

Inhalt

Vorwort — V

1 Einleitung — 1

Literaturverzeichnis — 23

2 Wissensrepräsentation und -verarbeitung — 27

2.1 Einleitung und Motivation — 27

2.1.1 Wissen – wozu? — 27

2.1.2 Wissensformen — 29

2.1.3 Repräsentation — 31

2.1.4 Wissensverarbeitung = Schlussfolgern — 33

2.2 Deklarative Wissensrepräsentation — 35

2.2.1 Wissensbasierte Systeme — 35

2.2.2 Die Rolle der Logik — 36

2.2.3 Schlussfolgerungstypen — 37

2.3 Ein Beispiel: Beschreibungslogiken — 38

2.3.1 Der Formalismus — 39

2.3.2 Semantik — 41

2.3.3 Inferenzdienste — 42

2.3.4 Inferenzalgorithmen — 43

2.3.5 Berechenbarkeitseigenschaften — 48

2.3.6 Jenseits von \mathcal{ACC} — 51

2.4 Zusammenfassung und Ausblick — 52

Literaturverzeichnis — 53

3 Suche — 57

3.1 Problemlösen als Suche — 57

3.1.1 Zustandsräume — 57

3.1.2 Suchgraphen — 59

3.2 Pfadsuche — 63

3.2.1 Generisches Verfahren — 63

3.2.2 Uninformierte Suche — 69

3.2.3 Informierte Suche — 75

3.2.4 Zusammenfassung — 82

3.3 Optimierung — 83

3.3.1 Bergsteigerverfahren — 85

3.3.2 Evolutionäre Algorithmen — 87

3.4 Modellierung von Problemräumen — 90

3.4.1 Zustände und Operatoren — 91

3.4.2 Zielfunktionen — **93**

3.4.3 Interaktion — **97**

Literaturverzeichnis — **98**

4 Wissen über Raum und Zeit — 101

4.1 Prinzipielle Ansätze der Repräsentation
und des Schlussfolgerns — **106**

4.1.1 Axiomatisierung in klassischer Logik — **108**

4.1.2 Temporale Logiken — **109**

4.1.3 Räumliche Logiken — **111**

4.1.4 Qualitative Modellierung und constraint-basiertes Schließen — **111**

4.2 Zeit und Situationen — **117**

4.2.1 Zeit als lineare Abfolge — **118**

4.2.2 Zeit als verzweigende Struktur — **120**

4.3 Raum — **120**

4.3.1 Integriert raumzeitliche Ansätze — **123**

4.3.2 Anwendungsbereich: ontologiebasierter Datenzugriff
auf räumliche und temporale Daten — **126**

4.4 Zusammenfassung — **133**

Literaturverzeichnis — **134**

5 Automatische Inferenz — 143

5.1 Einführung — **143**

5.2 Entwurf automatischer Inferenzsysteme — **146**

5.2.1 Logik — **146**

5.2.2 Kalküle — **147**

5.2.3 Beweisprozeduren — **149**

5.2.4 Implementierung — **150**

5.3 Prädikatenlogik erster Stufe — **150**

5.4 Analytische Sequenzenkalküle (Refinement Logik) — **154**

5.5 Analytische Tableaus — **157**

5.6 Matrixbeweise — **160**

5.7 Konnektionskalkül — **165**

5.8 Effiziente Beweissuche — **171**

5.8.1 Unifikation — **172**

5.8.2 Normalformtransformationen — **173**

5.8.3 Reduktionen — **173**

5.8.4 Implementierungsaspekte — **174**

5.9 Erweiterungen — **175**

5.9.1 Konstruktive Logik — **176**

5.9.2 Modallogiken — **179**

5.9.3 Lineare Logik — **181**

5.9.4	Logik höherer Stufe —	181
5.9.5	Einbindung von Theorien —	182
5.10	Schlussbetrachtungen —	184
	Literaturverzeichnis —	184
6	Nichtmonotones Schließen —	189
6.1	Einführung —	189
