . .	335
12.1.3 Einsatzgebiete von Expertensystemen . . . . .	337
12.2 Entwurf und Implementierung . . . . .	338
12.2.1 Wissenserwerb und <i>Knowledge engineering</i> . . . . .	338
12.2.2 Hilfsmittel für die Implementierung von Expertensystemen	340
12.3 Gegenwärtiger Entwicklungsstand und Entwicklungsrichtungen . . . . .	341
Literaturhinweise . . . . .	342
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>343</b>
<b>Anhänge</b>	<b>347</b>
<b>Anhang 1: Vollständige Programmausdrucke</b>	<b>347</b>
Programme zum Kapitel 2 . . . . .	347
Programme zum Kapitel 3 . . . . .	350
Programme zum Kapitel 4 . . . . .	357
Programme zum Kapitel 8 . . . . .	367
Programme zum Kapitel 9 . . . . .	368
Programme zum Kapitel 10 . . . . .	370
<b>Anhang 2: Kurze Anleitungen zur Arbeit mit dem LISP- und dem PROLOG-Interpreter</b>	<b>373</b>
Der XLISP-Interpreter . . . . .	373
Der MPROLOG-Interpreter . . . . .	374
<b>Anhang 3: Dateienverzeichnis</b>	<b>375</b>
Programme zum Band 1 . . . . .	375
Programme zum Band 2 . . . . .	376
XLISP-Interpreter . . . . .	377
MPROLOG-Interpreter . . . . .	377