

Vorwort

Zur Lösung vieler ingenieurtechnischer Probleme muss man Wissen logisch verarbeiten. So wird aus dem Aufbau eines zu montierenden Gerätes durch logisches Schlussfolgern die Reihenfolge abgeleitet, in der die Teile aneinander zu fügen sind, und daraus die Handlungsfolge für einen Roboter festgelegt. Diagnosesysteme bilden aus Messwerten diskrete Kenngrößen für den aktuellen Prozesszustand und ziehen daraus Schlussfolgerungen über die möglicherweise fehlerbehafteten Komponenten. Intelligente Verkehrsleiteinrichtungen steuern den Straßenverkehr, indem sie aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen Geschwindigkeitsvorgaben ableiten und gegebenenfalls Verkehrsströme umleiten. Die dabei verwendeten Ampelschaltungen werden durch Verifikation auf Fehlerfreiheit überprüft.

Um derartige Entscheidungen treffen zu können, ist Wissen über die Problemstellung erforderlich, Beurteilungsvermögen für die möglichen Entscheidungsalternativen sowie die Fähigkeit, Schlussfolgerungen zu ziehen. In wissensbasierten Systemen ist dieses Wissen in strukturierter Form repräsentiert, so dass es für die Lösung ingenieurtechnischer Probleme verarbeitet werden kann. Im Unterschied zu der im Ingenieurbereich verbreiteten Vorgehensweise, Aufgaben in numerisch lösbare Probleme zu überführen, eignen sich die in diesem Buch behandelten Methoden vor allem für diskrete Entscheidungsprobleme, die mit symbolischer Informationsverarbeitung gelöst werden.

Dieses Lehrbuch stellt die Methoden zur Wissensrepräsentation und Wissensverarbeitung für Ingenieure dar und zeigt, wie diese Methoden in ingenieurtechnischen Anwendungen eingesetzt werden können. Die Grundlage dafür bildet eine Strukturierung des Wissens, das je nach Anwendungsgebiet als Regeln, logische Formeln, strukturierte Objekte oder Bayesnetze repräsentiert wird und damit die logischen Grundlagen der Künstlichen Intelligenz nutzt. Die Verarbeitung führt typischerweise auf Suchprobleme und kann mit Erweiterungen der Graphensuche behandelt werden.

Bei dieser Vorgehensweise werden alle betrachteten Objekte und deren Beziehungen explizit durch Symbole repräsentiert, so dass die Lösungsmethoden nachvollziehbare Ergebnisse liefern. Diese Tatsachen zeigen den grundlegenden Unterschied zu den aktuell als „Künstliche Intelligenz“ bezeichneten Methoden des maschinellen Lernens, bei denen das Wissen aus Daten extrahiert wird und verteilt als numerische Gewichte in netzförmigen Strukturen vorliegt. Die dafür entwickelten Methoden spielen in wissensbasierten Systemen nur eine untergeordnete Rolle und werden hier nicht behandelt.

Damit der Brückenschlag zwischen der Denkwelt der Ingenieure und Herangehensweise der Künstlichen Intelligenz gelingt, wird auf zwei Dinge besonderer Wert gelegt. Erstens konzentriert sich dieses Lehrbuch auf die in der Technik einsetzbaren Methoden. Neben den logischen Grundlagen der Künstlichen Intelligenz werden die in den letzten Jahren entstandenen und inge-

nieurtechnisch eingesetzten Verarbeitungsmethoden für Wissen mit Unsicherheiten behandelt und dabei Verbindungen zu wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden hergestellt.

Zweitens wird an zahlreichen Beispielen gezeigt, dass es im Tätigkeitsfeld der Ingenieure viele Probleme gibt, die nicht mit numerischen Methoden gelöst werden können, sondern Darstellungs- und Verarbeitungsprinzipien für logisches Denken erfordern. Aus diesem Grunde werden in der ingenieurtechnischen Praxis heute Bayesnetze für die Beschreibung ungenau bekannter Ursache-Wirkungsbeziehungen eingesetzt, Fehlerbäumen und logische Modelle für die Fehlerdiagnose, regelbasierte Verfahren zur Lösung von Planungsaufgaben, fuzzylogische Methoden für die Regelung verfahrenstechnischer Prozesse und heuristische Algorithmen für die Routenplanung und die Fahrplangestaltung. Diese und weitere Beispiele sollen die Leser in die Lage versetzen, die Wirksamkeit der hier behandelten Lösungsansätze für ingenieurtechnische Aufgaben zu beurteilen und neue Anwendungsgebiete zu erschließen.