6.2	Formalisierungen nichtmonotonen Schließens —	195
6.2.1	Default-Logik —	196
6.2.2	Autoepistemische Logik —	203
6.2.3	Zirkumskription —	205
6.3	Default-Schließen als Behandlung von Inkonsistenz —	207
6.3.1	Ein Rahmen für nichtmonotone Systeme —	207
6.3.2	Pooles System —	209
6.3.3	Zuverlässigkeitsstufen —	211
6.4	Nichtmonotonie und Logikprogrammierung —	214
6.4.1	Stabile Modelle —	214
6.4.2	Wohlfundierte Semantik —	216
6.4.3	Antwortmengenprogrammierung —	218
6.5	Argumentation —	220
6.6	Ausblick —	223
	Literaturverzeichnis —	224
7	Kognition —	227
7.1	Einführung in die Kognitionsforschung —	227
7.1.1	Ziele und Highlights des interdisziplinären Feldes Kognitionswissenschaft —	229
7.2	Methodenkanon der Kognitionsforschung —	231
7.2.1	Beiträge formaler Wissenschaften zur Untersuchung menschlicher Kognition —	231
7.2.2	Experimentelle und neurowissenschaftliche Methoden —	232
7.2.3	Kognitive Modellierung —	236
7.3	Zentrale Elemente menschlicher Kognition —	242
7.3.1	Wahrnehmung und Aufmerksamkeit —	242
7.3.2	Mentale Repräsentation und Gedächtnis —	243
7.3.3	Lernen —	245
7.3.4	Denken und Problemlösen —	247
7.3.5	Urteilen, Entscheidung und Bewusstsein —	259
7.3.6	Kognition in der Interaktion —	262
7.4	Ausblick mit zentralen Challenges im Bereich Kognition —	266
	Literaturverzeichnis —	267

8	Unsicheres, impräzises und unscharfes Wissen — 279
8.1	Einleitung — 280
8.1.1	Wissen — 280
8.1.2	Impräzision, Unsicherheit und Unschärfe — 280
8.1.3	Schlussfolgern — 282
8.2	Unsicheres Wissen — 285
8.2.1	Wahrscheinlichkeit — 285
8.2.2	Probabilistische Schlussfolgerungsnetze — 291
8.2.3	Wissensrevision — 317
8.2.4	Erschließen kausaler Beziehungen — 320
8.3	Unscharfes Wissen — 327
8.3.1	Fuzzy-Mengen — 328
8.3.2	Fuzzy-Regelsysteme — 332
8.3.3	Unsicheres unscharfes Wissen — 337
	Literaturverzeichnis — 339
9	Fallbasiertes Schließen — 343
9.1	Grundprinzip des fallbasierten Schließens — 344
9.1.1	CBR-Zyklus — 345
9.1.2	Wissenscontainer — 347
9.2	Fallrepräsentation — 348
9.2.1	Struktur von Fällen — 349
9.2.2	Grundlegende Ansätze zur Fallrepräsentation — 349
9.2.3	Attribut-Wert Repräsentation — 350
9.2.4	Objektorientierte Repräsentation — 351
9.2.5	Graphbasierte Repräsentation — 352
9.2.6	Fallrepräsentation für die Planung — 353
9.2.7	Weiterführende Aspekte — 353
9.3	Ähnlichkeit im fallbasierten Schließen — 354
9.3.1	Bedeutung der Ähnlichkeit — 354
9.3.2	Formalisierung und Modellierung von Ähnlichkeitsmaßen — 355
9.3.3	Traditionelle Ähnlichkeitsmaße — 356
9.3.4	Lokal-Global-Prinzip — 357
9.3.5	Ähnlichkeitsmaße für die objektorientierte Repräsentation — 359
9.3.6	Ähnlichkeitsmaße für graphbasierte Repräsentation — 359
9.3.7	Ähnlichkeitsmaße für die fallbasierte Planung — 360
9.3.8	Weiterführende Aspekte — 360
9.4	Retrieval — 361
9.4.1	Sequenzielles Retrieval — 361
9.4.2	Zweistufiges Retrieval — 362
9.4.3	Indexorientiertes Retrieval — 362

