

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Zum Begriff Künstliche Intelligenz .....	2
1.2 Die Entwicklung der KI .....	4
1.3 Grundsätzliche Herangehensweisen .....	6
1.3.1 Symbolische Repräsentation – die Wissens Ebene .....	6
1.3.2 Verteilung und Situiertheit.....	9
1.3.3 Nicht-Symbolische Ansätze und Maschinelles Lernen.....	11
1.3.4 Verkörperung (Embodiment) .....	12
1.4 Teilbereiche und Anwendungsgebiete der KI .....	13
Literaturverzeichnis .....	16
<b>I Grundlagen</b>	
<b>2 Kognition</b>	<b>21</b>
2.1 Kognitionswissenschaft .....	22
2.1.1 Charakterisierung und historische Entwicklung .....	22
2.1.2 Methoden kognitionswissenschaftlicher Forschung .....	24
2.2 Menschliche Kognition.....	34
2.2.1 Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Bewusstsein, Handlungskontrolle .....	35
2.2.2 Mentale Repräsentation, Begriffe und mentale Modelle .....	38
2.2.3 Gedächtnis und Lernen .....	39
2.2.4 Denken und Problemlösen .....	44
2.2.5 Soziale Kognition .....	53
2.2.6 Sprache.....	57
2.2.7 Schlusswort.....	63
Literaturverzeichnis .....	64
<b>3 Suche</b>	<b>75</b>
3.1 Problemlösen als Suche .....	75
3.1.1 Problemrepräsentation mit Zuständen und Operatoren.....	75

3.1.2	Generische Suche .....	78
3.1.3	Suchstrategien und deren Bewertung .....	81
3.2	Uninformierte Suchverfahren .....	82
3.2.1	Breitensuche .....	82
3.2.2	Gleiche-Kosten-Suche .....	84
3.2.3	Tiefensuche .....	85
3.2.4	Schrittweise vertiefende Suche .....	88
3.3	Heuristische Suche .....	89
3.3.1	Heuristische Schätzfunktionen .....	89
3.3.2	Suche mit schrittweiser lokaler Verbesserung .....	91
3.3.3	Bestensuche .....	94
	Literaturverzeichnis .....	103
<b>4</b>	<b>Wissensrepräsentation und -verarbeitung</b>	<b>105</b>
4.1	Einleitung und Motivation .....	105
4.1.1	Wissen – wozu? .....	105
4.1.2	Wissensformen .....	106
4.1.3	Repräsentation .....	109
4.1.4	Wissensverarbeitung = Schlussfolgern .....	110
4.2	Deklarative Wissensrepräsentation .....	111
4.2.1	Wissensbasierte Systeme .....	111
4.2.2	Die Rolle der Logik .....	113
4.2.3	Schlussfolgerungstypen .....	114
4.3	Ein Beispiel: Beschreibungslogiken .....	115
4.3.1	Der Formalismus .....	115
4.3.2	Semantik .....	117
4.3.3	Inferenzdienste .....	118
4.3.4	Inferenzalgorithmen .....	119
4.3.5	Berechenbarkeitseigenschaften .....	123
4.3.6	Neuere Entwicklungen .....	125
4.4	Ausblick .....	126
	Literaturverzeichnis .....	127
<b>5</b>	<b>Automatische Inferenz</b>	<b>129</b>
5.1	Einleitung .....	129
5.2	Entwurf automatischer Inferenzsysteme .....	132
5.3	Prädikatenlogik erster Stufe .....	134
5.4	Normalformen .....	137
5.5	Das DPLL Verfahren für die Aussagenlogik .....	142

5.6	Aussagenlogische Resolution .....	145
5.6.1	Ein einfacher Resolutionskalkül .....	146
5.6.2	A-geordnete Resolution .....	149
5.6.3	Verfeinerungen des Resolutionsverfahrens .....	154
5.7	Kalküle für die Prädikatenlogik .....	154
5.7.1	Herbrand-Theorie .....	155
5.7.2	Prädikatenlogische Resolution .....	157
5.8	Weitere Betrachtungen .....	163
	Literaturverzeichnis .....	164

