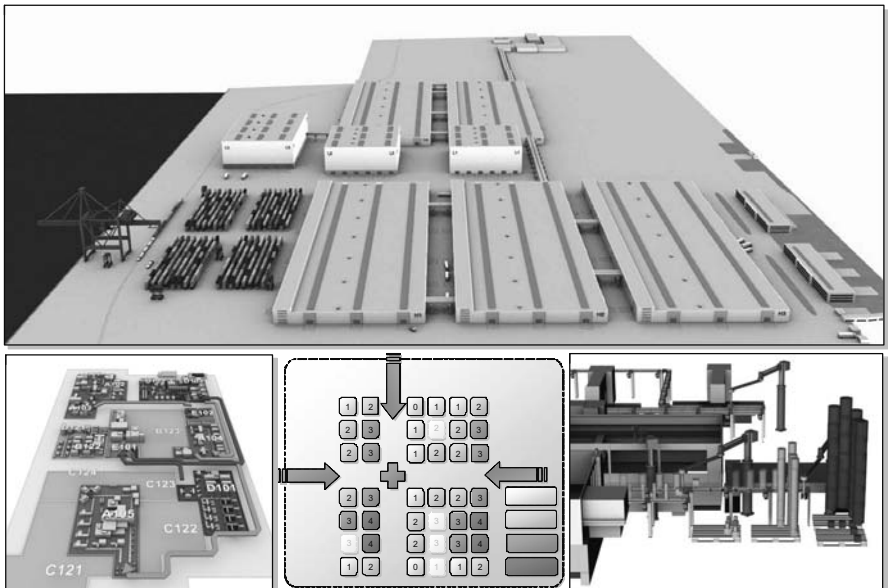


Analyse von 3D-Visualisierungsqualität für die Simulation in Produktion und Logistik

- Entwicklung und Anwendung von Bewertungskriterien
anhand technischer Beispiele -



Dipl.-Ing. Björn Bockel

Dissertation am Fachgebiet „Produktionsorganisation und Fabrikplanung“, Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachbereich Maschinenbau, Universität Kassel zur Erlangung des Doktorgrades der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

1. Gutachter Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel
2. Gutachter Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach

Abgabetermin 22.08.2011

Disputationstermin 19.11.2012

Analyse von 3D-Visualisierungsqualität für die Simulation in Produktion und Logistik

- Entwicklung und Anwendung von Bewertungskriterien
anhand technischer Beispiele -

Dissertation am Fachgebiet „Produktionsorganisation und Fabrikplanung“, Institut für
Produktionstechnik und Logistik, Fachbereich Maschinenbau, Universität Kassel zur Erlangung
des Doktorgrades der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von Dipl.-Ing. Björn Bockel aus Kassel

Abgabetermin 22.08.2011

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel als
Dissertation am 22.08.2006 angenommen.

1. Gutachter Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel, Universität Kassel
2. Gutachter Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach, Universität Kassel
3. Prüfer Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz, Universität Kassel
4. Prüfer Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht, Technische Universität Clausthal

Disputationstermin 19.11.2012

Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Band 2

Björn Bockel

**Analyse von 3D-Visualisierungsqualität
für die Simulation in Produktion und Logistik**

Entwicklung und Anwendung von Bewertungskriterien
anhand technischer Beispiele

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

Shaker Verlag
Aachen 2013

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2013

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2320-6

ISSN 2192-5569

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Geleitwort der Herausgeberin

Globalisierung und Strukturwandel bedingen eine permanente Anpassung der unternehmenseigenen Produktions- und Dienstleistungsprozesse an die Bedarfe des Marktes. Damit Produktions- und Logistiksysteme wettbewerbsfähig, nachhaltig und wandlungsfähig werden, bedarf es einer vernetzten Betrachtung von Produkten, Prozessen und Ressourcen sowie einer durchgängigen Integration von Informations- und Kommunikationstechniken in Planung und Betrieb. Um diesen Anforderungen zu genügen, verlangen die heutigen Fabrikplanungsprozesse kollaborative Arbeitsweisen und den intensiven Einsatz modellgestützter Methoden und Werkzeuge.

