

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

- ★ **Graphensuche:** Die Wissensverarbeitung führt auf Suchprobleme, für die Lösungsmethoden aus der Graphensuche abgeleitet werden (Kap. 3).
- ★ **A*-Algorithmus:** Eine heuristische Erweiterung des Dijkstra-Algorithmus kann die Suche verkürzen, indem sie sie auf Teile des Suchraumes konzentriert, in der das Suchziel liegt (Kap. 4).
- ★ **Zustandsraumdarstellung von Wissensverarbeitungsproblemen:** Die Formulierung von Wissensverarbeitungsproblemen durch Anfangsbedingungen, Operatoren und Zielprädikate führt auf eine graphentheoretische Interpretation, mit der die Probleme durch Graphsuchalgorithmen gelöst werden können (Kap. 4).
- ★ **Regelbasierte Wissensverarbeitung:** Wenn Wissen in Form von Fakten und Regeln vorliegt, kann es durch Vorwärtsverkettung oder Rückwärtsverkettung der Regeln verarbeitet werden. Wenn dabei ein kommutatives regelbasiertes System entsteht, reicht eine Geradeaussuche, um die Lösung zu finden (Kap. 4).
- ★ **Logikbasierte Wissensverarbeitung:** Die Aussagenlogik und die Prädikatenlogik bilden die methodische Grundlage der Wissensverarbeitung. Beweisverfahren beruhen auf der Verknüpfung von Ableitungsregeln mit Suchstrategien. Sie führen auf Folgerungen, also logisch gültige Formeln, die die Lösung von Wissensverarbeitungsproblemen repräsentieren (Kap. 6 und 7).
- ★ **Resolutionsmethode:** Indem man die Axiome in Klauselform überführt, kommt man zu einer rechentechnisch einfach implementierbaren Form der Beweisverfahren, deren Komplexität durch allgemeingültige Heuristiken weiter reduziert werden kann (Kap. 6 und 7).
- ★ **Nichtmonotones Schließen:** Wenn man ein Problem mit unterschiedlichen Mengen von Annahmen lösen will, muss man die Abhängigkeit der bewiesenen Theoreme von den Axiomen graphisch darstellen und für die einzelnen Kontexte ausgeben. Die Wirksamkeit dieser Vorgehensweise wird an Fehlerdiagnoseproblemen erläutert (Kap. 8).

- ★ **Probabilistische Logik:** Die Ungewissheit über das Auftreten von Ereignissen kann wahrscheinlichkeitstheoretisch erfasst und bei der Verarbeitung berücksichtigt werden. Testszenarien sind ein wichtiges Anwendungsgebiet der dabei entstehenden probabilistischen Logik (Kap. 9).
- ★ **Bayesnetze:** Um die Komplexität wahrscheinlichkeitstheoretischer Wissensbasen zu reduzieren, muss man bedingt stochastische Unabhängigkeiten zwischen den Ereignissen erfassen und bei der Verarbeitung ausnutzen. (Kap. 9).
- ★ **Strukturierte Objekte:** Frames und kausale Netze sind zwei seit langem bekannte Formen der strukturierten Wissensrepräsentation, die in vielen Programmiersprachen und Softwaresystemen eingesetzt werden (Kap. 5).
- ★ **Anwendungsbeispiele:** Die beschriebenen Methoden werden ausführlich an Beispielen aus unterschiedlichen ingenieurtechnischen Gebieten erläutert, u. a. für intelligente Roboter, Überwachungsaufgaben der Prozessautomatisierung, Fehlerdiagnose von Fahrzeugen, Analyse elektrischer und elektronischer Schaltungen sowie an Beispielen aus dem täglichen Leben.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Anwendungsbeispiele	XVII
Hinweise zum Gebrauch des Buches	XXIII

