

# Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik

Markus Rabe · Sven Spieckermann · Sigrid Wenzel

# Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik

Vorgehensmodelle und Techniken

 Springer

Dr.-Ing. Markus Rabe  
Fraunhofer-Institut  
für Produktionsanlagen  
und Konstruktionstechnik (IPK)  
Pascalstraße 8–9  
10587 Berlin  
markus.rabe@ipk.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel  
Universität Kassel  
FB 15 Maschinenbau  
Inst. Produktionstechnik und Logistik  
Kurt-Wolters-Str. 3  
34125 Kassel  
s.wenzel@uni-kassel.de

Dr. Sven Spieckermann  
SimPlan AG  
Edmund-Seng-Str. 3–5  
63477 Maintal  
sven.spieckermann@simplan.de

ISBN 978-3-540-35281-5

e-ISBN 978-3-540-35282-2

DOI 10.1007/978-3-540-35282-2

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2008 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

*Herstellung:* le-tex publishing services oHG, Leipzig  
*Einbandgestaltung:* WMXDesign, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

9 8 7 6 5 4 3 2 1

springer.com

# Vorwort

Dieses Buch ist das Ergebnis einer mehr als dreijährigen Tätigkeit einer Arbeitsgruppe in der Fachgruppe „Simulation in Produktion und Logistik“ der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM). Anlass für die Gründung dieser Arbeitsgruppe war die Erkenntnis, dass Verifikation und Validierung (V&V) eine kaum zu unterschätzende Bedeutung für die Simulation in Produktion und Logistik haben. Trotzdem gab es überraschenderweise nur wenige deutsche Veröffentlichungen zu diesem Thema, die darüber hinaus häufig der Öffentlichkeit als interne Forschungsberichte kaum zugänglich waren. Praktische Handlungshilfen, die eine systematische Durchführung der Verifikation und Validierung unterstützen, standen für die Simulation in Produktion und Logistik so gut wie gar nicht zur Verfügung. Im Gegensatz hierzu wird die sehr ähnliche Aufgabe der V&V im Rahmen der Softwareentwicklung durch konkrete Vorgehensmodelle und Verfahren unteretzt und z. T. sogar softwaretechnisch unterstützt.

Die ASIM-Arbeitsgruppe „Validierung“ hat sich daher zum Ziel gesetzt, verfügbare Informationen zu V&V zu analysieren, zu systematisieren und konkrete Handlungshilfen zu entwerfen. Durch die Zusammensetzung der Arbeitsgruppe aus Simulationsanwendern, -dienstleistern und -werkzeuganbietern sowie Mitgliedern von Forschungsinstituten konnten die unterschiedlichen Anforderungen der an Simulationsprojekten Beteiligten berücksichtigt und Vorschläge zur Vorgehensweise jeweils unmittelbar an der Realität gespiegelt und im Einzelfall auch direkt erprobt werden. Darüber hinaus wurde die enge Zusammenarbeit mit der parallel arbeitenden ASIM-Arbeitsgruppe „Qualitätskriterien“ gepflegt, was sowohl zur direkten Nutzung der Ergebnisse untereinander als auch zu einer für beide Seiten äußerst fruchtbaren Diskussion der Arbeitsinhalte zwischen den beiden Arbeitsgruppen geführt hat. Vor diesem Hintergrund ist der zeitgleich im Springer-Verlag erscheinende Band „Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik“ als ideale Ergänzung des hier vorliegenden Buches zu sehen, auch wenn keiner der Bände die Lektüre des jeweils anderen voraussetzt.

