

HANSER

Uwe Kastens, Hans Kleine Büning

# Modellierung

Grundlagen und formale Methoden

ISBN-10: 3-446-41537-8

ISBN-13: 978-3-446-41537-9

Vorwort

Weitere Informationen oder Bestellungen unter  
<http://www.hanser.de/978-3-446-41537-9>  
sowie im Buchhandel.

# Vorwort

Das Modellieren ist eine für das Fach Informatik typische Arbeitsmethode, die in allen Gebieten des Faches angewandt wird. Aufgaben, Probleme oder Strukturen werden untersucht und als Ganzes oder in Teilaspekten beschrieben, bevor sie durch den Entwurf von Software-Algorithmen, Daten oder Hardware gelöst bzw. implementiert werden. Mit der Modellierung einer Aufgabe zeigt man, ob und wie sie verstanden wurde. Das Modell ist Voraussetzung und Maßstab für die Lösungen und liefert meist auch den Schlüssel für einen systematischen Entwurf. Als Ausdrucksmittel für die Modellierung steht ein breites Spektrum von Kalkülen und Notationen zur Verfügung. Sie sind spezifisch für unterschiedliche Arten von Aufgaben und Problemen. Deshalb werden in den verschiedenen Gebieten der Informatik unterschiedliche Modellierungsmethoden eingesetzt. In den entwurfsorientierten Gebieten, wie Software-Technik und Hardware-Entwurf, ist die Bedeutung der Modellierung und die Vielfalt der Methoden besonders stark ausgeprägt.

Mit diesem Buch soll eine Übersicht über die wichtigsten Kalküle der Informatik und ein grundlegendes Verständnis für jeden der vorgestellten Kalküle vermittelt werden. Die Leser sollen an vielen praktischen Beispielen lernen, die Kalküle zur Modellierung anzuwenden, und dabei Erfahrungen im formalen Beschreiben erwerben. Sie sollen den Nutzen von klaren und präzisen Beschreibungen erkennen. Das angebotene Spektrum von Kalkülen ist als Grundausstattung zu verstehen, die noch wesentlich vertieft und verbreitert werden kann. Deshalb wird hier von jedem Kalkül nur der innere methodische Kern präsentiert und auf die Vorstellung von Erweiterungen und weniger grundlegenden Kalkülen verzichtet.

Das vorliegende Buch ist als Lehrbuch zur Vorlesung *Modellierung* entstanden, mit der die oben genannten Ziele verfolgt werden. Die Vorlesung wird an der Universität Paderborn als eine einsemestrige, vierstündige Pflichtveranstaltung für Studierende der Informatik und der Wirtschaftsinformatik angeboten. Zur Vorlesung gehören praktische Übungen in Form betreuter Kleingruppenarbeit, selbstständiger Hausarbeiten und zentraler Präsentation von Lösungen. Die Übungsaufgaben dieses Buches stammen im Wesentlichen aus diesem Übungsmaterial.

Die beiden Autoren dieses Buches haben die Vorlesung in Abstimmung mit ihren Kollegen inhaltlich konzipiert und seit 1998 im zweijährigen Wechsel gehalten. Wegen ihres unterschiedlichen fachlichen Hintergrundes setzen sie auch verschiedene Schwerpunkte bei der Vermittlung von Modellierungsaspekten: Uwe Kastens arbeitet im Gebiet Programmiersprachen und Übersetzer und ist stark in Themen der Software-Technik verwurzelt. Bei der Modellierung betont er die Anwendung der Kalküle, den Nutzen formaler Beschreibungen und die Trennung von Aufgaben und Lösungen. Hans Kleine Büning ar-

beitet im Gebiet Logik und Wissensbasierte Systeme. Er betont stärker die theoretischen Grundlagen der Kalküle und setzt Schwerpunkte in den Logik-Kalkülen. Die Autoren haben in enger Kooperation versucht, die unterschiedlichen Schwerpunkte und Herangehensweisen einander ergänzend in das Buch und die Vorlesung einzubringen. An diesen Diskussionen hat sich auch der Kollege Hauenschild nachhaltig beteiligt, der im Jahr 2004 die Vorlesung übernommen hat.

Nach der Einführung werden in den Kapiteln 2 bis 7 die Kalküle vorgestellt. Wir haben die Reihenfolge so gewählt, dass Vorgriffe möglichst vermieden werden können. Zu jedem Kalkül werden zunächst die Grundbegriffe eingeführt und dann typische Modellierungstechniken an möglichst anschaulichen Beispielen gezeigt. Jedes Kapitel schließt mit einer Sammlung von Übungsaufgaben. Als durchgängige Aufgabe wird die Modellierung von Aspekten eines Getränkeautomaten in Übungen eines jeden Kapitels aufgegriffen. In Kapitel 8 werden an zwei Fallstudien alle Kalküle im Zusammenhang gezeigt. Einige bibliografische Hinweise finden sich am Ende des Buches.