Inhalt. In den ersten zwei Kapiteln wird das Anliegen der Künstlichen Intelligenz erläutert und anhand eines einfachen Beispiels gezeigt, welche grundlegenden Probleme bei der Wissensverarbeitung zu lösen sind. Dann konzentriert sich das Lehrbuch auf drei Schwerpunkte:

- **Suche:** Eine wichtige Grundlage der Künstlichen Intelligenz bilden Algorithmen für die Suche in Graphen, die sich in allgemeinerer Form in der Wissensverarbeitung wiederfinden. Viele Begriffe sowie die grundlegende Architektur von Suchsystemen werden im Kapitel 3 für die Graphensuche eingeführt und in den nachfolgenden Kapiteln für regelbasierte und logikbasierte Systeme erweitert.
- **Logik:** In den Kapiteln 4, 6 und 7 werden Regeln und logische Formeln als grundlegende Repräsentationsformen für Wissen behandelt. Ausführlich wird das Resolutionsprinzip zur Verarbeitung derartigen Wissens erläutert und an Beispielen demonstriert.
- **Verarbeitung unsicheren Wissens:** Die Erweiterung der logikbasierten Methoden für die Darstellung und Verarbeitung von unsicherem Wissen in den Kapiteln 9 und 10 ist für Ingenieuranwendungen sehr wichtig und führt u. a. auf die in der Praxis vielfach eingesetzten Bayesnetze.

Das Lehrbuch schließt mit einer Zusammenfassung der Merkmale und der technischen Anwendungsgebiete der Wissensverarbeitung. Dort werden auch Begriffe erläutert, die in der modernen Literatur zu finden sind, aber bei der Darstellung der Grundideen zunächst ausgespart wurden.

Für die Künstlichen Intelligenz gilt in besonderem Maße, dass eine Methode nur dann gut ist, wenn sie sich gut implementieren lässt. Dieser Aspekt wird in diesem Buch dadurch hervorgehoben, dass die Erläuterung der Methoden stets in Algorithmen mündet, die problemlos in einer geeigneten Programmiersprache implementiert werden können. Heutige Programmiersprachen verfügen über alle diejenigen Konstrukte, die für Suchverfahren und Symbolmanipulationsmethoden in unterschiedlichen Domänen notwendig sind.

Literaturhinweise am Ende jedes Kapitels weisen auf interessante Originalarbeiten sowie Monografien für ein vertiefendes Studium der behandelten Themen hin. **Übungsaufgaben** regen die Leser dazu an, sich über die hier behandelten Probleme hinaus das Anwendungsgebiet der Künstlichen Intelligenz zu erschließen. Die Lösungen der wichtigsten Aufgaben sind im Anhang 1 zu finden. Mit der **Projektaufgabe** (Anhang 4) können alle behandelten Methoden

am Beispiel eines Fahrzeugkonfigurators erprobt und verglichen werden. Die **Fragen zur Prüfungsvorbereitung** unterstützen die Wiederholung des behandelten Stoffes.

Didaktisches Konzept. Die Suche als wichtiges Verarbeitungsprinzip für symbolisches Wissen wird zunächst für Graphen eingeführt und später für regelbasierte und logikbasierte Systeme erweitert. Die schrittweise Ergänzung der Struktur der Algorithmen kommt in den zugehörigen Abbildungen klar zum Ausdruck. Als Konsequenz entsteht aus der Architektur von Graphensuchsystemen die Architektur regelbasierter und logikbasierter Systeme.

Bezüglich der Wissensrepräsentation beginnt das Buch mit Regeln und erweitert die Darstellungsform über aussagenlogische und prädikatenlogische Ausdrücke zu Repräsentationsformen für unsicheres und unscharfes Wissen. Dementsprechend wird der Modus Ponens als wichtigste Ableitungsregel für die genannten Darstellungsformen Schritt für Schritt verallgemeinert.

Alle Methoden werden an technischen Beispielen erläutert, wobei zahlreiche Beispiele in mehreren Kapiteln auftreten, um die Erweiterung des Methodenspektrums zu demonstrieren.

Die angegebenen Übungsaufgaben sind ihrem Schwierigkeitsgrad entsprechend folgendermaßen gekennzeichnet:

- Aufgaben ohne Markierung dienen der Wiederholung und Festigung des unmittelbar zuvor vermittelten Stoffes. Sie können in direkter Analogie zu den behandelten Beispielen gelöst werden.
- Aufgaben, die mit einem Stern markiert sind, befassen sich mit der Anwendung des Lehrstoffes auf ein praxisnahes Beispiel. Für ihre Lösung werden vielfach außer dem unmittelbar zuvor erläuterten Stoff auch Ergebnisse und Methoden vorhergehender Kapitel genutzt. Die Leser sollen bei der Bearbeitung dieser Aufgaben zunächst den prinzipiellen Lösungsweg festlegen und erst danach die Lösungsschritte nacheinander ausführen. Die Lösungen dieser Aufgaben sind im Anhang 1 angegeben.