## II Theorie und Methoden

<b>6</b>	<b>Nichtmonotones Schließen</b>	<b>171</b>
6.1	Einführung .....	171
6.2	Formalisierungen nichtmonotonen Schließens .....	176
6.2.1	Default Logik .....	177
6.2.2	Autoepistemische Logik .....	183
6.2.3	Zirkumskription .....	185
6.3	Default-Schließen als Behandlung von Inkonsistenz .....	187
6.3.1	Ein Rahmen für nichtmonotone Systeme .....	187
6.3.2	Pooles System .....	189
6.3.3	Zuverlässigkeitsstufen .....	191
6.4	Nichtmonotonie und Logikprogrammierung .....	193
6.4.1	Stabile Modelle .....	194
6.4.2	Wohlfundierte Semantik .....	195
6.4.3	Antwortmengenprogrammierung .....	197
6.5	Argumentation .....	198
6.6	Ausblick .....	200
	Literaturverzeichnis .....	201
<b>7</b>	<b>Constraints</b>	<b>205</b>
7.1	Einführung .....	205
7.2	Finite-Domain-Constraints .....	207
7.2.1	Constraint-Satisfaction-Probleme .....	207
7.2.2	Lokale und globale Konsistenz .....	209
7.2.3	Suchtechniken .....	212
7.2.4	Globale Constraints .....	215
7.3	Constraint-basierte Programmierung .....	220
7.3.1	Constraint-logische Programmierung .....	221
7.3.2	Constraint-basierte Modellierungssprachen .....	222

7.3.3	Constraints als Objekte .....	223
7.3.4	Nebenläufige Constraint-Programmierung .....	224
7.4	Soft-Constraints .....	225
7.5	Temporale Constraints .....	227
7.6	Zusammenfassung .....	229
	Literaturverzeichnis .....	230
<b>8</b>	<b>Unsicheres und vages Wissen</b>	<b>235</b>
8.1	Begriffe .....	236
8.1.1	Wissen .....	236
8.1.2	Impräzision, Unsicherheit und Vagheit .....	236
8.1.3	Schlussfolgern .....	238
8.1.4	Wahrscheinlichkeit .....	240
8.1.5	Fuzzy-Menge .....	246
8.2	Sicherheitsfaktoren .....	250
8.2.1	Grundlagen des Sicherheitsfaktoransatzes .....	250
8.2.2	Rechenregeln für Sicherheitsfaktoren .....	253
8.2.3	Inkonsistenz der Originaldefinition .....	255
8.2.4	Korrekte probabilistische Interpretation .....	257
8.3	Probabilistische Schlussfolgerungsnetze .....	259
8.3.1	Ein einfaches Beispiel .....	261
8.3.2	Bedingte Unabhängigkeit .....	266
8.3.3	Darstellung durch Graphen .....	269
8.3.4	Evidenzpropagation .....	275
8.3.5	Lernen aus Daten .....	280
8.4	Fuzzy-Regelsysteme .....	281
8.4.1	Einführung .....	281
8.4.2	Fuzzy-Regelsysteme nach Mamdani .....	283
8.4.3	Defuzzifizierung .....	285
8.4.4	Fuzzy-Regelung auf der Basis von Gleichheitsrelationen .....	287
8.4.5	Fuzzy-Regelung und Relationalgleichungen .....	290
	Literaturverzeichnis .....	292
<b>9</b>	<b>Fallbasiertes Schließen</b>	<b>297</b>
9.1	Motivation und etwas Historie .....	297
9.2	Einige Charakteristika von CBR .....	299
9.3	Grundbegriffe und ein einfaches Modell .....	299
9.3.1	Fälle als Erfahrungen .....	299
9.3.2	CBR Methodologie .....	301
9.3.3	Das Prozessmodell .....	301
9.3.4	Die Wissenscontainer und ihre Diskussion .....	303

