

Philipp Louis

Manufacturing Execution Systems

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Philipp Louis

Manufacturing Execution Systems

Grundlagen und Auswahl

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Paul Alpar

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

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.

Dissertation Universität Marburg, 2008

1. Auflage 2009

Alle Rechte vorbehalten

© Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Lektorat: Frauke Schindler / Nicole Schweitzer

Gabler ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.gabler.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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.

Umschlaggestaltung: Regine Zimmer, Dipl.-Designerin, Frankfurt/Main

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8349-1018-9

Geleitwort

Manufacturing Execution Systeme (MES) stellen eine neue Klasse von Informationssystemen dar, die sich in wachsendem Maße in der produzierenden Industrie etablieren. Bisher beschränkte sich die IT-Unterstützung von Produktionsprozessen maßgeblich auf die Unterstützung von Einzelaktivitäten wie die Produktionsplanung. Auch neuere Ansätze wie die Betrachtung von Planungsaktivitäten über die gesamte Wertschöpfungskette mit Hilfe von Systemen für Supply Chain Management erweitern den Fokus lediglich intra- resp. interorganisatorisch, beziehen aber nicht sämtliche Tätigkeiten innerhalb der Produktion mit ein. Die flexible Steuerung der Produktionsprozesse, etwa in Form eines elektronischen Leitstands, blieb eher eine Vision als gelebte Wirklichkeit.

MES hingegen haben das Ziel, direkt und zeitnah Produktionsprozesse durch den integrierten Einsatz eines oder einiger weniger Informationssysteme flexibel zu unterstützen und so systematische Verbesserungen zu ermöglichen. Zwischen der zunehmenden Nutzung der MES und ihrer methodischen wissenschaftlichen Erörterung und Fortentwicklung tut sich jedoch eine Lücke auf. Erste Schritte, diese zu schließen, sind ebenso Teil der Zielsetzung dieser Arbeit wie die Bereitstellung eines Ansatzes zur Auswahl geeigneter MES-Lösungen für die industrielle Praxis. Dafür werden die bisher im Schrifttum gebräuchlichen, häufig stark industriespezifischen Definitionen vereinheitlicht und daraus ein Framework erarbeitet, das die Anforderungen an ein MES auf die Charakteristika des jeweiligen Produktionssystems zurückführt. Dieser Ansatz konnte in einer empirischen Untersuchung in der deutschen Arzneimittelindustrie, die, nicht zuletzt wegen gesetzlicher Auflagen, hier zu Vorreitern bei der Anwendung von MES gehört, überprüft werden.

Die vorliegende Arbeit kann einen guten Dienst bei der weiteren Entwicklung und Verbreitung von MES leisten, mit denen weitere Fortschritte bei der Flexibilität, Effizienz und Qualitätssicherung in der Produktion erreicht werden können, die ein Hochtechnologiestandort wie Deutschland benötigt, um seine Wettbewerbsfähigkeit zu verteidigen und auszubauen.

Prof. Dr. Paul Alpar

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und quantitative Methoden am Insitut für Wirtschaftsinformatik der Philipps-Universität Marburg und der praktischen Tätigkeit in der Abteilung Information Solutions der CSL Behring GmbH, Marburg.

An erster Stelle möchte ich meinem akademischen Lehrer Prof. Dr. Paul Alpar für die diskursive Unterstützung meiner Promotion und die Schaffung einer angenehmen Arbeitsumgebung danken. Ich wünsche jedem Doktoranden einen Doktorvater, der einen Rahmen für die Promotion schafft und trotzdem so viel Flexibilität in der Ausführung der Arbeit zulässt und sich jede Zeit für Diskussionen und Fragen nimmt.

Meinen Kollegen bei CSL Behring möchte ich für die angenehme und kollegiale Arbeitsatmosphäre danken. Vor allem meinem direkten Vorgesetzten, Herrn Dr. Christoph Kraus, danke ich für sein Engagement, seine fachliche Weitsicht und seine weit über das beruflich vorgegebene Mass hinausgehende Unterstützung meines Promotionsprojektes.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Ulrich Hasenkamp für die Übernahme der Zweitkorrektur und die trotz seiner vielfältigen Verpflichtungen überaus schnelle Erstellung des Zweitgutachtens, die mir eine Anreise von weit her zur Disputation erspart hat. Weiterhin danke ich den Herren Prof. Dr. Bernd Hayo und Prof. Dr. Stefan Dirkes für die Durchsicht der Arbeit und die Durchführung der Disputation.

Mein größter Dank geht an dieser Stelle an meine ganze Familie, die mich auf meinem Lebensweg stets liebevoll unterstützt hat. Vor allem meiner Frau Janina und meinem (Doktor-)Vater gebührt hier ein besonderer Dank. Janina, vielen Dank dass Du mich immer (wenn auch zeitweise unkonventionell) motiviert und unterstützt hast – ich liebe Dich und Du bist der Mittelpunkt meines Lebens! Papa, Dir möchte ich danken für das Engagement vieler Stunden, in denen Du mit mir methodische wie inhaltliche Punkte kritisch erörtert und mitunter näher auf den Punkt gebracht hast.

