

# Modellgestützte Analyse und Optimierung

Peter Buchholz  
Informatik IV  
Universität Dortmund

30. Mai 2006

# Vorwort

Bei dem vorliegenden Text handelt es sich um eine erste Version der Notizen zur Wahlpflichtvorlesung “Modellgestützte Analyse und Optimierung”. Dieser Text soll als Ergänzung zu den verfügbaren Power Point-Folien dienen. Es sollte klar sein, dass die Folien und die Notizen allein nicht ausreichen, um den Stoff zu verstehen. Der regelmäßige Besuch der Vorlesung, die Bearbeitung der Übungsaufgaben und das Lesen von Originalliteratur sind unumgänglich, um den Stoff der Vorlesung wirklich zu durchdringen und damit letztendlich auch anwenden zu können.

Trotzdem erschien es mir sinnvoll zu sein, diese Notizen zu verfassen, da es momentan kein Lehrbuch gibt, das den gesamten Stoffumfang der Vorlesung abdeckt. Es wären Teile aus drei oder vier Lehrbüchern notwendig, um die unterschiedlichen behandelten Themengebiete zu erfassen. In den Notizen werden deshalb auch konkrete Hinweise zum “Weiterlesen” in der einschlägigen Literatur gegeben. Es soll ferner darauf hingewiesen werden, dass die Vorlesung “Modellgestützte Analyse und Optimierung” eine praktische Veranstaltung ist. In den Übungen wird Gelegenheit gegeben, die theoretischen Erkenntnisse aus der Vorlesung an praktischen Beispielen auszuprobieren und zu vertiefen. Dazu werden beispielhaft mit einem Simulationssystem (z.Z. Arena) einfache Abläufe modelliert und analysiert.

Die Vorlesung baut als Hauptstudiumsveranstaltung auf dem Wissen des Grundstudiums auf. Es müssen Grundkenntnisse in der Programmierung und Softwareentwicklung vorhanden sein, um die Problematik der Erstellung von Simulatoren zu verstehen. Weiterhin sollten Grundkenntnisse in der Wahrscheinlichkeitsrechnung vorhanden sein, da Realität in vielen Fällen nur mit Hilfe von stochastischen Funktionen in Modelle abbildbar ist und für eine adäquate Modellierung und Ergebnisauswertung die Anwendung wahrscheinlichkeitstheoretischer und statistischer Verfahren unumgänglich ist.

Da es sich um die erste Version dieses Textes handelt steht zu befürchten, dass er viele Ungenauigkeiten und sogar Fehler enthält. Ich bitte dies schon im Voraus zu entschuldigen. Für Hinweise auf Fehler bin ich sehr dankbar (am besten per Email an [peter.buchholz@udo.edu](mailto:peter.buchholz@udo.edu)).

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Systeme und Modelle</b>	<b>6</b>
1.1	Systeme . . . . .	6
1.2	Modelle . . . . .	9
1.3	Analyse, Simulation und Optimierung . . . . .	20
<b>I</b>	<b>Modellierung und Analyse</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>Modellierung und Analyse diskreter Systeme</b>	<b>24</b>
2.1	Konzepte ereignisdiskreter Simulation . . . . .	24
2.2	Spezifikation von Simulatoren . . . . .	39
2.3	Generierung und Bewertung von Zufallszahlen . . . . .	60
2.4	Modellierung von Eingabedaten . . . . .	81
2.5	Auswertung von Simulationsläufen . . . . .	96
2.6	Simulationssoftware . . . . .	116
2.7	Möglichkeiten und Grenzen der Simulation . . . . .	116
2.8	Validierung von Modellen . . . . .	118
<b>3</b>	<b>Analytische Techniken für diskrete Systeme</b>	<b>129</b>
3.1	Einfache Stationen . . . . .	129
3.2	Offene Warteschlangennetze . . . . .	142
<b>4</b>	<b>Modellierung und Analyse kontinuierlicher Systeme</b>	<b>146</b>
4.1	Aufbau kontinuierlicher Simulationsmodelle . . . . .	146
4.2	Analysetechniken für kontinuierliche Modelle . . . . .	146
4.3	Beispiele und Anwendungen kontinuierlicher Systeme . . . . .	146
<b>II</b>	<b>Optimierung</b>	<b>147</b>
<b>5</b>	<b>Einführung, Klassifizierung und Grundlagen</b>	<b>148</b>
<b>6</b>	<b>Lineare Optimierung</b>	<b>149</b>
6.1	Beispiele und Lösungsprinzip . . . . .	149
6.2	Formale Grundlagen . . . . .	149
6.3	Prinzip des Simplexverfahrens . . . . .	149
6.4	Der Simplexalgorithmus . . . . .	149
6.5	Allgemeines Simplexverfahren . . . . .	149
6.6	Zusammenfassung zum Simplexverfahren . . . . .	149

<b>7 Nichtlineare Optimierung</b>	<b>150</b>
7.1 Grundbegriffe und Optimalitätsbedingungen . . . . .	150
7.2 Konvexe Optimierung . . . . .	150
7.3 Verfahren für unrestringierte Probleme . . . . .	150
7.4 Verfahren für restringierte Probleme . . . . .	150
<b>8 Dynamische Optimierung</b>	<b>151</b>
8.1 Beispiele und Einführung . . . . .	151
8.2 Problemstellung der dynamischen Optimierung . . . . .	151
8.3 Bellman'sche Funktionsgleichungsmethode . . . . .	151
8.4 Stochastische dynamische Programmierung . . . . .	151
<b>9 Stochastische Optimierungsverfahren</b>	<b>152</b>
9.1 Lokale stochastische Suchverfahren . . . . .	152
9.2 Naturanaloge Verfahren . . . . .	152
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>153</b>