9.5	Adaption — 366
9.5.1	Adaptionsansätze — 367
9.5.2	Repräsentationsformen für Adaptionswissen — 368
9.5.3	Adaptionsprozess — 370
9.6	Lernen und Wartung — 370
9.6.1	Lernen von Fällen — 371
9.6.2	Lernen von Ähnlichkeitswissen — 372
9.6.3	Lernen von Adaptionswissen — 373
9.6.4	Transferlernen — 374
9.6.5	Wartung von CBR-Systemen — 374
9.7	Anwendungsgebiete — 375
9.7.1	Diagnose technischer Systeme — 376
9.7.2	Planung — 377
9.7.3	Prozessorientierte Informationssysteme — 379
9.7.4	Computerspiele — 381
9.8	CBR-Tools und Frameworks — 382
9.8.1	myCBR – Rapid Prototyping von CBR-Anwendungen — 382
9.8.2	ProCAKE – Process-Oriented Case-Based Knowledge Engine — 383
9.8.3	COLIBRI — 383
9.8.4	IAS – Empolis Information Access System — 384
9.9	Aktuelle Aspekte — 385
9.9.1	Erklärbarkeit von CBR-Systemen (XAI) — 385
9.9.2	CBR und Deep Learning — 385
9.9.3	CBR und Agenten — 386
9.10	Schlussbemerkung — 386
	Literaturverzeichnis — 387
10	Planen — 395
10.1	Überblick — 395
10.1.1	Sprachmächtigkeit — 397
10.1.2	Unsicherheit — 399
10.1.3	Domänenspezifisches Wissen — 401
10.1.4	Andere Erweiterungen — 402
10.2	Klassisches Planen — 403
10.3	Zustandsraumsuche — 405
10.3.1	Heuristische Suche — 406
10.3.2	Heuristiken — 408
10.3.3	Pruning — 412
10.4	Symbolische Suche — 414
10.5	SAT-Planen — 417
	Literaturverzeichnis — 420

11	Grundlagen des Maschinellen Lernens — 429
11.1	Wozu braucht man Maschinelles Lernen? — 429
11.1.1	Der Begriff des Maschinellen Lernens — 429
11.1.2	Unterschiedliche Lernaufgaben — 430
11.1.3	Die Prozesssicht des Maschinellen Lernens — 432
11.2	Ablauf des Maschinellen Lernens am Beispiel der logistischen Regression — 434
11.2.1	Trainings- und Testmenge — 435
11.2.2	Das Modell der logistischen Regression — 436
11.2.3	Die Verlustfunktion: Maximum Likelihood — 437
11.2.4	Einige Verlustfunktionen — 439
11.2.5	Optimierung durch Gradientenabstieg — 440
11.2.6	Stochastischer Gradientenabstieg — 441
11.2.7	Evaluation des Modells — 442
11.2.8	Bayessche Modelle — 444
11.3	Einführung in neuronale Netze — 445
11.3.1	Beispiel: Lineare Separierbarkeit — 448
11.3.2	Konnektionistischer Ansatz — 449
11.3.3	Backpropagation — 452
11.3.4	Numerische Stabilität und Konvergenz — 455
11.3.5	Regularisierung — 456
11.3.6	Netzwerktypen und Lernprobleme — 460
11.4	Lernen von Regeln und logischen Zusammenhängen — 461
11.4.1	Entscheidungsbäume — 462
11.4.2	Random Forest — 465
11.4.3	Gradient-Boosted Tree — 467
11.4.4	Markov-Logik-Netze — 469
11.5	Klassiker des Maschinellen Lernens — 475
11.5.1	Lineare Diskriminanzanalyse (LDA) — 476
11.5.2	Stützvektormaschinen (SVM) — 480
11.5.3	L_2 Stützvektormaschinen und ein besonders einfacher Trainingsalgorithmus — 484
11.5.4	Der Kerntrick und nicht lineare Stützvektormaschinen — 486
11.5.5	Stützvektormaschinen sind flache neuronale Netze — 488
11.5.6	Weiterentwicklungen der Kernelmethoden — 489
11.6	Verbesserung der Modelle und des Trainingsprozesses — 489
11.6.1	Initialisierung der Parameter — 489
11.6.2	k -fach Kreuzvalidierung — 490
11.6.3	Optimierungsverfahren für maschinelle Lernverfahren — 490
11.6.4	Konvergenz des Gradientenabstiegs — 493
11.6.5	Optimierung und Parallelisierung — 493
11.6.6	Optimierung der Hyperparameter — 494