9.4	Eine Erweiterung .....	303
9.5	Repräsentationssprachen .....	305
9.5.1	Attribut-Wert Darstellungen .....	305
9.5.2	Weitere Darstellungen .....	306
9.6	Ähnlichkeiten .....	307
9.6.1	Generelles .....	307
9.6.2	Semantik der Ähnlichkeitsmaße .....	310
9.6.3	Das lokal-global Prinzip für Ähnlichkeitsmaße .....	313
9.6.4	Spezielle Ähnlichkeitsmaße .....	314
9.7	Spezielle Retrievalfragen .....	317
9.8	Fallbasisprobleme .....	321
9.9	Adaptionsfragen .....	321
9.10	Ein paar typische Anwendungen .....	322
9.10.1	Aufwands-Prognose .....	322
9.10.2	E-commerce .....	323
9.10.3	Skizzen von Bildern .....	323
9.11	Methodologie zum Aufbau eines CBR-Systems und Integrationsfragen .....	324
9.11.1	Generelles .....	324
9.11.2	Integration in übergeordnete Problemlöser .....	325
	Literaturverzeichnis .....	326
<b>10</b>	<b>Planen</b> .....	<b>329</b>
10.1	Repräsentation von Planungsproblemen .....	330
10.1.1	Mengenbasiertes Planen: STRIPS .....	331
10.1.2	Die Planungsaufgabe .....	333
10.1.3	Propositionale Repräsentationen .....	333
10.2	Planen als Suche im Zustandsraum .....	334
10.2.1	Planungsheuristiken .....	336
10.2.2	Hierarchische Abstraktion .....	338
10.3	Planen im Planraum .....	339
10.3.1	Partiell geordnete Pläne .....	340
10.3.2	Planen mit partiell geordneten Plänen .....	340
10.3.3	Transformationsplänen .....	344
10.4	Graphbasiertes Planen .....	345
10.5	Erweiterungen und Ausblick .....	350
10.5.1	Erweiterungen des Planungsproblems .....	350
10.5.2	Was haben wir ausgelassen? .....	352
10.6	Literatur und Verweise .....	353
	Literaturverzeichnis .....	353

<b>11</b>	<b>Neuronale Netze</b>	<b>357</b>
11.1	Motivation .....	357
11.2	Natürliche neuronale Netze .....	359
11.2.1	Das Nervensystem besteht aus diskreten Zellen .....	359
11.2.2	Nervenzellen sind erregbar .....	360
11.2.3	Synaptische Übertragung .....	361
11.2.4	Lernen und synaptische Plastizität .....	363
11.3	Künstliche neuronale Netze .....	365
11.3.1	Elemente neuronaler Netze .....	365
11.3.2	Erregungsdynamik .....	366
11.3.3	Grundtypen von neuronalen Netzen .....	369
11.3.4	Gewichts- und Strukturdynamik .....	375
11.3.5	Überwachtes Lernen als Fehlerminimierung .....	376
11.3.6	Unüberwachtes Lernen .....	380
11.3.7	Generalisierung und Komplexität .....	386
11.4	Modellierung biologischer Systeme .....	390
11.4.1	Neuroanatomie des visuellen Systems .....	390
11.4.2	Rezeptive Felder .....	392
11.4.3	Visuelle Informationsverarbeitung .....	394
11.5	Mustererkennung mit neuronalen Netzen .....	397
11.6	Schlussbemerkung .....	401
11.7	Weiterführende Literatur .....	401
	Literaturverzeichnis .....	401
<b>12</b>	<b>Maschinelles Lernen und Data Mining</b>	<b>405</b>
12.1	Was ist maschinelles Lernen .....	406
12.1.1	Intensionale Definitionsversuche .....	406
12.1.2	Extensionale Definition über Lernaufgaben .....	407
12.1.3	Motivationen und Anwendungen .....	408
12.1.4	Wissensentdeckung .....	409
12.2	Funktionslernen aus Beispielen .....	410
12.3	Entscheidungsbäume .....	413
12.3.1	Stützen des Baumes .....	418
12.3.2	Boosting and Bagging: Ensemble-Methoden .....	419
12.3.3	Erweiterungen des Basis-Entscheidungsbaumverfahrens .....	420
12.4	Instanzbasiertes Lernen .....	421
12.4.1	Die Ähnlichkeitsfunktion .....	424
12.4.2	Parameterbestimmung durch Kreuzvalidierung .....	426
12.4.3	Weitere Verfahrensvarianten .....	427
12.5	Stützvektormethode .....	427
12.5.1	SVMs und die optimale Hyperebene .....	428