Ziele der Forschungsarbeiten des Fachgebietes Produktionsorganisation und Fabrikplanung *ppf* im Institut für Produktionstechnik und Logistik an der Universität Kassel sind die Weiterentwicklung von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik und ihre verbesserte Anwendung im Rahmen eines Virtual Simultaneous Engineering in interdisziplinären Planungsteams. Mit diesen Forschungen einher gehen eine permanente Verbesserung des Planungsprozesses, eine Erhöhung von Planungsqualität und -sicherheit, aber auch eine Weiterentwicklung der Produktions- und Logistiksysteme sowie -prozesse und damit verbunden der Material- und Informationsflüsse in der produzierenden Industrie, im Handel, in der Landwirtschaft, aber auch in Organisationen.

Im Rahmen dieser Buchreihe werden die Ergebnisse einschlägiger Forschungsarbeiten des Fachgebietes *ppf* publiziert. Diese beziehen sich einerseits auf die methodische Verbesserung und informationstechnische Ausgestaltung der Fabrikplanung, andererseits auf zukunftsorientierte Konzepte für Produktions- und Logistikprozesse. In diesem Zusammenhang werden auch die für eine intelligente, wandlungsfähige und vernetzte Systemgestaltung wichtigen Querschnittsaufgaben der Modellbildung, der Simulation und Visualisierung, des Daten-, Informations- und Wissensmanagements sowie der Kooperation und Kollaboration behandelt. Die einzelnen Bände der Buchreihe präsentieren ausgewählte Forschungsarbeiten, mit denen die Autoren dem Anwender in der Praxis einen Einblick in ihre aktuellen Forschungserkenntnisse und Anhaltspunkte für potentielle Verbesserungen in Planung und Betrieb geben möchten.

Kurzfassung

Im Rahmen der Digitalen Fabrik kommen vielfältige Werkzeuge und Methoden mit dem Ziel einer abgestimmten und kooperativen Planung und Betriebsbegleitung zum Einsatz. Simulationswerkzeuge nehmen hierbei mit 2D- und ergänzenden 3D-Visualisierungen für den Bereich der Planungsabsicherung des Materialflusses einen hohen Stellenwert ein. In welcher Qualität allerdings eine Visualisierung zu gestalten ist, liegt bisher vollständig im Aufgabenbereich der Anwender.

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist daher, eine unterstützende Bewertungsmethodik für den Einsatz von 3D-Visualisierungen für Materialflusssimulationen in Produktion und Logistik zu entwickeln. Da die Problemstellung existiert, dass die technischen Möglichkeiten sowie der Aufwand für Visualisierungen in Bezug auf den Ressourceneinsatz und die notwendigen Randbedingungen von Untersuchungszielen schwer zu beurteilen sind, wird ausgehend von den Phasen einer Simulationsstudie der Visualisierungsbedarf für einzelne Zielgruppen abgeleitet. Unter Zielgruppen werden Simulationsexperten, Mitarbeiter in Planungsabteilungen und in der Produktion, die Anlagenbetreiber sowie zusammengefasst alle in Simulationsstudien nicht primär involvierten Personen des Controllings, Marketings, Vorstands und der Öffentlichkeit verstanden.

Für den Gesamtprozess der Visualisierung werden im Anschluss Visualisierungsschritte (3D-Modellierung, Export, Aufbereitung, Visualisierungsvorbereitung und Darstellung) festgelegt, die sich rund um die Simulation einordnen. Mit den Phasen einer Simulationsstudie wird dann in Verbindung mit den zur Erstellung von Visualisierungen notwendigen Visualisierungsschritten eine Visualisierungsmatrix aufgebaut, wobei aus den Feldern in den Zeilen und Spalten der Visualisierungsmatrix deutlich wird, dass für den Einsatz von technischen Verfahren zur Visualisierung Bewertungskriterien für Anwender der verschiedenen Zielgruppen unter Berücksichtigung der Phasen einer Simulationsstudie notwendig sind.

Im Anschluss an die Erstellung der technisch orientierten Bewertungskriterien werden entlang der Visualisierungsschritte die technischen Verfahren zusammengetragen und anhand von Beispielen weiterentwickelt, bevor sie in einem Modell angewendet und das Vorgehen ihrer Bewertung evaluiert wird.

Mit den gewonnenen Erfahrungen und Ergebnissen wird eine Handlungsanleitung zum Einsatz von 3D-Visualisierungen aufgebaut, welche Checklisten zur Nutzung von technischen Verfahren sowie Hilfsmittel zur Bewertung des Aufwandes der jeweiligen Verfahren enthält. Den potentiellen Untersuchungszielen einer Simulationsstudie wird eine notwendige Datenbasis für 3D-Visualisierungen zugeordnet. Es entstehen so unter anderem Checklisten für Untersuchungsziele, um die grundsätzliche Darstellbarkeit der Daten und Ergebnisse mittels technischer Verfahren in Form von Tabellen bewerten zu können.

