

---

## Vorwort

Simulation bedeutet die Modellierung eines Systems, also einer realen oder imaginären Gegebenheit mit dem Ziel, neue Einblicke in das System zu gewinnen und daraus Handlungsanweisungen abzuleiten. In diesem Buch wird nur die digitale Simulation in einem Rechner in Form von Software behandelt. Die modellierten Systeme sind dabei immer dynamische Systeme, bei denen sich der Zustand im Ablauf der Zeit ändert. Ein dynamisches System wird oftmals als ein Vorgangsschema aufgefasst, das wiederholt und in unterschiedlichen Ausprägungen ablaufen kann. Ist ein dynamisches System mit einer Ablauflogik ausgestattet, so bezeichnet man es als Prozess. Im Ablauf eines Prozesses durchläuft eine Vielzahl von beweglichen Objekten ein vorgegebenes Netz von Stationen. Dabei entsteht eine Konkurrenz um Ressourcen mit der typischen Folge von Wartesituationen. Ein Prozess umfasst unter dieser Sichtweise viele Individualprozesse, die sich auf einzelne Objekte beziehen, teilweise parallel verlaufen und sich gegenseitig beeinflussen.

Das Thema dieses Buchs ist die Simulation diskreter Prozesse, bei denen die Zustandsänderungen zu diskreten Zeitpunkten stattfinden. Typische Beispiele sind Bearbeitungsvorgänge in einer Produktionsanlage, Wartesituationen für bewegliche Objekte oder Geschäftsprozesse bei der Organisation betrieblicher Abläufe. Besonders interessant sind stochastische diskrete Prozesse, bei denen es Zustandsänderungen gibt, die durch den Zufall beeinflusst werden. Dann stoßen mathematische Ansätze wie beispielsweise die Warteschlangentheorie sehr schnell an ihre Grenzen. Um einen Einblick in das Wesen eines stochastischen Prozesses zu erhalten, bleibt oftmals als einzige Alternative die Simulation, mit der das Geschehen auf dem Rechner nachgespielt wird. Für das Herausarbeiten von Gesetzmäßigkeiten werden laufend systemspezifische Kenngrößen ermittelt und mit statistischen Methoden beurteilt. Die zufälligen Einflüsse können mit Hilfe von Pseudozufallszahlen abgebildet werden. Da eine solche Form der Simulation einen experimentellen Charakter hat, muss die Simulationssoftware die Möglichkeit bieten, systematisch Versuche durchzuführen und zu bewerten.

Der erste Schritt bei der Modellierung eines Prozesses ist die grafische Darstellung der stationären Systemkomponenten und der Ablaufstruktur. Die Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der grafischen Beschreibungsformalismen für Prozesse

ist derzeit in einer aktiven und produktiven Phase. Das prozessorientierte Denken in betrieblichen Organisationen, das sich immer mehr etabliert, hat für die Modellierung von Geschäftsprozessen neuartige grafische Beschreibungsformalismen hervorgebracht, die frühere Ansätze wie Petri-Netze oder Beschreibungsformalismen aus dem technischen Umfeld in hervorragender Weise weiterentwickelt und ergänzt haben. Für die Konzeption einer Simulationssoftware ist insbesondere der Aspekt der Umsetzung von grafischen Beschreibungen in Software von Bedeutung. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Entwicklungen werden hier vorgestellt und diskutiert.

Für die Simulation diskreter Prozesse gibt es unterschiedliche Herangehensweisen. Die zentrale Simulationstechnik dieses Buchs ist die ereignisorientierte Simulation, die genau den Verlauf eines Prozesses abbildet, indem jedes Ereignis, das den Systemzustand verändert, nachgespielt wird. Das Verständnis der ereignisorientierten Simulationstechnik eröffnet einen leichten Zugang zur komplexeren prozessorientierten Simulationstechnik, die als eine strukturierte Form der ereignisorientierten Simulation aufgefasst werden kann. Die prozessorientierte Simulation ist zwar für die Modellierung besser geeignet, sie erfordert jedoch eine anspruchsvollere Programmierung. Als weitere Simulationstechnik für Prozesse wird die zeitgesteuerte, auch periodenorientierte Simulation genannt, vorgestellt.

---

## **Leserschaft und Vorkenntnisse**

Der Schwerpunkt dieses Buches liegt neben der Darstellung der grundlegenden Konzepte auf der Vermittlung der softwaretechnischen Kenntnisse, die zur Realisierung ereignisorientierter Simulationssoftware notwendig sind. Als Leserschaft sind einerseits Studierende der Informatik sowie berufstätige Informatiker und Informatikerinnen angesprochen, die eine Software für die Simulation diskreter Prozesse von Grund auf programmieren wollen, aber auch Studierende anderer Fächer, etwa aus dem Bereich Ingenieurwesen, und praktisch Tätige, die eine ereignisorientierte oder prozessorientierte Simulationssoftware anwenden wollen. Das mit dem vorliegenden Buch erworbene Wissen über die in einer kommerziellen Simulationssoftware implementierten Konzepte ermöglicht softwaretechnische Anpassungen sowie den gewinnbringenden Einsatz einer Simulationssoftware in der Praxis.