Teil 1: Problemlösen durch Suche

1 Das Fachgebiet Künstliche Intelligenz	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Ausgangspunkte	6
1.2.1 Mathematische Logik	6
1.2.2 Algorithmentheorie	8
1.2.3 Rechentechnik	13
1.3 Kurzer historischer Rückblick	13
1.3.1 Geburtsstunde: Dartmouth-Konferenz 1956	13
1.3.2 Die klassische Epoche: Spiele und logisches Schließen	14
1.3.3 Erste Erfolge: Verstehen natürlicher Sprache	15
1.3.4 Wissensbasierte Systeme und KI-Markt	15
1.3.5 Der neue KI-Hype: Maschinelles Lernen	16
1.4 Ingenieurtechnische Anwendungen der Künstlichen Intelligenz	17
1.4.1 Grundstruktur intelligenter technischer Systeme	17
1.4.2 Intelligente Agenten	21
1.4.3 Impulse der Künstlichen Intelligenz für die Lösung ingenieur- technischer Probleme	22
1.5 Möglichkeiten und Grenzen der Künstlichen Intelligenz	25
Literaturhinweise	27
2 Einführungsbeispiel	29
2.1 Qualitative und quantitative Beschreibung eines Wasserversorgungssystems ..	29
2.2 Einfache Methoden zur Verarbeitung von Regeln	35
2.2.1 Umformung der Wissensbasis	35
2.2.2 Verschachtelung der Regeln in einem Entscheidungsbaum	36
2.2.3 Anordnung der Regeln als Wissensbasis	38
2.3 Probleme der Wissensverarbeitung	41
Literaturhinweise	42

3	Graphensuche	43
3.1	Grundbegriffe der Graphentheorie	43
3.1.1	Vorgehensweise	43
3.1.2	Ungerichtete Graphen	44
3.1.3	Suchprobleme	46
3.2	Bestimmung von Erreichbarkeitsbäumen	47
3.2.1	Trémaux-Algorithmus	47
3.2.2	Geradeaussuche	48
3.2.3	Breite-zuerst-Suche	50
3.2.4	Tiefe-zuerst-Suche	54
3.2.5	Eigenschaften der Suchalgorithmen	55
3.3	Bestimmung von Pfaden	57
3.3.1	Tiefe-zuerst-Suche von Pfaden	57
3.3.2	Optimale Pfade	59
3.3.3	DIJKSTRA-Algorithmus	61
3.4	Heuristische Suche	71
3.4.1	Erweiterungsmöglichkeiten der blinden Suche	71
3.4.2	A*-Algorithmus	73
3.5	Anwendungsbeispiel: Bahnplanung für Industrieroboter	81
3.5.1	Aufgabenstellung und Lösungsweg	81
3.5.2	Beschreibung kollisionsfreier Bahnen im Konfigurationsraum	82
3.5.3	Planungsalgorithmus	84
3.5.4	Erweiterungen	86
3.6	Zusammenfassung	86
3.6.1	Problemlösen durch Suche	86
3.6.2	Struktur und Eigenschaften von Suchsystemen	87
	Literaturhinweise	90
4	Regelbasierte Wissensverarbeitung	91
4.1	Zustandsraumdarstellung von Wissensverarbeitungsproblemen	91
4.1.1	Darstellung von Wissen in Form von Regeln	91
4.1.2	Zustandsraumdarstellung	93
4.1.3	Wissensverarbeitung als Graphensuche	97
4.2	Problemlösen durch Vorwärtsverkettung von Regeln	99
4.2.1	Vorwärtsverkettung	99
4.2.2	Verarbeitung von Schlussfolgerungsregeln	100
4.2.3	Verarbeitung von Aktionsregeln	102
4.2.4	Kommutative und nichtkommutative regelbasierte Systeme	108
4.3	Problemlösen durch Rückwärtsverkettung von Regeln	116
4.4	Architektur und Einsatzgebiete regelbasierter Systeme	120
4.4.1	Allgemeiner Wissensverarbeitungsalgorithmus	120
4.4.2	Architektur regelbasierter Systeme	122
4.4.3	Einsatzcharakteristika regelbasierter Systeme	122
	Literaturhinweise	126