11.6.7	Auswertung der Modellunsicherheit —	496
11.6.8	Lernstrategien —	499
11.7	Infrastruktur und Toolboxes —	499
11.7.1	Toolboxes für das Maschinelle Lernen —	499
11.7.2	Toolboxes für tiefe neuronale Netze —	501
	Literaturverzeichnis —	503
12	Tiefe neuronale Netze —	509
12.1	Welche Vorteile haben tiefe neuronale Netze —	509
12.2	Historische Entwicklung tiefer neuronaler Netze —	511
12.3	Faltungnetzwerke —	512
12.3.1	Faltungsschichten als dichte Merkmalsdetektoren —	514
12.3.2	Konstruktion von Faltungnetzwerken —	516
12.3.3	Lernen in tiefen Faltungnetzwerken —	519
12.4	Die Analyse von Sequenzen: rekurrente neuronale Netze —	521
12.4.1	Die Berechnung von Embeddings —	521
12.4.2	Rekurrente neuronale Netze (RNN) —	524
12.4.3	Training des RNN —	526
12.4.4	Explodierende und verschwindende Gradienten —	527
12.4.5	Long Short-Term Memory —	528
12.4.6	RNN mit mehreren Ebenen —	529
12.4.7	Erzeugung von Text mit einem RNN-Sprachmodell —	531
12.4.8	Übersetzung durch Sequenz-nach-Sequenz-Modelle —	532
12.4.9	Die Verbesserung von Übersetzungen durch Attention —	534
12.4.10	Attention-basierte Transformer übertreffen RNN —	536
12.4.11	Transferlernen mit BERT —	540
12.4.12	Generierung von Texten mit GPT2 —	541
12.5	Generative neuronale Modelle —	542
12.5.1	Tiefe Boltzmann-Maschine —	543
12.5.2	Variante Autoencoder —	546
12.5.3	Kontradiktorische Netzwerke —	548
12.6	Bestärkungslernen —	549
12.6.1	Markov-Entscheidungsprozesse —	550
12.6.2	Infinite-Horizon-Modell und Bellman-Gleichungen —	552
12.6.3	Value Iteration und Policy Iteration —	554
12.6.4	Von Monte-Carlo-Simulationen zu Temporal-Difference (TD) Learning —	555
12.6.5	Q-Learning —	559
12.6.6	Allgemeine Anmerkungen zum Bestärkungslernen —	562
12.6.7	Bestärkungslernen und neuronale Netze —	562
12.7	Anwendungsbereiche tiefer neuronaler Netze —	563
	Literaturverzeichnis —	566

13	Vertrauenswürdigen, transparentes und robustes Maschinelles Lernen — 571
13.1	Erklärbarkeit und Interpretierbarkeit — 571
13.1.1	Der Begriff der Interpretierbarkeit — 573
13.1.2	Transparentes Maschinelles Lernen — 574
13.1.3	Beurteilung von Interpretierbarkeit — 580
13.2	Robustheit, Sicherheit und Verlässlichkeit — 582
13.2.1	Der Einfluss von Ausreißern und Messfehlern — 583
13.2.2	Gezielte Konstruktion von falsch klassifizierten Beispielen — 587
13.2.3	Zusammenfassung — 590
13.3	Diskussion und abschließende Bemerkungen — 590
13.3.1	Können tiefe neuronale Netze mit vielen Parametern zuverlässig trainiert werden? — 591
13.3.2	Welche Merkmale werden von tiefen neuronalen Netzen verwendet? — 592
13.3.3	Müssen tiefe neuronale Netze jedesmal alles neu lernen? — 593
13.3.4	Können künstliche neuronale Netze Weltwissen erwerben? — 594
13.3.5	Wie kann man vertrauenswürdige, transparente und robuste KNN sicherstellen? — 594
	Literaturverzeichnis — 595
14	Sprachverarbeitung — 601
14.1	Sprache und sprachliche Beschreibungsebenen — 601
14.2	Sprache und Künstliche Intelligenz — 605
14.3	Anwendungen der Sprachtechnologie — 611
14.3.1	Werkzeuge für die zwischenmenschliche Kommunikation — 611
14.3.2	Werkzeuge für die Produktion von Texten und audiovisuellen Medien — 613
14.3.3	Werkzeuge für das Informationsmanagement — 613
14.3.4	Mensch-Maschine-Kommunikation — 615
14.4	Architekturen für die Sprachverarbeitung — 616
14.4.1	Modularisierung — 616
14.4.2	Trainierbare Architekturen — 620
14.4.3	Inkrementelle Verarbeitung — 621
14.4.4	Multimodale Kommunikation — 622
14.5	Sprachliche Strukturen und ihre Beschreibung — 623
14.6	Modelle und Verfahren der Sprachverarbeitung — 629
14.6.1	Sprachmodelle — 629
14.6.2	Transformation von Symbolsequenzen — 634
14.6.3	Repräsentationslernen — 643
14.6.4	Strukturanalyse — 647
14.7	Ausblick — 659
	Literaturverzeichnis — 663

