

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.

Um derartige Entscheidungen treffen zu können, ist Wissen über die Problemstellung erforderlich, Beurteilungsvermögen für die möglichen Entscheidungsalternativen sowie die Fähigkeit, Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Künstliche Intelligenz liefert wichtige Grundlagen, um technische Anlagen dazu zu befähigen bzw. um Ingenieure beim Entwurf und der Überwachung solcher Anlagen zu unterstützen. 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. Für die Realisierung der eingangs genannten Systeme werden häufig beide Vorgehensweisen kombiniert.

Dieses Lehrbuch stellt die Grundlagen der Künstlichen Intelligenz für Ingenieure dar. Es gibt eine detaillierte Einführung in die wichtigsten Methoden der Wissensrepräsentation und der Wissensverarbeitung und zeigt, wie diese Methoden in ingenieurtechnischen Anwendungen eingesetzt werden können.

Damit der Brückenschlag von der Denkwelt der Ingenieure zur 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 Verarbeitungsmethoden für Wissen mit Unsicherheiten behandelt und dabei Verbindungen zu den im Ingenieurbereich eingesetzten wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden hergestellt.

Zweitens wird an zahlreichen Beispielen gezeigt, dass es im Tätigkeitsfeld der Ingenieure viele Probleme gibt, die nicht mit den bewährten Methoden der Ingenieurwissenschaften 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, 7 und 8 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 11 bis 13 ist für Ingenieur Anwendungen sehr wichtig und führt u. a. auf die in der Praxis vielfach eingesetzten Bayesnetze.

Das Lehrbuch schließt mit einer kurzen Einführung in die Wissensverarbeitung mit strukturierten Objekten und einer Zusammenfassung der Merkmale und der technischen Anwendungsgebiete der Wissensverarbeitung in den Kapiteln 5 und 14. 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.

In den Text eingefügt sind zwei Kapitel zur **Softwaretechnik** der Künstlichen Intelligenz. Kapitel 6 zeigt mit einer Einführung in die Programmiersprache LISP, dass die symbolische Informationsverarbeitung in zweckmäßiger Weise auf eine Manipulation von Listen zurückgeführt werden kann. Mit PROLOG wird im Kapitel 9 eine Programmiersprache behandelt, bei der der Interpreter die Suche nach einer Lösung selbst organisiert, so dass die Anwender ihre Probleme nur noch deklarativ zu formulieren brauchen. Beide Kapitel sind keine erschöpfenden Programmieranleitungen, sondern zeigen mit der funktionalen und der logischen Programmierung, welche neuen Programmierstile für die Methoden der Künstlichen Intelligenz zweckmäßig sind. Leser, die sich nur für die Methoden der Künstlichen Intelligenz interessieren, können diese Kapitel ohne Weiteres überspringen.

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 an einem durchgängigen Anwendungsbeispiel erprobt und verglichen werden. Die **Fragen zur Prüfungsvorbereitung** unterstützen die Wiederholung des behandelten Stoffes.

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.

Dritte Auflage. Für die Neuauflage wurden zahlreiche Textpassagen überarbeitet, neue Übungsaufgaben eingefügt, Beispiele und Abbildungen verbessert. 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 Methoden 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. 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 Dipl.-Ing. RENÉ SCHUH und M. Sc. 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.

Mein Dank gilt weiterhin Frau ANDREA MARSCHALL, die zahlreiche Bilder überarbeitet hat, sowie dem Verlag De Gruyter Oldenbourg für die stets gute Zusammenarbeit.

Münster, im Oktober 2015

JAN LUNZE

¹ J. Lunze: *Automatisierungstechnik*, Oldenbourg 2012; J. Lunze: *Ereignisdiskrete Systeme*, Oldenbourg 2012