Die elementare ereignisorientierte Simulation erfordert keine tiefgehenden Programmierkenntnisse und setzt wenig mathematisches Wissen voraus. Lediglich für die statistische Auswertung sind Grundkenntnisse aus den Gebieten Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik erforderlich, die in einer Übersicht im zweiten Teil des Buches dargestellt sind.

---

## **Aufbau des Buches**

Es war mir ein wichtiges Anliegen, die wesentlichen Inhalte dieses Buches anhand von Tabellen, Abbildungen und einfachen Programmroutinen visuell zu vermitteln.

Mit Hilfe von Übungsaufgaben können die Spezialmechanismen der ereignisorientierten Simulation nachvollzogen und vertieft werden.

Die ProgrammROUTINEN für die Simulation sind unabhängig von einer Programmiersprache in Form von Pseudocode dargestellt. Dabei werden einfache Programmstrukturen wie Sequenz, Auswahl und Schleife in einer den Programmiersprachen C++ und Java entsprechenden Syntax formuliert. Teile, für die die Ausprogrammierung offen gelassen wird, sind als natürlichsprachliche Anweisungen in doppelte Anführungszeichen gesetzt. Einige kleine Programme zur Generierung von Zufallszahlen sind in einfach zu verstehendem C++-Code programmiert.

Der erste Teil dieses Buchs enthält den Kern des Stoffes zum Thema „Simulation diskreter Prozesse“. Nach Kap. 1 mit einer Einführung und den grundlegenden Begriffen werden in Kap. 2 die ereignisorientierte, die prozessorientierte und die periodenorientierte Simulationstechnik vorgestellt. Da hier stochastische Prozesse im Vordergrund stehen, wird in Kap. 3 gezeigt, wie man den Zufall mit Hilfe von Pseudozufallszahlen in ausreichender Qualität programmiertechnisch modellieren kann. In Kap. 4 wird erklärt, wie die vom Zufall beeinflussten Ergebniswerte einer Simulation statistisch beurteilt werden können.

Kapitel 5 bildet den zentralen Schwerpunkt dieses Buches. Zunächst wird beschrieben, wie vernetzt ablaufende Prozesse mit einer einfachen und intuitiv leicht verständlichen Beschreibungssprache grafisch repräsentiert werden können. Dann wird die ereignisorientierte Simulation isolierter Bearbeitungsstationen in vielen Varianten beschrieben, insbesondere werden geplante und unvorhersehbare Unterbrechungen der Bearbeitungen behandelt. Anschließend werden Abläufe in sequentiellen und parallelen Netzstrukturen von Bearbeitungsstationen untersucht mit Spezialsituationen wie Blockaden und Deadlocks, und es wird der Unterschied zwischen Pull- und Push-gesteuerten Prozessen herausgestellt. Ein separater Abschnitt widmet sich dem Complex Event Processing und ordnet die ereignisorientierte Simulation in dieses allgemeine Software-Paradigma ein.

In Kap. 6 wird eine Reihe von typischen Anwendungen vorgestellt mit einem ersten Beispiel eines betriebswirtschaftlich ausgerichteten Geschäftsprozesses. Geschäftsprozesse werden in Kap. 7 ausführlich diskutiert. Es wird eine Einführung in die Beschreibungsformalismen Ereignisgesteuerte Prozessketten und Business Process Model and Notation gegeben und es werden die durch Geschäftsprozesse herbeigeführten neuen Herausforderungen bei sich nichtdeterministisch verzweigenden Ablaufstrukturen aufgezeigt.

Der zweite Teil des Buchs stellt das theoretische Basiswissen bereit, das für das Verständnis der Ausführungen im ersten Teil notwendig ist. In knapper Form werden die wichtigsten Begriffe und Konzepte aus den Gebieten Stochastik (Kap. 8), Markov-Prozesse (Kap. 9), Warteschlangentheorie (Kap. 10) sowie grafische Modellierungsfomalismen mit einer Einführung in Petri-Netze (Kap. 11) behandelt.

Teil II dient nur zum Nachschlagen und ist für Leser und Leserinnen mit dem entsprechenden Vorwissen entbehrlich.

## **Danksagungen**

Mein besonderer Dank gilt Wilhelm Erben, der sich unermüdlich um die korrekte Darstellung der Stochastik-Anteile gekümmert hat und zu wesentlichen Verbesserungen in diesem Buch beigetragen hat. Frau Dorothea Glaunsinger und Herrn Hermann Engesser vom Springer-Verlag möchte ich für die sehr angenehme und professionelle Zusammenarbeit danken.

Konstanz, im Januar 2013

Ulrich Hedtstück



<http://www.springer.com/978-3-642-34870-9>

Simulation diskreter Prozesse

Methoden und Anwendungen

Hedtstück, U.

2013, XIII, 235 S. 232 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-34870-9