15	Bildanalyse — 673
15.1	Einführung — 673
15.2	Lokale Bildanalyse — 674
15.2.1	Entrauschung — 674
15.2.2	Algorithmische Steigerung der Bild- und Videoauflösung — 676
15.2.3	Style-Transfer — 677
15.2.4	Tiefenschätzung — 679
15.2.5	Bildsegmentierung und Objekterkennung — 682
15.3	Globale Bildanalyse — 690
15.3.1	Bildbasierte Suche — 690
15.3.2	Objektidentifikation — 697
15.3.3	Klassifikation — 697
15.3.4	Bildbeschriftung — 698
15.3.5	Beantwortung visueller Fragen (VQA) — 702
	Literaturverzeichnis — 704
16	Constraints — 713
16.1	Einführung — 713
16.2	Finite-Domain-Constraints — 715
16.2.1	Constraint-Satisfaction-Probleme — 715
16.2.2	Lokale und globale Konsistenz — 718
16.2.3	Suchtechniken — 722
16.2.4	Globale Constraints — 725
16.3	Constraint-basierte Programmierung — 731
16.3.1	Constraint-basierte Sprachen — 732
16.3.2	Constraint-Bibliotheken — 735
16.3.3	Parallele Constraint-Programmierung — 736
16.4	Anwendungsbeispiele — 737
16.4.1	Auftragungsoptimierung — 737
16.4.2	Der Icosoku — 738
16.4.3	Ein Schichtplanungsproblem — 741
16.4.4	Verbesserung der Modelle durch Reformulierung — 745
16.5	Soft-Constraints — 746
16.6	Temporale Constraints — 749
16.7	Zusammenfassung — 750
	Literaturverzeichnis — 751
17	Multiagentensysteme — 755
17.1	Was ist ein Multiagentensystem? — 755
17.1.1	Was charakterisiert ein Multiagentensystem? — 756
17.1.2	Ein Beispiel — 759
17.1.3	Welche Fragen sind wichtig bei der Entwicklung? — 760
17.2	Einfache Agenten und Schwarmintelligenz — 762

17.3	Deliberative Agenten, klassische verteilte KI — 764
17.3.1	Individuelle Ziele versus soziale Ziele? — 765
17.3.2	Planen und Koordinieren — 766
17.3.3	Anwendungsbeispiele — 767
17.4	Rationale Agenten und verteilte Entscheidungsfindung — 767
17.4.1	Idee des rationalen Agenten — 768
17.4.2	<i>Computational Social Choice</i> — 769
17.4.3	Auktionen — 770
17.4.4	Bildung von Koalitionen — 772
17.5	Verhandelnde Agenten — 773
17.6	Lernende Agenten und Multiagentenlernen — 774
17.7	Multiagentensimulation — 774
17.8	Bemerkungen und weiterführende Literatur — 776
	Literaturverzeichnis — 777

18 Semantic Web — 783

18.1	Einleitung — 783
18.2	Architektur des Semantic Web — 785
18.3	Verteilte semantische Graphdaten im Web — 790
18.3.1	Verknüpfte Graphdaten auf dem Web — 790
18.3.2	Anfragen auf Graphdaten mit SPARQL — 791
18.3.3	Anfragen auf verknüpfte, verteilte Graphdaten — 794
18.4	Wissensrepräsentation und -integration — 795
18.4.1	Analyse des einführenden Beispiels — 796
18.4.2	Verschiedene Arten von Ontologien — 797
18.4.3	Verteiltes Netzwerk von Ontologien im Web — 799
18.5	Inferenz im Web — 801
18.5.1	Transformation von Daten — 801
18.5.2	Schlussfolgerungen über Daten — 802
18.6	Identität und Verknüpfung von Objekten und Begriffen — 803
18.7	Herkunft und Vertrauenswürdigkeit von Daten — 805
18.8	Anwendungen des Semantic Web — 806
18.8.1	Vokabulare und Schemas — 807
18.8.2	Semantische Suche — 808
18.8.3	Knowledge Graphs und Wikidata — 809
18.8.4	Zugriff auf soziale Netzwerke — 810
18.9	Bedeutung für die Praxis — 810
18.10	Zusammenfassung — 812
	Literaturverzeichnis — 812