5	Wissensverarbeitung mit strukturierten Objekten	127
5.1	Begriffshierarchien und Vererbung	127
5.2	Semantische Netze	131
5.2.1	Syntax und Semantik	131
5.2.2	Kausale Netze	132
5.3	Frames	137
5.3.1	Grundidee der Wissensrepräsentation mit Frames	137
5.3.2	Anordnung von Frames in Generalisierungshierarchien	139
5.3.3	Erweiterungsmöglichkeiten	140
5.3.4	Vergleich von Frames mit anderen Wissenrepräsentationsformen	142
	Literaturhinweise	144

Teil 2: Logikbasierte Wissensverarbeitung

6	Aussagenlogik	145
6.1	Einführung in die logikbasierte Wissensverarbeitung	145
6.2	Grundlagen der Aussagenlogik	146
6.2.1	Aussagen und logische Ausdrücke	146
6.2.2	Semantik aussagenlogischer Ausdrücke	150
6.2.3	Logische Gesetze	157
6.2.4	Logische Ausdrücke in Klauselform	159
6.3	Aussagenkalkül	162
6.3.1	Folgerungen	162
6.3.2	Ableitungsregeln der Aussagenlogik	164
6.3.3	Beweis aussagenlogischer Ausdrücke	168
6.3.4	Eigenschaften des Aussagenkalküls	170
6.3.5	Formale Systeme der Aussagenlogik	171
6.4	Problemlösen durch Resolution	173
6.4.1	Resolutionsprinzip der Aussagenlogik	173
6.4.2	Widerspruchsbeweis	175
6.4.3	Resolutionskalkül	177
6.4.4	Steuerung des Inferenzprozesses	179
6.5	Anwendungsbeispiel: Verifikation von Steuerungen	188
	Literaturhinweise	191
7	Prädikatenlogik	193
7.1	Grundlagen der Prädikatenlogik	193
7.1.1	Prädikate, logische Ausdrücke und Aussageformen	193
7.1.2	Prädikatenlogische Ausdrücke in Klauselform	198
7.1.3	Semantik prädikatenlogischer Ausdrücke	200
7.2	Prädikatenkalkül	202
7.2.1	Resolutionsregel der Prädikatenlogik	202
7.2.2	Resolutionskalkül	206

7.2.3	Merkmale von Resolutionssystemen	209
7.3	Resolutionswiderlegung in der logischen Programmierung	211
7.3.1	Resolutionsregel für Hornklauseln	211
7.3.2	Beweisverfahren der logischen Programmierung	215
7.4	Logik als Grundlage der Wissensrepräsentation und der Wissensverarbeitung	217
7.4.1	Modellierung technischer Systeme durch logische Ausdrücke	217
7.4.2	Beispiel: Prädikatenlogische Beschreibung von Planungsaufgaben	218
7.4.3	Vergleich von regelbasierter und logikbasierter Wissensverarbeitung	222
7.4.4	Erweiterungsmöglichkeiten der klassischen Logik	224
	Literaturhinweise	225