Insgesamt wird in der vorliegenden Dissertation mit der Entwicklung von technischen 3D-Visualisierungsverfahren und der Handlungsanleitung ein weiterer Schritt zum zielgerichteten und strukturierten Einsatz von 3D-Visualisierung erarbeitet, der bei der Anwendung von 3D-Visualisierungen in Rahmen der Simulation unterstützen und zu mehr Transparenz verhelfen soll.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt und andere als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren verwendet worden.

Björn Bockel

Kassel, August 2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	11
Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	16
1 Einleitung und Aufgabenstellung	17
1.1 Aktuelle Situation und Problemstellung.....	17
1.2 Stand der Forschung	18
1.3 Zielsetzung der Arbeit.....	20
1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....	21
2 Unterstützung für die Phasen von Simulation und Visualisierung	23
2.1 Vorgehensmodell zur Durchführung einer Simulationsstudie	23
2.2 Visualisierungsinhalte in den Phasen einer Simulationsstudie	26
2.3 Zuordnung von Visualisierungsformen zu Phasen einer Simulationsstudie	29
2.4 Benennung der Themengebiete zur Analyse der Visualisierungsqualität	41
3 Begriffsbildung Visualisierungsqualität und Zielgruppendefinition der Anwender	43
3.1 Visualisierungsqualität	43
3.1.1 Visualisierungsqualität von 3D-Visualisierungen	45
3.1.2 Visualisierungsqualität für Simulation in Produktion und Logistik	48
3.2 Zielgruppen.....	49
3.2.1 Zielgruppe Simulationsfachabteilung.....	54
3.2.2 Zielgruppe Planung.....	55
3.2.3 Zielgruppe Produktion und Betreiber.....	56
3.2.4 Zielgruppe Beobachter (Vorstand, Controlling, Marketing und Kunden)	57
3.2.5 Einordnung der Zielgruppen in den Visualisierungskontext	58
4 Definition von Bewertungskriterien für den Einsatz von Visualisierung	60
4.1 Ableitung von Bewertungskriterien anhand der Auswahlfaktoren für den Einsatz von Visualisierung im Simulationskontext	60
4.2 Bewertungskriterien mit Fokus auf technische Verfahren.....	63
4.3 Bewertungskriterien für Gesamtmodelle	76
5 Anforderungen an Visualisierungen während einer Simulationsstudie.....	82
5.1 Visualisierung als Strukturunterstützung	82
5.2 Visualisierung in Konzeptmodellen	84
5.3 Absolute und relative Darstellung von Parametern und Ergebniswerten	86
5.4 Visualisierung der vorliegenden Datenbasis	90
5.5 Visualisierung von Reihenfolge und Sequenzen	91
5.6 Icons zur Visualisierung von Produkten	99
5.7 Animationserstellung und 3D-Echtzeitengine.....	104
5.7.1 Filmerstellung für Schulung und Marketing	104
5.7.2 Interaktive Navigation durch animierte 3D-Echtzeitengine	106
5.8 Wiederverwendbarkeit von Visualisierungselementen	107
6 Überprüfung des Gesamtprozesses zur 3D-Visualisierung.....	109
6.1 Differenzierung der Systemelemente nach Eigenschaften.....	110