Im Kapitel 1 wird der Modellbegriff eingeführt, so wie er im Alltag und in der Informatik verwendet wird. Die Tätigkeit des Modellierens wird charakterisiert und ihre Notwendigkeit begründet. Am Schluss zeigen wir eine einfache formale Modellierung im Vorgriff auf später vorgestellte Kalküle.

Das Kapitel 2 führt Mengen als Modellierungskalkül ein: Einfache und zusammengesetzte Mengen definieren die Wertebereiche von Objekten und Eigenschaften des Modells. Abstrakte Konzepte wie kartesisches Produkt, Potenzmenge, Vereinigung, Folgen, Relationen und Funktionen werden zur Strukturierung der Wertemengen eingesetzt. Diese Begriffe sind Grundlagen für jede Art formaler Beschreibung.

Fast alle formalen Kalküle definieren eine Notation für Formeln, in denen Operanden mit Operationen verknüpft werden. Im Kapitel 3 werden deshalb Terme als abstrakte Grundlage von Formeln eingesetzt, die erst im Anwendungskontext spezielle Bedeutung bekommen. Notationen sowie allgemein gültige Begriffe wie Substitution, Umformung nach Regeln und Unifikation werden hier universell für Terme definiert. Im zweiten Teil des Kapitels werden diese Begriffe zu abstrakten und konkreten Algebren ausgebaut. Damit können dann Kalküle und Datenstrukturen algebraisch definiert werden. Wegen der universellen Bedeutung von Termen haben wir sie in einem separaten Kapitel definiert – und nicht als Teil der Prädikatenlogik, wo sie einen angestammten Platz haben.

Kapitel 4 führt die beiden klassischen Gebiete der Logik ein: Aussagenlogik und Prädikatenlogik erster Stufe. Wir beschränken uns auf die für Anfänger wichtigsten Grundlagen der Kalküle: Syntax und Semantik, Umgang mit logischen Operatoren und Quantoren und einfache Normalformen sowie Transformationen. Insbesondere Kalküle und Verfahren des automatischen Beweisens überlassen wir einer späteren Vertiefung.

Der Kalkül der Graphen wird in Kapitel 5 behandelt. Er eignet sich besonders gut zum Modellieren. Er ist leicht zu verstehen, da er nur auf Relationen basiert, und er ist anschaulich, da er sehr suggestive Visualisierungen hat. Graphen sind außerordentlich vielfältig einsetzbar, da Objekte und Beziehungen zwischen Objekten in so vielen unterschiedlichen Bedeutungen beim Modellieren vorkommen. Es werden hier nur die grund-

legenden Eigenschaften von Graphen vorgestellt. Auf weiterführende Begriffe der Graphentheorie wird verzichtet und stattdessen die Vielfalt der Einsatzgebiete und Modellierungstechniken ausgebreitet.

In Kapitel 6 führen wir zwei grundlegende Kalküle ein, die sich besonders zur Modellierung struktureller Eigenschaften eignen. Kontextfreie Grammatiken werden als Regelsystem vorgestellt, mit dem Baumstrukturen definiert werden können, um damit geschachtelte Strukturen zu modellieren. Die Definition von Sprachen als Menge von Symbolfolgen, die sonst im Vordergrund steht, spielt hier nur eine Nebenrolle. Im zweiten Teil wird das Entity-Relation-Ship-Modell eingeführt. Damit formuliert man Regeln, nach denen Systeme in Mengen gleichartiger Objekte mit bestimmten Eigenschaften gegliedert sind und zwischen denen Relationen bestehen. Das ER-Modell ist Grundlage sowohl der Schemata objektorientierter Datenbanken als auch der Spezifikation von Strukturen und Beziehungen in Software-Systemen, z. B. mit der Modellierungssprache UML.

In Kapitel 7 führen wir zwei grundlegende Kalküle ein, mit denen Abläufe modelliert werden können: endliche Automaten und Petri-Netze. Sie werden eingesetzt, um das dynamische Verhalten von Systemen zu beschreiben. Man gibt die Zustände an, die das System einnehmen kann, und beschreibt, unter welchen Bedingungen es aus einem Zustand in einen anderen übergehen kann. Beide Kalküle sind mit recht einfachen Regeln definiert und haben sehr anschauliche grafische Repräsentationen. Mit endlichen Automaten werden meist sequentielle, mit Petri-Netzen nebenläufige Prozesse modelliert. Beide dienen als Grundlage komplexer Kalküle (z. B. endliche Automaten für Statecharts), die hier nicht vorgestellt werden.