Seit ihrer Gründung im Jahr 2003 hat die Arbeitsgruppe „Validierung“ die Erfordernisse und Methoden von V&V für die Simulation von Produktions- und Logistiksystemen systematisch aufbereitet. Dabei wurden auch

Konzepte aus verwandten Anwendungsbereichen und Fachgebieten untersucht, z. B. aus der Simulation im militärischen Bereich und im Operations Research sowie V&V-Ansätze aus der Informatik. Insbesondere wurden Ansätze des Software Engineering dabei als Ideengeber berücksichtigt. Allerdings werden V&V-Techniken aus der Informatik, auch wenn sie unzweifelhaft Aufgaben der V&V betreffen, in diesem Buch nicht im Detail behandelt, da hierzu bereits umfangreiche und detaillierte Literatur vorliegt, die auf Softwareentwicklungsaufgaben im Umfeld der Simulation unmittelbar angewendet werden kann.

Aufbauend auf den existierenden Vorarbeiten wurde ein neues Vorgehensmodell entwickelt, das in diesem Buch im Detail beschrieben wird. Mit dem Ziel, das Vorgehensmodell möglichst einfach anwendbar zu machen, wurde es mit Handlungshilfen zur Modelldokumentation, strukturierten Fragelisten sowie Hinweisen zu geeigneten Validierungstechniken untersetzt. Für die Forschung sowie für das vertiefende Studium erläutert das Buch zusätzlich die wissenschaftliche Basis des Vorgehensmodells und seiner Elemente.

Ohne den hohen persönlichen Einsatz der Arbeitsgruppenmitglieder wäre diese umfangreiche Arbeit nicht denkbar gewesen. Besonderer Dank gilt Stefan Heinrich (Audi AG) und Simone Collisi-Böhmer (Siemens AG) für die kritische Beleuchtung der Ergebnisse aus Anwendersicht, Axel Lehmann (Universität der Bundeswehr München) für die substantiellen Hinweise zu Vorarbeiten im militärischen Bereich und in der Informatik sowie Tobias Schmuck (Universität Erlangen) für die intensive Mitarbeit insbesondere bei der aufwändigen Ausarbeitung der Handlungshilfen.

Die Herausgeber hoffen, dass dieses Werk den Stellenwert von V&V in der Simulation bewusster macht und zugleich als Rat- und Ideengeber einen Beitrag für die praktische Handhabung des komplexen V&V-Prozesses leistet.

Im Namen der ASIM  
Berlin/Maintal/Kassel, Mai 2008

*Markus Rabe, Sven Spieckermann und Sigrid Wenzel*

# Inhalt

<b>Inhalt.....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ziele der V&V .....	2
1.2 Spezifische Aspekte von Simulationsmodellen für die V&V .....	3
1.3 Vorgehen bei der Simulation mit V&V.....	4
1.4 Fokus dieses Buches.....	8
1.5 Aufbau und Zielgruppen dieses Buches .....	9
<b>2 Definitionen.....</b>	<b>11</b>
2.1 Grundbegriffe der Simulation.....	12
2.2 Grundbegriffe zu VV&T .....	13
2.2.1 Verifikation.....	14
2.2.2 Validierung .....	15
2.2.3 Test .....	16
2.2.4 Akkreditierung.....	17
2.3 V&V-Kriterien für Simulationsmodelle in Produktion und Logistik.....	19
2.4 Rollen im Vorgehensmodell zur Simulation .....	23

<b>3</b>	<b>Bestehende Vorgehensmodelle</b> .....	<b>27</b>
3.1	Einordnung von Vorgehensmodellen .....	27
3.2	Simulationsvorgehensmodelle und V&V .....	29
3.3	Modelle zur V&V in der Simulation .....	33
3.4	Modelle zur V&V aus anderen Disziplinen .....	37
3.5	Das V&V-Vorgehensmodell von Brade.....	41
3.6	Ableitungen aus den vorhandenen Modellen .....	43
<b>4</b>	<b>Simulationsvorgehensmodell und Dokumentstrukturen als Arbeitsgrundlage</b> .....	<b>45</b>
4.1	Simulationsvorgehensmodell .....	45
4.1.1	Einteilung der Modellbildung in Phasen .....	46
4.1.2	Die Behandlung von Daten in einer Simulationsstudie .....	51
4.1.3	Zusammensetzung und Entstehung von Phasenergebnissen.....	53
4.2	Dokumentstrukturen .....	55
4.2.1	Zielbeschreibung .....	58
4.2.2	Aufgabenspezifikation.....	61
4.2.3	Konzeptmodell .....	66
4.2.4	Formales Modell.....	74
4.2.5	Ausführbares Modell .....	78
4.2.6	Simulationsergebnisse .....	81
4.2.7	Rohdaten.....	86
4.2.8	Aufbereitete Daten.....	89