Teil 3: Verarbeitung unsicheren Wissens

8	Nichtmonotones Schließen und ATMS	227
8.1	Probleme und Lösungswege für die Verarbeitung unsicheren Wissens	227
8.1.1	Quellen für die Unbestimmtheiten der Wissensbasis	228
8.1.2	Probleme der Darstellung und der Verarbeitung unsicheren Wissens	230
8.1.3	Überblick über die Behandlungsmethoden für unsicheres Wissen	231
8.2	Darstellung veränderlichen Wissens	233
8.3	Grundidee des ATMS	237
8.3.1	Begründungen	237
8.3.2	ATMS-Graph	237
8.3.3	Lokale und globale Umgebungen	239
8.4	Erweiterungen	245
8.4.1	Verwaltung logischer Ausdrücke	245
8.4.2	Behandlung logischer Widersprüche	247
8.4.3	Zusammenspiel von Problemlöser und ATMS	249
8.5	Anwendungsbeispiel: Analyse eines verfahrenstechnischen Prozesses	251
8.5.1	Aussagenlogisches Modell	251
8.5.2	Bildung des ATMS-Graphen	253
8.5.3	Analyse und Prozessüberwachung mit dem ATMS	256
8.6	Fehlerdiagnose mit ATMS	260
8.6.1	Modellbasierte Diagnose	260
8.6.2	Diagnoseprinzip GDE	263
8.6.3	Realisierung von GDE mit einem ATMS	264
8.6.4	Erweiterungen	269
	Literaturhinweise	273
9	Probabilistische Logik und Bayesnetze	275
9.1	Wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle	275
9.1.1	Übersicht über die wahrscheinlichkeitstheoretische Behandlung unsicheren Wissens	275
9.1.2	Aussagenlogische Beschreibung zufälliger Ereignisse	276
9.1.3	Wahrscheinlichkeitstheoretisches Modell	279

9.2	Probabilistische Logik	281
9.2.1	A-priori- und A-posteriori-Wahrscheinlichkeiten	281
9.2.2	Modus Ponens der probabilistischen Logik	282
9.2.3	Fehlende Modularität der probabilistischen Logik	286
9.2.4	Bayessche Inferenzregel	287
9.2.5	Lösung von Diagnoseaufgaben	289
9.2.6	Aussagekraft probabilistischer Folgerungen	295
9.2.7	Anwendungsgebiete der probabilistischen Logik	296
9.3	Bayesnetze	298
9.3.1	Abhängige und unabhängige Ereignisse	298
9.3.2	Darstellung wahrscheinlichkeitstheoretischer Modelle durch Bayesnetze	305
9.3.3	Modellbildung mit Bayesnetzen	309
9.3.4	Kausales Schließen mit Bayesnetzen	316
9.3.5	Diagnostisches Schließen mit Bayesnetzen	326
9.4	Zusammenfassung und Wertung	334
	Literaturhinweise	337
10	Mehrwertige und unscharfe Logik	339
10.1	Mehrwertige Logiken	339
10.1.1	Logische Ausdrücke der dreiwertigen Logik	339
10.1.2	Ableitungsregel und Theorembeweisen	341
10.1.3	Erweiterung von dreiwertiger auf mehrwertige Logiken	343
10.2	Wissensverarbeitung mit unscharfen Mengen	344
10.2.1	Unschärfe Mengen	344
10.2.2	Unschärfe Mengen in der Wissensrepräsentation	348
10.2.3	Unschärfe Logik	351
10.2.4	Fuzzifizierung und Defuzzifizierung	355
10.2.5	Anwendungsbeispiel: Fuzzyregelung	359
10.3	Wissensverarbeitung auf der Grundlage der Evidenztheorie	366
10.3.1	Grundlagen der Evidenztheorie	366
10.3.2	Dempster-Regel	369
10.3.3	Erweiterung der Aussagenlogik mit Hilfe der Evidenztheorie	370
10.4	Heuristische Methoden zur Darstellung und zur Verarbeitung unsicheren Wissens	374
10.4.1	Beschreibung der Unbestimmtheit des Wissens durch Konfidenzfaktoren	375
10.4.2	Verarbeitung der Konfidenzfaktoren bei Ableitungen	377
	Literaturhinweise	378
11	Merkmale und technische Anwendungsgebiete der Wissensverarbeitung	381
11.1	Wissensrepräsentation	381
11.1.1	Modellbildung	381
11.1.2	Deklaratives und prozedurales Wissen	383
11.1.3	Anforderungen an die Wissensrepräsentation	384

