

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 1. Auflage	1
Vorwort zur 2. überarbeiteten und erweiterten Auflage	3
Kapitel I: Geschichte und Anwendungen (<i>J. H. Siekmann</i>)	5
1 Einleitung	5
2 Frühgeschichte	6
3 Erste Deduktionssysteme	12
4 Die Zeit nach 1965	15
5 Teilgebiete	19
6 Anwendungen	21
7 Schlußwort	22
Literatur	23
Kapitel II: Grundlagen und Beispiele (<i>N. Eisinger, H. J. Ohlbach</i>)	25
1 Einführung	25
2 Prädikatenlogik erster Stufe	26
2.1 Syntax von PL1	27
2.2 Semantik von PL1	28
2.3 Normalformen in PL1	31
2.4 Beschränkungen und Modifikationen von PL1	33
3 Kalküle für die Prädikatenlogik erster Stufe	35
3.1 Gentzen-Kalküle (Kalküle des natürlichen Schließens)	37
3.2 Resolution	39
3.3 Theoriesolution	44
4 Repräsentation	48
4.1 Tableaus	49
4.2 Klauselgraphen	52
4.2.1 Klauselgraphen als Datenstruktur und Indexierungshilfsmittel	52
4.2.2 Klauselgraphen mit allgemeinen Reduktionsregeln	56
4.2.3 Klauselgraphen mit spezifischen Reduktionsregeln	59
4.2.4 Graphen als Repräsentation von Beweisen	62
4.2.5 Extraktion von Widerlegungsbäumen aus Klauselgraphen	67
4.3 Matrizen	69
4.3.1 Zusammenhang zwischen Matrix- und Tableauverfahren	72
4.3.2 Zusammenhang zwischen Matrix- und Resolutionsverfahren.	73
4.4 Abstrakte Sichtweise der Repräsentationsschicht	75
5 Steuerung	79
5.1 Restriktionsstrategien	79
5.2 Ordnungsstrategien	81
6 Zwei konkrete Deduktionssysteme	84
6.1 MKRP	84
6.2 OTTER	85
Literatur	87

Kapitel III: Die Gleichheitsrelation	91
1 Das Problem der Gleichheit (<i>K. H. Bläsius, H. J. Ohlbach, A. Präcklein</i>)	91
1.1 Formalisierung der Gleichheit innerhalb der Prädikatenlogik	92
1.2 Gleichheit als Teilproblem	93
1.3 Teilgebiete der Gleichheitsbehandlung	95
2 Allgemeine Gleichheitsverfahren (<i>K. H. Bläsius, A. Präcklein</i>)	96
2.1 Untertermersetzung: Paramodulation	96
2.2 Kontrolle Resolution - Gleichheit: E-Resolution	99
2.3 Abstandsverringering: RUE-Resolution	101
2.4 Planen: Equality Graphs	105
2.5 Schlußbemerkungen	109
Literatur	110
3 Unifikationstheorie (<i>H.-J. Bürckert</i>)	112
3.1 Robinson-Unifikation	112
3.2 Theorieunifikation	113
3.3 Eigenschaften von Lösungsmengen	115
3.4 Die Unifikationshierarchie	116
3.5 Einige Resultate für spezielle Theorien	118
3.6 Kombination von Theorien und universelle Unifikation	119
3.7 Ein Beispiel: Unifikation in Booleschen Ringen	123
3.8 Schlußbemerkungen	124
Literatur	124
4 Termersetzungssysteme (<i>N. Eisinger, A. Nonnengart, A. Präcklein</i>)	126
4.1 Einführung	126
4.2 Termersetzungsregeln	128
4.3 Eigenschaften von Termersetzungssystemen	129
4.4 Kritische Ausdrücke und kritische Paare	131
4.5 Das Knuth-Bendix-Verfahren	134
4.6 Knuth-Bendix-Vervollständigung modulo einer Äquivalenzrelation	136
4.7 Das Knuth-Bendix-Verfahren als Beweisprozedur für Gleichungen	138
4.8 Knuth-Bendix-Vervollständigung mit Theorieunifikation	139
4.9 Das Knuth-Bendix-Verfahren als Beweisprozedur für Klauseln	142
4.10 Das Knuth-Bendix-Verfahren als Induktionsbeweiser	144
Literatur	147
Kapitel IV: Deduktion als Berechnung (<i>H.-J. Bürckert</i>)	151
1 Einführung: Logische Programme	151
2 Resolution für Horn-Formeln	154
3 Kompilation von logischen Programmen	158
4 Theorieunifikation in logischen Programmen	161
5 Sorten und Typen	165
6 Logische Programme mit Constraints	167
7 Schlußbemerkungen	175
Literatur	176
Kapitel V: Vollständige Induktion (<i>D. Hutter</i>)	179
1 Einführung	179
2 Grundlagen	180
3 Aufbau einer Datenbasis	183
3.1 Definition von Datenstrukturen	183