12.5.2	Wie berechnet man die optimale Hyperebene .....	429
12.5.3	Statistische Eigenschaften der optimalen Hyperebene .....	430
12.5.4	Nicht-lineare SVMs durch Kernfunktionen .....	432
12.5.5	SVMs mit „weicher“ Trennung .....	433
12.6	Lernbarkeit in wahrscheinlich annähernd korrektem Lernen (PAC) .....	433
12.6.1	Stichprobenkomplexität .....	435
12.7	Lernen aus strukturierten Daten: Logik .....	438
12.7.1	Repräsentation .....	439
12.7.2	Algorithmus FOIL .....	440
12.8	Assoziationsregeln .....	442
12.8.1	Der Apriori-Algorithmus .....	444
12.8.2	Erweiterungen .....	447
12.9	Subgruppenentdeckung .....	449
12.9.1	Qualitätsfunktionen .....	450
12.9.2	Effiziente Suche .....	453
12.9.3	Assoziationsregeln vs. Subgruppen .....	456
12.9.4	Erweiterungen .....	456
12.10	Clusteranalyse .....	457
12.10.1	Das $k$ -Means-Verfahren .....	458
12.10.2	Hierarchische Clustering-Verfahren .....	460
12.11	Verstärkungslernen .....	461
12.11.1	Wann handelt ein Agent optimal? .....	462
12.11.2	Dynamische Programmierung .....	463
12.11.3	Q-Learning – Lernen in unbekannter Umgebung .....	465
12.11.4	Erweiterungen .....	466
12.12	Weiterführende Themen .....	466
	Literaturverzeichnis .....	467
<b>13</b>	<b>Sprachverarbeitung</b> .....	<b>473</b>
13.1	Sprache und sprachliche Beschreibungsebenen .....	473
13.2	Sprache und KI .....	476
13.3	Anwendungen der Sprachtechnologie .....	480
13.3.1	Werkzeuge für die zwischenmenschliche Kommunikation .....	482
13.3.2	Werkzeuge für die Textproduktion .....	483
13.3.3	Werkzeuge für das Informationsmanagement .....	483
13.3.4	Mensch-Maschine-Kommunikation .....	485
13.4	Modelle und Verfahren zur Sprachverarbeitung .....	485
13.4.1	Strukturbeschreibungen .....	485
13.4.2	Wissensrepräsentation .....	491
13.4.3	Strukturanalyse .....	499
13.4.4	Robuste Verfahren .....	504

13.4.5	Maschinelles Lernen zur Wissensakquisition .....	513
13.4.6	Generierung .....	514
13.5	Architekturen für die Sprachverarbeitung .....	516
13.5.1	Modularisierung .....	516
13.5.2	Inkrementelle Verarbeitung .....	518
13.5.3	Multimodale Kommunikation .....	519
	Literaturverzeichnis .....	520
<b>14</b>	<b>Multiagentensysteme</b>	<b>527</b>
14.1	Vom Agenten zum Multiagentensystem .....	528
14.1.1	Begriff und Charakteristika .....	528
14.1.2	Wichtige Agentenarchitekturen .....	529
14.1.3	Multiagentensystem .....	533
14.2	Interaktion, Kommunikation, Organisation .....	534
14.2.1	Kommunikation und Koordinationsinfrastruktur .....	534
14.2.2	Interaktionsprotokolle .....	537
14.2.3	Organisation .....	537
14.2.4	Koordinierte Aktivitäten .....	539
14.3	Von der Kooperation zum Wettbewerb .....	540
14.3.1	Idee des rationalen Agenten .....	541
14.3.2	Voting .....	542
14.3.3	Auktionen .....	544
14.3.4	Verhandlungen .....	545
14.3.5	Bildung von Koalitionen .....	546
14.4	Entwicklung und Praxis .....	546
14.4.1	Agentenorientiertes Software Engineering .....	546
14.4.2	Werkzeuge und Wettbewerbe .....	548
14.4.3	(Zu) kurzer Blick auf die Anwendungen .....	549
14.5	Aktuelle Trends .....	550
	Literaturverzeichnis .....	551