11.1.4 Wissensrepräsentationsmodelle	386
11.1.5 Modularität der Wissensrepräsentation	388
11.1.6 Unsicheres Wissen	389
11.1.7 Wissenserwerb	391
11.2 Wissensverarbeitung	392
11.2.1 Zusammenfassung der Verarbeitungsmethoden	392
11.2.2 Problemspezifikation und Algorithmierung	394
11.3 Ingenieurtechnische Anwendungsgebiete	396
Literaturverzeichnis	399

Anhänge

Anhang 1: Lösung von Übungsaufgaben	405
Anhang 2: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung	441
Anhang 3: Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung	445
Anhang 4: Projektaufgabe	449
Anhang 5: Fachwörter deutsch – englisch	453
Sachwortverzeichnis	457

Verzeichnis der Anwendungsbeispiele

Intelligente Roboter

Intelligente Robotersteuerung (Beispiel 1.1)	19
Handlungsplanung für einen Serviceroboter (Aufgabe 7.9)	225

• Handlungsplanung und Bahnplanung für Industrieroboter

Bahnplanung für Industrieroboter (Abschn. 3.5)	81
Bahnplanung für einen Roboter mit zwei Freiheitsgraden (Aufgabe 3.12)	86
Regeln für die Handlungsplanung von Robotern (Aufgabe 4.11)	115
Wissensbasis für die Handlungsplanung (Beispiel 5.3)	138

• Handlungsplanung für einen Containerbahnhof

Zustandsraum der „Klötzchenwelt“ (Aufgabe 4.1 mit Lösung)	98, 408
Strukturierung der Modellbibliothek für einen Containerbahnhof (Aufgabe 5.3)	143
Handlungsplanung mit dem Planungssystem STRIPS (Beispiel 7.5)	220
Handlungsplanung für zwei kooperierende Roboter (Aufgabe 7.8)	225

Fertigungsautomatisierung

Verifikation von Steuerungen (Abschn. 6.5)	188
Fehleranalyse einer Fertigungszelle (Aufgabe 9.6 mit Lösung)	298, 427

• Lösung eines Packproblems

Regelbasierte Lösung (Beispiel 4.4)	110
Lösung bei unterschiedlichem Elementevorrat (Aufgabe 4.10)	115

Intelligente Messsysteme

Verarbeitung von Fehlern bei einer Druckmessung (Beispiel 10.2)	350
Bedingt unabhängige Ereignisse bei einem Messgerät (Beispiel 9.3)	303
Wahrscheinlichkeitstheoretisches Modell eines Messgerätes (Beispiel 9.5)	307
Verhalten eines Messgeräts (Aufgabe 9.9)	325

Sensorfusion mit Hilfe der Evidenztheorie (Aufgabe 10.5)	374
Analyse eines Sensornetzwerks (Aufgabe 6.18 mit Lösung)	187, 414
Diagnose eines Sensornetzwerks (Aufgabe 8.6 mit Lösung)	273, 422