---

<b>5</b>	<b>Techniken der Verifikation und Validierung .....</b>	<b>93</b>
5.1	Abgrenzung .....	94
5.2	Beschreibung der Techniken .....	95
5.2.1	Animation .....	95
5.2.2	Begutachtung .....	97
5.2.3	Dimensionstest .....	98
5.2.4	Ereignisvaliditätstest.....	98
5.2.5	Festwerttest.....	99
5.2.6	Grenzwerttest.....	100
5.2.7	Monitoring.....	101
5.2.8	Schreibtischtest.....	102
5.2.9	Sensitivitätsanalyse.....	102
5.2.10	Statistische Techniken .....	103
5.2.11	Strukturiertes Durchgehen .....	104
5.2.12	Test der internen Validität .....	105
5.2.13	Test von Teilmodellen .....	106
5.2.14	Trace-Analyse.....	107
5.2.15	Turing-Test.....	107
5.2.16	Ursache-Wirkungs-Graph.....	108
5.2.17	Validierung im Dialog.....	109
5.2.18	Validierung von Vorhersagen.....	109
5.2.19	Vergleich mit anderen Modellen .....	110
5.2.20	Vergleich mit aufgezeichneten Daten.....	111
5.3	Verwendbarkeit von Techniken im Verlauf der Simulationsstudie .....	112
5.4	Verwendung von Techniken für die Teilergebnisse der Phasen.....	113
5.5	Grad der Subjektivität .....	115



<b>6</b>	<b>Vorgehensmodell für V&amp;V zur Simulation in Produktion und Logistik.....</b>	<b>117</b>
6.1	Struktur des V&V-Vorgehensmodells .....	118
6.1.1	Systematik des V&V-Vorgehensmodells .....	118
6.1.2	Typen von V&V-Elementen.....	120
6.1.3	Dokumentation der V&V .....	123
6.2	Einsatz des Vorgehensmodells in spezifischen Projekten .....	126
6.2.1	Tailoring nach Komplexität einer Simulationsstudie .....	127
6.2.2	Tailoring beim Einsatz von bausteinorientierten Simulationswerkzeugen.....	130
6.2.3	Tailoring bei automatisch generierten Modellen.....	131
6.2.4	Tailoring bei betriebsbegleitender Simulation.....	133
6.2.5	Tailoring bei Emulation.....	134
6.3	V&V-Elemente.....	136
6.3.1	Zielbeschreibung .....	138
6.3.2	Aufgabenspezifikation.....	140
6.3.3	Konzeptmodell .....	144
6.3.4	Formales Modell.....	151
6.3.5	Ausführbares Modell .....	157
6.3.6	Simulationsergebnisse .....	166
6.3.7	Rohdaten.....	173
6.3.8	Aufbereitete Daten.....	180
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>193</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>197</b>
	<b>Anhang A1 Dokumentstrukturen.....</b>	<b>207</b>
	<b>Anhang A2 V&amp;V-Elemente.....</b>	<b>217</b>
A2.1	Zielbeschreibung .....	218
A2.2	Aufgabenspezifikation.....	219
A2.3	Konzeptmodell .....	220
A2.4	Formales Modell .....	223
A2.5	Ausführbares Modell.....	225
A2.6	Simulationsergebnisse .....	228
A2.7	Rohdaten.....	230
A2.8	Aufbereitete Daten .....	232
	<b>Anhang A3 Die Autoren und Mitautoren.....</b>	<b>235</b>