Leser. Dieses Lehrbuch wendet sich in erster Linie an Ingenieure, die die Methoden der Künstlichen Intelligenz in Kombination mit ingenieurtechnischen Verfahren einsetzen wollen. Die hier vermittelte fachübergreifende Sicht ist notwendig, weil intelligente Maschinen nur durch die Kombination von Methoden der Ingenieurwissenschaften mit denen der Informatik entstehen können. Das Buch ist auch für die in der Praxis tätigen Ingenieure gedacht, die die Wissensverarbeitungsmethoden in ihrer Ausbildung nicht kennengelernt haben und sich für eine Erweiterung ihres Methodenspektrums interessieren.

Das Buch setzt nur mathematische Grundkenntnisse und eine gewisse Vertrautheit mit der Programmierung voraus. Die Querbezüge von den Methoden der Künstlichen Intelligenz zu systemtheoretischen Verfahren für die Modellierung und die Analyse kontinuierlicher und ereignisdiskreter dynamischer Systeme gehen über diesen Rahmen hinaus, sind aber für das Verständnis der Hauptteile des Buches nicht notwendig.

Vierte Auflage. Das Buch profitiert von einer fast 40-jährigen Lehre des Autors über Wissensverarbeitungsmethoden für Ingenieurstudenten. Dabei wurden Inhalt, Darstellungsform und Beispiele mehrfach der aktuellen Entwicklung angepasst. Gegenüber den Voraufgaben wurde jetzt auf die ausführliche Darstellung der Softwaretechnologie und insbesondere der beiden KI-Programmiersprachen LISP und PROLOG verzichtet. Um Verwechslungen mit dem gegenwärtigen

tig sehr engen Gebrauch des Begriffs der Künstlichen Intelligenz für das maschinelle Lernen vorzubeugen, wurde der Buchtitel verändert. Die Querbezüge von den Methoden der Künstlichen Intelligenz zu ingenieurwissenschaftlichen Methoden wurden vertieft, insbesondere zu den in den Lehrbüchern *Automatisierungstechnik* und *Ereignisdiskrete Systeme*¹ des Autors erläuterten Herangehensweisen zur Behandlung wertkontinuierlicher und ereignisdiskreter dynamischer Systeme.

Danksagung. Ein Buch an der Grenze zwischen Künstlicher Intelligenz und Ingenieurwissenschaften kann nicht ohne einen intensiven Gedankenaustausch mit Vertretern beider Richtungen entstehen, von denen ich mehrere Jahrzehnte profitiert habe. Besonders erwähnen möchte ich gemeinsame Forschungsprojekte und intensive Diskussionen mit Prof. Dr. MARCEL STAROSWIECKI (Lille), Prof. Dr. MOGENS BLANKE (Lyngby), Prof. Dr.-Ing. VOLKER KREBS (Karlsruhe), Dr. LOUISE TRAVE-MASSUYES (Toulouse), Prof. Dr. PETER STRUSS (München) und Prof. Dr.-Ing. FRANK SCHILLER (Nürnberg). Herr Dr.-Ing. JAN RICHTER (Nürnberg) hat über mehrere Jahre die Übungen zu meiner gleichnamigen Vorlesung gehalten und viele neue Ideen in die Gestaltung der Lehrveranstaltung eingebracht. Einige neue Beispiele sind von ihm sowie von den Herren Dr.-Ing. RENÉ SCHUH und Dr.-Ing. KAI SCHENK für die Klausuren erarbeitet worden und wurden jetzt in das Lehrbuch übernommen. Weitere Beispiele habe ich für Weiterbildungsveranstaltungen in der Industrie entwickelt, bei denen nicht primär die Methodik an sich, sondern die Anwendungsaspekte der hier behandelten Methoden im Mittelpunkt standen. Auch die Diskussionen mit den Industrievertretern haben wesentlich zur Gestaltung dieses Lehrbuchs beigetragen.

Münster, im Oktober 2024

JAN LUNZE

¹ J. Lunze: *Automatisierungstechnik*, De Gruyter Oldenbourg 2020;
J. Lunze: *Ereignisdiskrete Systeme*, De Gruyter Oldenbourg 2017