Steuerung verfahrenstechnischer Prozesse

Wissensbasis für ein Reglerentwurfssystem (Aufgabe 5.4)	143
• Fuzzyregelung eines Behälters	
Fuzzyregelung des Behälterfüllstandes (Beispiel 10.4)	360
Entwurf eines Fuzzyreglers (Aufgabe 10.3)	365
• Diagnose einer Flaschenabfüllanlage	
Modellierung einer Flaschenabfüllanlage mit einem Bayesnetz (Beispiel 9.7)	314
Bedingt unabhängige Ereignisse bei der Flaschenabfüllung (Aufgabe 9.16 mit Lösung) ...	334, 434
Diagnose mit einem Bayesnetz (Beispiel 9.10)	329
Erweiterung der Diagnose (Aufgabe 9.11)	332
• Modellierung und Überwachung eines Wasserversorgungssystems	
Qualitative und quantitative Beschreibung (Abschn. 2.1)	29
Entscheidungsbaum für die Verhaltensanalyse (Abschn. 2.2.2)	36
Erweiterung des Entscheidungsbaumes (Aufgaben 2.1 und 2.3)	40, 40
Regelbasierte Überwachung des Wasserversorgungssystems (Beispiele 4.1 und 4.2)	92, 102
Suchraum für die Analyse des Wasserversorgungssystems (Aufgabe 4.3)	114
Erweiterung der Wissensbasis (Aufgabe 4.4)	114
Rückwärtsverkettung von Schlussfolgerungsregeln (Beispiel 4.5 und Aufgabe 4.12)	116, 120
Verhaltensvorhersage mit dem Aussagenkalkül (Beispiele 6.7 und 6.8)	168, 174
ATMS-Graph zur Beschreibung des Wasserversorgungssystems (Aufgabe 8.1)	259
Verhaltensvorhersage mit probabilistischer Logik (Beispiel 9.1)	283
Verhaltensvorhersage mit einem Bayesnetz (Beispiel 9.8 und Aufgabe 9.7)	320, 325
Fehlerdiagnose bei niedrigem Wasserdruck (Aufgabe 9.12)	333
Erweitertes Bayesnetz für die Fehlerdiagnose (Aufgabe 9.17 mit Lösung)	334, 435
Vorhersage des Verhaltens mit mehrwertiger Logik (Beispiel 10.1)	342
Fehlerdiagnose mit dreiwertiger Logik (Aufgabe 10.2)	344
Analyse mit unscharfer Logik (Beispiel 10.3)	353
• Alarmauswertung für verfahrenstechnische Prozesse	
Überwachung eines verfahrenstechnischen Prozesses (Abschn. 8.5)	251
Anwendung des ATMS auf ein Behältersystem (Aufgabe 8.2 mit Lösung)	259, 421

Fehlerdiagnose von Fahrzeugkomponenten

Fehlerdiagnose eines Motorkühlsystems mit probabilistischer Logik (Beispiel 9.2)	293
Diagnose einer Reifenpanne (Aufgabe 9.4 mit Lösung)	297, 424
Nutzungsüberwachung eines Sicherheitsgurtes (Aufgabe 7.6 mit Lösung)	210, 420
Taxonomie für die Fehlersuche in einem Kraftfahrzeug (Aufgabe 5.2)	130
Realisierung eines Fahrzeugkonfigurators (Projektaufgabe A4.1)	449
Fehleranalyse eines Dieselmotors (Aufgabe 9.8 mit Lösung)	325, 427
• Beschreibung und Diagnose einer Heckleuchte	
Fehlerdiagnose einer Heckleuchte (Aufgabe 1.3)	25
Analyse durch Vorwärtsverkettung von Regeln (Aufgabe 4.6 mit Lösung)	114, 410
Kausale Beschreibung einer Heckleuchte (Beispiel 5.1)	134
Aussagenlogische Beschreibung der Heckleuchte (Aufgabe 6.13)	186
Modellbasierte Diagnose einer Heckleuchte mit einem ATMS (Beispiel 8.3)	263
Fehlerdiagnose mit probabilistischer Logik (Aufgabe 9.5 mit Lösung)	298, 426
Kausales Schließen über eine Heckleuchte (Beispiel 9.9)	322
Diagnose mit einem Bayesnetz (Beispiel 9.11)	331
Logisches Modell zweier Heckleuchten (Beispiel 8.1)	243

Wissensbasierte Systeme in der Verkehrstechnik

• Routenplanung	
U-Bahn-Fahrt in Barcelona (Aufgabe 3.7)	70
Planung einer Fahrtroute in Amsterdam (Aufgabe 3.10)	80
Routenplanung im Straßen- und Eisenbahnverkehr mit dem A*-Algorithmus (Aufgabe 3.11)	80
• Ampelsteuerung	
Regeln zur Steuerung einer Verkehrsampel (Aufgabe 4.15)	125
Verifikation einer Ampelsteuerung (Beispiel 6.11)	189
• Modellierung und Überwachung eines Parkhauses	
Aussagenlogische Beschreibung eines Parkplatzes (Beispiel 6.1)	146
Bestimmung der Modelle für den Parkplatz (Beispiel 6.4)	154
Interpretation der Parkplatzmodelle (Aufgabe 6.2)	161
Logische Umformung der „Parkplatzformel“ (Aufgabe 6.5)	162
Folgerungen über die Nutzung des Parkplatzes (Beispiel 6.5)	164

