

# Vorwort

Dieses Lehrbuch gibt eine Einführung in die Beschreibung und Analyse ereignisdiskreter Systeme. Es zeigt, wie man dynamische Systeme mit wertdiskreten Signalen durch Automaten, Markovketten und Petrinetze darstellen und analysieren kann. Die behandelten Modellformen bilden die Grundlage für vielfältige Beschreibungsmittel, die heute in der Elektronik für die Spezifikation und die Modellierung von Schaltkreisen, in der Automatisierungstechnik für die Analyse diskreter Systeme und den Steuerungsentwurf oder in der Informatik für die Definition von Berechnungsmodellen und die Analyse und Übersetzung von Programmen eingesetzt werden. Beispiele und Übungsaufgaben aus den genannten sowie weiteren Gebieten zeigen das breite Anwendungsfeld der in diesem Buch eingeführten Modelle und Methoden.

Mit der fachübergreifenden Darstellung der Theorie ereignisdiskreter Systeme ist dies – zumindest im deutschsprachigen Raum – das erste Lehrbuch, das alle grundlegenden Phänomene und Eigenschaften der ereignisdiskreten Dynamik unabhängig vom Anwendungsgebiet beschreibt. Es entstand aus einer Lehrveranstaltung des dritten Semesters des Studienganges Elektrotechnik und Informationstechnik der Ruhr-Universität Bochum, die die Studenten vor ihrer Entscheidung für einen Studienschwerpunkt, der entweder stärker auf die Elektronik, die Informationstechnik oder die Informatik ausgerichtet war, besucht haben. Das breite Interessensgebiet dieser Hörer schlägt sich in der Breite der Darstellung nieder.

Die vermittelte fachübergreifende Sicht auf ereignisdiskrete Systeme ist für die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ingenieuren und Informatikern wichtig. War die Ausbildung in den Ingenieurwissenschaften traditionell auf wertkontinuierliche Systeme konzentriert, so wurde mit der Digitaltechnik bereits vor vielen Jahren eine diskrete Denkweise eingeführt. Die Darstellung und Behandlung technischer Systeme in diskreten Signalräumen ist jedoch in der Zwischenzeit auch auf vielfältige Bereiche außerhalb der Digitaltechnik übertragen worden. Das Buch wendet sich deshalb nicht nur an Studenten beider Disziplinen, sondern auch an Ingenieure in der Praxis, die in ihrer Ausbildung der traditionellen Lehre entsprechend nur punktuell mit der ereignisdiskreten Denkweise konfrontiert wurden und sich jetzt für eine breite Einführung in diese wichtige Thematik interessieren.

**Inhalt.** Nach einer Übersicht über das weite Anwendungsfeld der Theorie ereignisdiskreter Systeme und einer Erläuterung grundlegender systemtheoretischer Begriffe und Methoden gibt das Buch im ersten Teil eine ausführliche Einführung in die Automatentheorie. Dabei werden sowohl die im ingenieurtechnischen Bereich eingesetzten Automaten mit Eingang und Ausgang als auch die in der Informatik für die Definition regulärer Sprachen verwendeten  $\Sigma$ -Automaten behandelt. Automatenetze und Petrinetze erleichtern die Darstellung nebenläufiger Prozesse.

Der zweite und der dritte Teil des Buches behandeln Erweiterungen in zwei Richtungen. Einerseits werden nichtdeterministische Zustandsübergänge wahrscheinlichkeitstheoretisch be-

wertet, so dass Aussagen über die Häufigkeit dieser Übergänge möglich werden. Dabei entstehen diskrete Markovketten und stochastische Automaten als neue Modellformen. Andererseits kann man Verweilzeiten für die Zustände angeben und erhält zeitbewertete Automaten und zeitbewertete Petrinetze, mit denen die Zeitpunkte der Zustandsänderungen erfasst werden. Die Kombination beider Erweiterungen macht es bei Semi-Markovprozessen möglich, nichtdeterministische Zustandsübergänge wahrscheinlichkeitstheoretisch zu beschreiben und gleichzeitig die Verweilzeit in den Zuständen vorherzusagen.

**Aufgaben** mit Lösungen dienen zur Wiederholung und zur Festigung des vermittelten Stoffes. Jedes Kapitel schließt mit **Literaturhinweisen** auf die Quellen der Theorie ereignisdiskreter Systeme sowie weiterführende Darstellungen.

Obwohl sich die Theorien der kontinuierlichen und der ereignisdiskreten Systeme bisher weitgehend unabhängig voneinander entwickelt haben, gibt es vielfältige Verbindungen zwischen ihnen. Darauf wird in Beispielen und Analogiebetrachtungen eingegangen. Ingenieurstudenten, die vor allem mit der kontinuierlichen Beschreibung dynamischer Systeme vertraut sind, sollen dabei die Parallelität der systemtheoretischen Betrachtungsweise und die Unterschiede in der mathematischen Behandlung beider Systemklassen erkennen. Für das Verständnis dieses Lehrbuchs werden jedoch keine Kenntnisse der Theorie kontinuierlicher Systeme vorausgesetzt. Leser ohne dieses Vorwissen können die Passagen zu kontinuierlichen Systemen überspringen.

Vorausgesetzt werden lediglich Grundkenntnisse der Matrizenrechnung und der Wahrscheinlichkeitstheorie, wobei in beiden Fällen das Niveau des gymnasialen Mathematikunterrichts ausreicht. Ergänzende Fakten sind in den Anhängen zusammengefasst. Dies gilt auch für die grundlegenden Begriffe der Graphentheorie, die für die Analyse ereignisdiskreter Systeme benötigt werden.

**Danksagung.** Das Buch gibt den Inhalt und die Didaktik einer Lehrveranstaltung wieder, die ich über 25 Jahre an der Ruhr-Universität Bochum für Elektrotechnik- und Informatikstudenten gehalten habe und an deren Erarbeitung meine ehemaligen Doktoranden einen erheblichen Anteil haben. Insbesondere danke ich den Herren Dr.-Ing. AXEL SCHILD, Dr.-Ing. YANNICK NKE und Dr.-Ing. MARKUS ZGORZELSKI sowie Frau Dr.-Ing. MELANIE SCHUH. Frau ANDREA MARSCHALL gilt mein Dank für die Erstellung und Überarbeitung der zahlreichen Abbildungen.

**4. Auflage.** In dieser vollständig überarbeiteten Auflage werden in einem neuen Abschnitt die Markov-Entscheidungsprozesse eingeführt und deren Lösung mit Hilfe der Bellman-Gleichung angegeben. Das Kapitel zu zeitbewerteten Automaten wurde erweitert, so dass sich die Definition dieser Modellform jetzt genau an der in der Informatik üblichen orientiert. Die Erweiterung nichtdeterministischer Automaten um Zeitbewertungen wird bis zu hybriden Automaten fortgeführt.

Münster, im Oktober 2025

JAN LUNZE