3.2	Definition von Funktionen	186
3.2.1	Eindeutigkeit und Vollständigkeit	188
3.2.2	Terminierung	189
4	Nachweis von Funktionseigenschaften (Lemmata)	195
4.1	Verwendung der Induktionsschemata	195
4.1.1	Erzeugung von Induktionsschemata	196
4.1.2	Auswahl eines Induktionsschemas	200
4.1.3	Induktion über beliebige Terme	201
4.2	Spezielle Strategien für Induktionsbeweise	203
4.2.1	Symbolische Auswertung	203
4.2.2	Rippling	205
4.3	Generalisierung	207
4.4	Existenzbeweise	209
5	Schlußbemerkungen	211
	Literatur	211
Kapitel VI: Beweissysteme mit Logiken höherer Stufe (<i>M. Kohlhase</i>)		213
1	Einführung in die Typtheorie	213
1.1	Typen	215
1.2	Syntax von $PL\Omega$	216
1.3	Semantik von $PL\Omega$	216
1.4	Existenzaxiome	217
1.5	λ -Kalkül	218
1.6	Normalformen	220
1.7	Beispiele	222
1.8	Varianten und Erweiterungen der einfachen Typtheorie	223
2	Beweisverfahren in der Typtheorie	226
2.1	Unifikation in der Typtheorie	226
2.2	Prä-Unifikation	230
2.3	Beweisprüfer	230
2.4	Automatische Beweisverfahren	231
2.5	Huets Constrained Resolution	232
2.6	Beispiele	235
	Literatur	237
Kapitel VII: Modal- und Temporallogik (<i>A. Nonnengart, H. J. Ohlbach</i>)		239
1	Modallogiken	239
1.1	Einfache Modallogik	239
1.1.1	Doxastische Interpretation	240
1.1.2	Epistemische Interpretation	241
1.1.3	Temporale Interpretation	242
1.2	Formale Definition der einfachen Modallogik	243
1.2.1	Syntax	243
1.2.2	Semantik	243
1.3	Relationale Übersetzung in Prädikatenlogik	247
1.4	Korrespondenzeigenschaften	249
1.5	Modallogik mit parametrisierten Modaloperatoren	257
1.6	Funktionale Übersetzung in Prädikatenlogik	258
1.7	Nachbarschaftssemantik	267
2	Temporallogik	270

2.1	Konstruktion der Grundlogik	271
2.2	Topologie der Zeit	277
2.2.1	Linearität	277
2.2.2	Dichte Zeit	278
2.2.3	Diskrete Zeit	278
2.2.4	Endliche oder unendliche Zeit	280
2.3	METATEM	281
3	Zusammenfassung	282
	Literatur	283
Anhang		285
	Weiterführende Literatur	285
	Stichwortverzeichnis	287

Vorwort zur 1. Auflage

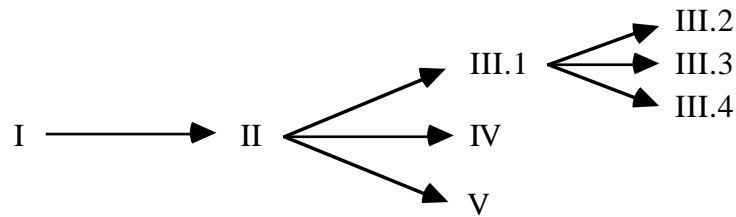
Die Fähigkeit, logische Schlüsse zu ziehen, ist eine wesentliche Grundlage intelligenten Verhaltens. Deshalb sind Schlußfolgerungs- oder Deduktionskomponenten fester Bestandteil vieler Systeme der Künstlichen Intelligenz (KI). Die Anwendungen für Deduktionssysteme gehen also über das automatische Beweisen mathematischer Theoreme – der ursprünglichen Motivation für die Entwicklung solcher Systeme – hinaus. Aus ihnen wurden logische Programmiersprachen wie PROLOG entwickelt und sie werden inzwischen bei natürlichsprachlichen Systemen ebenso verwendet wie in Expertensystemen oder für intelligente Robotersteuerung. Darüberhinaus haben auch die logikorientierten Methoden dieses Gebietes Eingang in die Grundlagenforschung fast aller KI-Gebiete gefunden.