6.2	3D-Modellierung und 3D-Modellierungsstufen	113
6.3	Technisches Verfahren: Export von 3D-Geometriedaten	116
6.3.1	Datenbasis für den Export.....	116
6.3.2	Hülldatenerzeugung beim Export von 3D-Geometriedaten	117
6.3.3	Übertragung von Animationen und Kinematikbeschränkungen	118
6.4	Technisches Verfahren: Aufbereitung von 3D-Geometriedaten	119
6.4.1	Abgleich von Koordinatensystemen	120
6.4.2	Auftritt von Exportfehlern in Dateien.....	121
6.4.3	Oberflächenaufbereitung.....	122
6.5	Technisches Verfahren: Szenerie aufbereiten	125
6.6	Technisches Verfahren: Aufbereitung zur Simulation und Vorbereitung zur Visualisierung.....	127
6.6.1	Erstellung einer 3D-Bibliotheksstruktur	127
6.6.2	Aufbau einer Datenstruktur	128
6.6.3	Aufbereitung über Schnittstellen	129
6.7	Technisches Verfahren: Darstellungsgenerierung aus Simulationsereignissen.....	130
6.7.1	Datenfluss zur Darstellungsgenerierung.....	131
6.7.2	Konzept für eine werkzeugneutrale Schicht	133
6.7.3	Module zur Animationsdatenerzeugung	135
6.8	Technisches Verfahren: Visualisierungsformen für Steuerungsinformationen.....	137
6.8.1	Anforderungen für Steuerungsinformationen.....	138
6.8.2	Konzept zur Visualisierung von Steuerungsinformationen.....	139
6.8.3	Visualisierungsverfahren für Steuerungsinformationen	140
6.8.4	Zielgruppen und Anwendungsgebiete für Steuerungsvisualisierung.....	142
6.9	Technisches Verfahren: Auswertungsvisualisierung	144
6.9.1	Anwendung: Visualisierung mit Partikelsystemen	145
6.9.2	Anwendung: Gridbasierte Auswertungsvisualisierung.....	153
6.9.3	Anwendung: Visualisierung von Energieströmen	156
6.10	Technisches Verfahren: Animationserstellung und 3D-Echtzeitengine.....	162
7	Bewertung und Ergebnisse	164
7.1	Anwendung und Evaluierung im Gesamtmodell.....	165
7.1.1	Digital Factory Competence Labor (DFC-LAB).....	166
7.1.2	Gesamtmodell.....	167
7.1.3	Musterfabrik	168
7.1.4	Halle	169
7.1.5	Kostenstellen	170
7.1.6	Containerterminal.....	171
7.1.7	Flughafen.....	173
7.1.8	Baustelle und Werft.....	175
7.2	Bewertung der Visualisierungsqualität im Zusammenhang der Simulationsphasen ..	176
7.3	Bewertung der technischen Verfahren	179
7.3.1	Entwicklung der Bewertungsvorlage	179
7.3.2	Bewertung: 3D-Modelle und 3D-Modellierungsstufen.....	183
7.3.3	Bewertung: Export von 3D-Geometriedaten.....	184
7.3.4	Bewertung: Aufbereitung von 3D-Geometriedaten	184
7.3.5	Bewertung: Szenerie aufbereiten	185

7.3.6	Bewertung: Aufbereitung zur Simulation und Vorbereitung zur Visualisierung	186
7.3.7	Bewertung: Darstellungsgenerierung aus Simulationsereignissen	187
7.3.8	Bewertung: Visualisierungsformen für Steuerungsinformationen	187
7.3.9	Bewertung: Auswertungsvisualisierung	188
7.3.10	Bewertung: Animationserstellung und 3D-Echtzeitengine	189
7.3.11	Zusammenfassung der Bewertung der technischen Verfahren	190
7.4	Gewichtung der technischen Verfahren und Bewertungskriterien	191
7.4.1	Gewichtung der Bewertungskriterien	191
7.4.2	Gewichtung technischer Verfahren	193
7.4.3	Bewertung kombinierter technischer Verfahren	195
7.5	Bewertung mit dynamischer Gewichtung	197
7.6	Vernetzung der Bewertungskriterien zur Beurteilung im vernetzten Kontext	199
7.7	Ergebnisse und Modifikation der Bewertungskriterien	201
7.7.1	Beschreibung des Referenzbeispiels Schulung an Liebherr Kranen	201
7.7.2	Einordnung des Beispiels in den Gesamtprozess Visualisierung	203
7.7.3	Ableitung von Erkenntnissen aus der Bewertung in der Evaluationsphase	207
8	Zusammenführung der Ergebnisse in einer Handlungsanleitung	211
8.1	Vorgehensschema zur Handlungsanleitung	212
8.2	Vorgehensmodell zur Handlungsanleitung	215
8.3	Checklisten zur Handlungsanleitung	217
8.3.1	Potentielle Untersuchungsziele mit Visualisierungsbedarf	217
8.3.2	Zuordnung der Visualisierungsverfahren für Untersuchungsziele	223
8.4	Verfahrenskatalog zur Handlungsanleitung	225
9	Zusammenfassung und Ausblick	229
10	Literatur	231
11	Anhang	237
11.1	Untersuchungsziele für Simulationsstudien und Datenbasis	237
11.2	Gliederung der Simulationsdaten	237
11.3	Fragen und Checklisten zur vorliegenden Datenbasis	239
12	Lebenslauf	242