19 Universelle Spielprogramme — 817

19.1	Spielregeln beschreiben: Wissensrepräsentation — 818
19.1.1	Spielzustände und Züge — 818

- 19.1.2 Spielregeln — 819
- 19.1.3 GDL: Zusammenfassung — 823
- 19.1.4 Kommunikationsprotokoll für GDL — 823
- 19.2 Spielregeln verstehen: Inferenz — 824
- 19.2.1 Unifikation/Grundinstanziierung — 826
- 19.2.2 Ableitungen — 827
- 19.2.3 Regeln mit Negation — 828
- 19.2.4 Regeln mit Disjunktion — 829
- 19.3 Spielbaumsuche — 829
- 19.3.1 Minimax-Verfahren — 829
- 19.3.2 Optimierungen — 832
- 19.3.3 Gegenspielermodelle — 833
- 19.4 Stochastische Baumsuche — 834
- 19.4.1 MCT-Suche — 834
- 19.4.2 UCT-Bonus — 836
- 19.4.3 Optimierungen — 836
- 19.4.4 Grenzen — 837
- 19.5 Heuristische Suche — 838
- 19.5.1 Mobilitätsheuristik — 839
- 19.5.2 Zielheuristiken — 840
- 19.5.3 Optimierungen — 843
- 19.6 Wissen — 844
- 19.6.1 Domänenanalyse — 844
- 19.6.2 Regelstrukturanalyse — 846
- 19.7 Lernen — 849
- 19.8 Erweiterung: Spiele mit unvollständiger Information — 851
- 19.8.1 GDL-II — 851
- 19.8.2 Hypothetische Spielstellungen — 854
- 19.9 Weiterführende Literatur — 856
- Literaturverzeichnis — 857

- 20 Assistenzsysteme — 859**
- 20.1 Einordnung des Gebiets in die Künstliche Intelligenz — 859
- 20.2 Assistenzbedarf in Beispielen — 862
- 20.2.1 Anwendungsbeispiel 1: *Interaktion mit einem Küchenhelfer* — 863
- 20.2.2 Warum viele Dialogmodelle für Assistenz zu einfach sind ... — 868
- 20.2.3 Anwendungsbeispiel 2: *Interaktive Bedienungsanleitung* — 869
- 20.3 Eine Definition für Assistenzsysteme — 872
- 20.3.1 Der Bedarf als zentrales Konzept — 872
- 20.3.2 Companion-Technologie: Eine Realisierung der Definition von Assistenzsystemen — 873
- 20.3.3 Problemlöse- und State-Tracking-Kompetenzen von Assistenzsystemen — 875

20.4	Wissensrepräsentation für Assistenzsysteme —	878
20.4.1	Linguistisches Wissen —	878
20.4.2	Wissen über Tasks —	879
20.4.3	Wissen über die Domäne —	880
20.4.4	Wissen über Nutzer, Interaktion und Kooperation —	883
20.5	Assistenz per Design —	884
20.5.1	Strukturierung von Software hinsichtlich ihrer Funktionalität – Ausführungsmodelle —	885
20.5.2	Interaktionsmodelle für Assistenzsysteme —	887
20.5.3	Proaktivität in Assistenzverläufen —	889
20.6	Kooperationsmodelle für Assistenzsysteme —	890
20.7	Assistenz durch KI-Algorithmen —	893
20.7.1	Planung —	894
20.7.2	Erstellen von Diagnosen —	895
20.7.3	Probabilistische Inferenz des Nutzerstatus —	895
20.7.4	Ermitteln optimaler Strategien —	897
20.7.5	Deep Learning mit explizitem Wissen als Lösung? —	897
20.8	Wahrnehmung der Umgebung durch Sensorik —	898
20.9	Herausforderungen —	899
20.9.1	Intentionserkennung —	899
20.9.2	Sprachverstehen in Assistenzkontexten —	900
20.9.3	Nicht modelliertes Handeln —	901
	Literaturverzeichnis —	902
21	Ethische Fragen der Künstlichen Intelligenz —	907
21.1	Begriffliche Klärung —	907
21.2	Ethische Grundfragen —	910
21.2.1	Ethik als wissenschaftliche Disziplin und transakademisches Unternehmen —	910
21.2.2	Autonomie —	913
21.2.3	Verantwortungslücke und Intransparenz —	916
21.2.4	Werthaltigkeit verwendeter Daten, Diskriminierung und Bias —	918
21.2.5	Ethik der Interaktion —	919
21.3	Ansätze einer ethischen und rechtlichen Regulierung —	920
21.3.1	Maschinen- und Roboterethik: Die Realisierung moralischer Maschinen —	920
21.3.2	Roboterrechte/Personenstatus von KI —	922
21.3.3	Künstliche Intelligenz für militärische Anwendungen —	927
21.4	Ausblick —	929
	Literaturverzeichnis —	931
	Beteiligte —	935
	Stichwortverzeichnis —	941