Der Bedarf an einführenden Veranstaltungen und an Lehrmaterial zum Thema Deduktionssysteme wurde in den letzten Jahren immer wieder von Wissenschaftlern und Anwendern aus den unterschiedlichsten Gebieten der Künstlichen Intelligenz deutlich gemacht. Solche Anregungen, die besonders auf den KI-Konferenzen vorgebracht wurden, waren für uns Anlaß, ein Tutorium über Deduktionssysteme für die 1987er GWAI (German Workshop on Artificial Intelligence) vorzubereiten und dazu ein Buch mit einführenden Aufsätzen zu diesem Thema herauszugeben.

Dieses Buch richtet sich an alle Studenten, Wissenschaftler und Anwender mit Interesse an der Künstlichen Intelligenz und soll dem Leser einen leicht zugänglichen und trotzdem umfassenden Einblick in das Gebiet der Deduktionssysteme ermöglichen. Grundlegende Begriffe und Methoden der Deduktionssysteme werden vorgestellt und – unterstützt durch zahlreiche Beispiele und graphische Darstellungen – erläutert. Dabei erleichtert eine gewisse Vertrautheit mit der Prädikatenlogik das Verständnis. Trotz des einführenden Charakters gibt das Buch in vielen Fällen den aktuellen Forschungsstand wieder und weist auch für den Experten auf diesem Gebiet interessante und neue Aspekte auf.

Das Buch ist in fünf Kapitel unterteilt. Zur Einstimmung und Motivation bietet das erste Kapitel zunächst eine historische Übersicht über die automatische Deduktion und stellt verschiedene Anwendungsgebiete vor. Den Kern des Buches bildet das zweite Kapitel, in dem die wesentlichen Grundlagen des Gebietes unter Verwendung zahlreicher Beispiele erläutert werden. Geleitet von einem Schichtenmodell eines automatischen Deduktionssystems stellen die beiden Autoren relevante Logiken, wichtige Kalküle, Repräsentationsformen und Kontrollmechanismen vor. Kapitel III befaßt sich mit der Spezialbehandlung der Gleichheit. In Beiträgen über allgemeine Gleichheitsbehandlung, über Unifikationstheorie und über Termersetzungssysteme werden die Bedeutung der Gleichheit und damit verbundenene Probleme aufgezeigt sowie Lösungsansätze beschrieben. Kapitel IV stellt theoretische Grundlagen des logischen Programmierens vor und Kapitel V gibt eine Einführung in das automatische Beweisen mit vollständiger Induktion.

Die Kapitel III, IV und V sind relativ unabhängig voneinander und können in beliebiger Reihenfolge gelesen werden. Das gleiche gilt für die Abschnitte 2, 3 und 4 in Kapitel III. Empfohlen wird also eine Reihenfolge, die sich an folgendem Diagramm orientiert:



Automatische Deduktion hat in Deutschland eine gewisse Tradition: Bereits vor der Publikation des Resolutionsprinzips im Jahre 1965 arbeitete eine Gruppe unter der Leitung von Prof. Dr. G. Veenker in Bonn an automatischen Beweisverfahren. Seit Anfang der 70er Jahre existiert eine international bekannte Arbeitsgruppe unter Leitung von Dr. W. Bibel in München. Vor etwa zehn Jahren entstand die „Markgraf Karl Gruppe“ in Karlsruhe, die später mit Prof. Dr. J. Siekmann nach Kaiserslautern wechselte. Die Autoren der Beiträge in diesem Buch sind bzw. waren Mitglieder dieser ebenfalls international anerkannten Arbeitsgruppe und haben an der Entwicklung des Markgraf Karl Systems mitgearbeitet, das als eines der leistungsfähigsten bestehenden Deduktionssysteme bekannt ist.