Ableitungen über die Nutzung des Parkplatzes (Beispiel 6.6)	166
Stellplatzverwaltung in einem Parkhaus mit Prädikatenlogik (Aufgabe 7.3)	201

Analyse elektrischer und elektronischer Schaltungen

Generalisierungshierarchie von Bauelementen und Baugruppen (Aufgabe 5.1)	130
Anordnung der Frames in Generalisierungshierarchien (Abschn. 5.3.2)	139
Beschreibung von elektrischen Bauelementen durch Frames (Beispiel 5.2)	137
Mehrebenenbetrachtungen beim Schaltkreisentwurf (Beispiel 11.1)	397
• Beschreibung und Analyse digitaler Schaltungen	
Diagnose einer logischen Schaltung mit einem ATMS (Aufgabe 8.5)	272
Beschreibung einer digitalen Schaltung durch Hornklauseln (Aufgabe 7.7)	217
Prädikatenlogische Beschreibung einer logischen Schaltung (Aufgabe 7.5 mit Lösung) ...	210, 419
• Beschreibung und Analyse einer Sicherheitsschaltung	
Aussagenlogische Beschreibung einer 2-aus-3-Sicherheitsschaltung (Beispiel 6.2)	151
Zuverlässigkeitsanforderungen an eine Sicherheitsüberwachung (Aufgabe 9.13 mit Lösung)	333, 431
Analyse einer Sicherheitsschaltung mit einer 2-aus-3-Logik (Aufgabe 10.6)	378
• Zusammenfassung von Widerstandsnetzwerken	
Regelbasierte Zusammenfassung von Widerstandsnetzwerken (Beispiel 4.3)	102
Erweiterungen (Aufgaben 4.7 und 4.8)	114, 115
Kommutativität des regelbasierten Systems bei der Zusammenfassung von Widerständen (Aufgabe 4.9)	115
• Diagnose einer Beleuchtungseinrichtung	
Beschreibung der fehlerfreien Arbeitsweise durch einen ATMS-Graphen (Beispiel 8.4) ...	265
Diagnose mit dem Verfahren GDE (Beispiel 8.5 und Aufgabe 8.3)	267, 272
Erweiterung der Diagnose einer Beleuchtungseinrichtung (Beispiel 8.6 und Aufgabe 8.4) .	270, 272

Analyse von Rechnernetzen

Prädikatenlogische Beschreibung eines Rechnernetzes (Beispiel 7.1)	194
Sicherheit von Rechnernetzen (Aufgabe 7.2)	201
Kommunikationswege in einem Rechnernetz (Beispiel 7.3)	203
Routing in einem Rechnernetz (Aufgabe 7.4)	210

Beispiele aus dem täglichen Leben

Was sind intelligente Systeme? (Aufgabe 1.1)	6
Verhalten eines Geldautomaten (Aufgabe 1.2)	24
Verifikation der Steuerung eines Geldautomaten (Aufgabe 6.19 mit Lösung)	191, 416
Dosieren einer Flüssigkeit (Aufgabe 4.2 mit Lösung)	99, 409
Stundenplanung (Aufgabe 4.14)	125
Coronatests (Aufgabe 9.2 mit Lösung)	297, 423
Fuzzyregelung eines aufrechtstehenden Pendels (Aufgabe 10.4)	365
Aufladen eines Mobiltelefons mit einer Powerbank (Aufgabe 9.10 mit Lösung)	326, 429
Sudoku (Aufgabe 6.6)	162