### III Anwendungen

<b>15</b>	<b>Verkörpernte Kommunikation mit kognitiven virtuellen Agenten</b>	<b>559</b>
15.1	Einleitung .....	559
15.2	Grundlagen .....	560
15.2.1	Begriffe der Kommunikation .....	560

15.3	Technische Ansätze .....	563
15.3.1	Dialogmanagement .....	563
15.3.2	Multimodale Verhaltensverarbeitung .....	564
15.3.3	Multimodale Verhaltensgenerierung .....	565
15.3.4	Emotionen .....	566
15.3.5	Kognitive Architektur .....	566
15.4	Virtueller Kommunikationspartner Max .....	567
15.4.1	Szenario .....	567
15.4.2	Kognitive Architektur: Beispiel .....	568
15.4.3	Interaktionssteuerung .....	571
15.4.4	Sprach- und Gestenverarbeitung .....	572
15.4.5	Turn-Taking .....	573
15.4.6	Multimodale Verhaltensgenerierung .....	575
15.4.7	Physis, Emotionen, Bewegungsgenerierung .....	577
15.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	578
	Literaturverzeichnis .....	579
<b>16</b>	<b>Semantic Web</b> .....	<b>585</b>
16.1	Einleitung .....	585
16.2	Semantic Web Architektur .....	586
16.3	Verteilte semantische Daten im Web .....	590
16.3.1	Verknüpfte Daten .....	590
16.3.2	Anfragen mit SPARQL .....	591
16.3.3	Anfragen auf verknüpfte und verteilte Daten .....	593
16.4	Wissensrepräsentation und -integration .....	595
16.4.1	Analyse des einführenden Beispiels .....	595
16.4.2	Verschiedene Arten von Ontologien .....	596
16.4.3	Verteiltes Netzwerk von Ontologien im Web .....	597
16.5	Inferenz im Web .....	599
16.6	Identität und Verknüpfung von Objekten und Begriffen .....	600
16.7	Herkunft und Vertrauenswürdigkeit von Daten .....	602
16.8	Semantic Web Anwendungen und Benutzerschnittstellen .....	603
16.8.1	Vokabulare und Schemas .....	603
16.8.2	Semantic Web Browser und Semantische Suche .....	604
16.8.3	Zugriff auf soziale Netzwerke .....	605
16.8.4	Visualisierung semantisch heterogener und verteilter Daten .....	605
16.9	Zusammenfassung und Ausblick .....	606
	Literaturverzeichnis .....	608

<b>17</b>	<b>Universelle Spielprogramme</b>	<b>613</b>
17.1	Spielregeln beschreiben: Wissensrepräsentation .....	614
17.1.1	Spielzustände und Züge .....	614
17.1.2	Spielregeln .....	615
17.1.3	GDL: Zusammenfassung .....	618
17.1.4	Kommunikationsprotokoll für GDL .....	619
17.2	Spielregeln verstehen: Inferenz .....	619
17.2.1	Unifikation/Grundinstanzierung .....	622
17.2.2	Ableitungsschritt (ohne Negation) .....	622
17.2.3	Ableitungen .....	623
17.2.4	Regeln mit Negation .....	623
17.2.5	Regeln mit Disjunktion .....	624
17.3	Spielbaumsuche .....	624
17.3.1	Minimax-Verfahren .....	624
17.3.2	Optimierungen .....	626
17.3.3	Gegenspielermodelle .....	627
17.4	Stochastische Baumsuche .....	628
17.4.1	MCT-Suche .....	629
17.4.2	UCT-Bonus .....	629
17.4.3	Optimierungen .....	631
17.4.4	Grenzen .....	631
17.5	Heuristische Suche .....	632
17.5.1	Mobilitätsheuristik .....	633
17.5.2	Zielheuristiken .....	634
17.5.3	Optimierungen .....	636
17.6	Wissen .....	637
17.6.1	Domänenanalyse .....	637
17.6.2	Regelstrukturanalyse .....	639
17.7	Spiele mit unvollständiger Information .....	642
17.7.1	GDL-II .....	642
17.7.2	Hypothetische Spielstellungen .....	645
17.8	Weiterführende Literatur .....	647
	Literaturverzeichnis .....	647
<b>Index</b>		<b>651</b>