Bei allen Autoren möchten wir uns ganz herzlich für das Zustandekommen dieses Buches bedanken. Sie haben nicht nur mit ihren eigenen Aufsätzen, sondern auch durch viele Anregungen und gemeinsame Diskussionen am Entstehen des Buches mitgewirkt. Norbert Eisinger und Hans Jürgen Ohlbach haben mit ihrem gemeinsamen Beitrag den Grundstock für die übrigen Artikel und damit für das gesamte Buch gelegt. Desweiteren haben sie durch zahlreiche Hinweise wesentlichen Anteil an der für eine Aufsatzsammlung relativ einheitlichen Darstellung. Ihnen sei daher an dieser Stelle noch einmal besonders gedankt. Prof. Dr. J. Siekmann hat sich bereiterklärt, dem Buch mit einem einleitenden Kapitel den nötigen historischen Rahmen und einen Überblick über die verschiedenen Anwendungsbereiche für Deduktionssysteme zu geben. Dafür und für seine Kommentare zur Gestaltung des Buches und seine hilfreiche Kritik an den einzelnen Beiträgen danken wir ihm herzlich. Bedanken möchten wir uns außerdem – auch im Auftrag der Autoren – bei Susanne Biundo, Peter Borst, Richard Göbel, Birgit Hummel, Manfred Kerber, Achim Posegga, Robert Reibold, Wolfgang Reif, Prof. Dr. Michael M. Richter, Ingrid Walter, Dr. Christoph Walther und Martin Weigele, die jeweils Teile der Manuskripte gelesen und wichtige Hinweise geliefert haben.

Konstanz und Kaiserslautern, im Juli 1987

Karl Hans Bläsius und Hans-Jürgen Bürckert

Vorwort zur 2. überarbeiteten und erweiterten Auflage

Nachdem die erste Auflage des vorliegenden Buches im Sommer 1991 vergriffen war und aufgrund des regen Interesses hat sich der Oldenbourg-Verlag entschlossen, eine weitere Auflage dieses Buches in Druck zu geben. Die Herausgeber und insbesondere die Autoren waren gerne bereit, für diese Neu-Auflage das Buch zu überarbeiten. Dabei wurden fast alle Kapitel von den jeweiligen Autoren (in einem Fall unter Hinzuziehen eines weiteren Autors (Abschnitte des Kapitels III)) einer intensiven Bearbeitung unterzogen und zum Großteil erweitert bzw. dem neueren Stand der Forschung angepaßt. Besonders erfreulich war, daß sich weitere Autoren fanden, die zwei neue Kapitel – über Logik höherer Stufe und über nicht-klassische Logik – beisteuerten. Auch damit folgt das Buch nun dem aktuelleren Stand der Forschung, der in den letzten Jahren seit der Erst-Auflage (1987) insbesondere in diesen beiden Bereichen zu neuen Resultaten im Hinblick auf die Operationalisierung dieser Logiken und ihre Anwendungen in der Künstlichen Intelligenz gebracht hat. Die beiden neuen Kapitel sind relativ unabhängig von den anderen, wenn sie auch ein gewisses vertieftes Verständnis der Prädikatenlogik erster Stufe voraussetzen – nicht zuletzt, weil sie in weniger bekannte Bereiche der formalen Logik führen.

Aufgrund einiger Kritiken und Rezensionen der ersten Auflage bzw. der englischen Übersetzung möchten wir an dieser Stelle nochmals darauf hinweisen, daß sich das Buch nicht an den Laien richtet, sondern gedacht war und ist als eine Einführung für KI-Forscher und KI-Anwender in die Methoden und formalen Grundlagen der Deduktionssysteme: die Darstellung der Umsetzungsmöglichkeiten und Operationalisierungstechniken für Logik und deduktive Inferenzen. Dabei sollte weniger Wert auf formale Tiefe der Darstellung gelegt, als vielmehr versucht werden, die Materie auch für Leser verständlich aufzubereiten, die weniger versiert sind in mathematischer Logik oder die auf die (beweis-)technischen Hintergründe verzichten wollen, aber sich einen Überblick über die Methoden und Möglichkeiten automatischer Deduktionssysteme verschaffen möchten. Es liegt wohl in der Natur der Sache, daß einige der Kapitel zum tieferen Verständnis der Darlegungen ein zumindest grobes Wissen und Verständnis der Grundlagen der mathematischen Logik erfordern, die wir bei dem angesprochenen Leserkreis allerdings zumindest in Grundzügen erwarten dürften: Die meisten KI-Lehrbücher vermitteln ein ausreichendes Grundwissen in mathematischer Logik.

Wir möchten uns bei allen Autoren dafür bedanken, daß sie die Mühen der Überarbeitung auf sich genommen haben – insbesondere auch den beiden neu hinzugekommenen Autoren.

Trier und Saarbrücken, im Januar 1992

Karl Hans Bläsius und Hans-Jürgen Bürckert