In Kapitel 8 präsentieren wir die Modellierungen von zwei Aufgaben vollständig im Zusammenhang: Die Auftragsabwicklung in einer Autowerkstatt und Regeln eines Gesellschaftsspiels. Verschiedene Aspekte des Gegenstandsbereiches werden mit jeweils passenden Kalkülen modelliert. Außerdem werden einzelne Aspekte zum Vergleich mit verschiedenen Kalkülen beschrieben. Dabei wird das Vorgehen ausführlich erläutert. Wir zeigen damit, dass es wichtig ist, den Gegenstandsbereich sinnvoll zu zerlegen und für Teilaspekte geeignete Kalküle zu wählen.

Zu diesem Buchprojekt haben die Autoren nachhaltige Unterstützung erfahren: Kollege Hauenschild hat im Jahr 2004 unser Material zur Vorbereitung der Vorlesung übernommen. Er hat uns viele nützliche Hinweise gegeben und zur Behebung einiger Inkonsistenzen beigetragen. Wissenschaftliche Mitarbeiter haben die Übungen zur Vorlesung betreut. Stellvertretend seien hier Dinh Khoi Le, Jochen Kreimer, Theodor Lettmann und Carsten Schmidt genannt. Sie haben sich viele Aufgaben fantasievoll ausgedacht, das Vorlesungsmaterial kritisch hinterfragt und Fehler darin korrigiert. Sigrid Gundelach hat den größten Teil des Manuskriptes geschrieben, spröde Formeln gewissenhaft übertragen und sich engagiert in das manchmal widerspenstige Textsystem eingearbeitet. Michael Thies hat uns geholfen, mit dem System den gewünschten Drucksatz zu produzieren. Sie alle haben zum Gelingen des Buches beigetragen. Wir danken ihnen sehr dafür.

Paderborn, 2005

*Uwe Kastens, Hans Kleine Büning*

## Vorwort zur 2. Auflage

Für die vorliegende zweite Auflage dieses Buches haben wir den Text gründlich überarbeitet und um einige Abschnitte erweitert:

Im Kapitel *4 Logik* haben wir einen Abschnitt *4.3 Elementare Beweistechniken* ergänzt. Er vermittelt grundlegende Techniken zur Konstruktion von Beweisen. Sie sollen Lesern helfen, Eigenschaften von Modellen, die sie mit Methoden aus diesem Buch entwickelt haben, auch formal zu beweisen.

In diesem Buch werden Kalküle zur Modellierung überwiegend auf ihren Kern abstrahiert dargestellt. Einige davon kommen auch in verbreiteten Modellierungssprachen vor. Ihnen haben wir jeweils zusätzliche Abschnitte gewidmet: Mit dem Kalkül der kontextfreien Grammatiken kann man Sprachen und Bäume mit bestimmten Strukturen modellieren. Letzteres ist auch ein Grundprinzip der Extensible Markup Language XML, die zur Definition anwendungsspezifischer Datenstrukturen weit verbreitet ist. Im Abschnitt *6.2 Baumstrukturen in XML* führen wir kurz in XML ein und stellen den Bezug zu kontextfreien Grammatiken her.

Die Klassendiagramme der weit verbreiteten Unified Modeling Language UML und des Entity-Relationship-Kalküls basieren auf gleichen Konzepten. Deshalb stellen wir erstere in Abschnitt *6.4 Klassendiagramme in UML* vor und zeigen den Bezug zum ER-Modell. Beim Modellieren in UML kann Ausführungsverhalten durch Statecharts definiert werden, denen endliche Automaten zu Grunde liegen. Deshalb führt der neue Abschnitt *7.1.5 Endliche Automaten in UML* kurz in die Notation von Statecharts ein.

Außerdem haben wir Fehler, die wir in der ersten Ausgabe gefunden haben, korrigiert und eine Reihe von Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Kapiteln behoben. Nur eine inhaltliche Änderung möchten wir erwähnen: In Kapitel *3 Terme und Algebren* haben wir die Axiome der abstrakten Algebren nun als gerichtet definiert. Dadurch bekommen die Normalformen unseres Erachtens eine klarere Rolle, die auch besser zur Modellierung mit Algebren passt.

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage haben wir viele Kommentare und Anregungen von Lesern bekommen. Sie haben mit zu dieser Überarbeitung beigetragen. Dafür danken wir sehr. An der Universität Paderborn ist die Vorlesung Modellierung weiterhin Pflichtveranstaltung z. B. in den Bachelor-Studiengängen Informatik und Wirtschaftsinformatik. Dieses Buch hat sich dafür als sehr nützliches Lernmaterial erwiesen. Die Vorlesung wurde in den vergangenen Jahren auch mehrmals von unserem Kollegen Hauenschild gehalten. Er hat uns auch für die neue Auflage des Buches sehr wertvolle Anregungen gegeben. Insbesondere hat er initiiert, das Thema Beweisen aufzunehmen, hat es in der Vorlesung erprobt und hat darüberhinaus viele Verbesserungsvorschläge gemacht. Dafür danken wir ihm sehr.

Paderborn, 2008

*Uwe Kastens, Hans Kleine Büning*