Philipp Louis

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort.....	V
Vorwort	VII
Inhaltsverzeichnis.....	IX
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis.....	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Ziel der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Manufacturing Execution Systeme (MES).....	7
2.1 Bisherige MES-Begriffsdefinitionen.....	7
2.1.1 MES-Definition der Manufacturing Enterprise Solutions Association	8
2.1.2 MES-Definition der Instrumentations, Systems, and Automation Society.....	12
2.2 Arbeitsdefinitionen.....	16
2.2.1 Manufacturing Execution System.....	17
2.2.2 Anwendungssystemarchitektur	19
2.2.3 MES-Ebene	20
2.3 Funktionsgruppen der MES-Ebene	21
2.3.1 Production Operation Management (POM).....	24
2.3.2 Maintenance Operation Management (MOM)	26
2.3.3 Quality Operation Management (QOM).....	29
2.3.4 Inventory Operation Management (IOM).....	31
2.4 Abgrenzung zu Anwendungssystemen in der Industrie	35
2.4.1 Betriebsdatenerfassungssysteme.....	35
2.4.2 Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme.....	37
2.4.3 Elektronische Leitstände	41
2.4.4 Enterprise Resource Planning Systeme.....	43
2.4.5 CIM-Einordnung der Anwendungssysteme.....	46
3 Vorgehensmodell zur Auswahl eines MES	50
3.1 Charakterisierung der Produktionsprozesse	53
3.2 Ableitung von Anforderungen an die MES-Ebene	54
3.3 Identifikation der bisherigen IT-Unterstützung.....	55
3.4 Szenariodefinition, -bewertung und -auswahl.....	57
4 Typologische Merkmale der Produktion	63
4.1 Zur Methode der Typologisierung.....	64
4.1.1 Definition des Untersuchungszieles und des Untersuchungsbereiches	64
4.1.2 Auswahl der zu untersuchenden Merkmale	65
4.2 Produktionssystemmerkmale.....	70
4.2.1 Spezialisierungsgrad der Elementarfaktoren	70
4.2.2 Produktionsanordnung	73
4.2.3 Fertigungsart	77

4.2.4	Automatisierungsgrad.....	80
4.2.5	Produktionsablauf.....	81
4.2.6	Variabilität der Ablauffolge.....	84
4.2.7	Betriebsmittel- und Prozesssubstituierbarkeit.....	86
4.2.8	Auftragsart.....	88
5	Produktionssystemtypen.....	93
5.1	Zur Bildung von Verbundtypen.....	93
5.2	Verbundtyp 1.....	96
5.3	Verbundtyp 2.....	97
5.4	Verbundtyp 3.....	98
5.5	Verbundtyp 4.....	99
6	Zur Ableitung von Anforderungen an die MES-Ebene.....	100
6.1	Auswirkungen der Merkmale auf die Teilbereiche der MES-Ebene.....	100
6.1.1	Production Operation Management.....	101
6.1.2	Maintenance Operation Management.....	102
6.1.3	Quality Operation Management.....	103
6.1.4	Inventory Operation Management.....	105
6.2	Anforderungsanalyse der Verbundtypen.....	107
6.2.1	Verbundtyp 1.....	107
6.2.1.1	Anforderungen an das Production Operation Management.....	107
6.2.1.2	Anforderungen an das Maintenance Operation Management.....	110
6.2.1.3	Anforderungen an das Quality Operation Management.....	112
6.2.1.4	Anforderungen an das Inventory Operation Management.....	114
6.2.2	Verbundtyp 2.....	116
6.2.2.1	Anforderungen an das Production Operation Management.....	116
6.2.2.2	Anforderungen an das Maintenance Operation Management.....	119
6.2.2.3	Anforderungen an das Quality Operation Management.....	121
6.2.2.4	Anforderungen an das Inventory Operation Management.....	123
6.2.3	Verbundtyp 3.....	125
6.2.3.1	Anforderungen an das Production Operation Management.....	125
6.2.3.2	Anforderungen an das Maintenance Operation Management.....	127
6.2.3.3	Anforderungen an das Quality Operation Management.....	130
6.2.3.4	Anforderungen an das Inventory Operation Management.....	131
6.2.4	Verbundtyp 4.....	133
6.2.4.1	Anforderungen an das Production Operation Management.....	133
6.2.4.2	Anforderungen an das Maintenance Operation Management.....	135
6.2.4.3	Anforderungen an das Quality Operation Management.....	137
6.2.4.4	Anforderungen an das Inventory Operation Management.....	139
6.3	Vorgehen bei Kombinationen von Verbundtypen.....	141
7	Empirische Überprüfung der Ableitung von Anforderungen.....	144
7.1	Rahmenbedingungen innerhalb der pharmazeutischen Industrie.....	144
7.2	Durchführung der Untersuchung.....	147
7.3	Zur aktuellen Unterstützung der MES-Ebene.....	148
7.3.1	Ergebnisse im Teilbereich Production Operation Management.....	151
7.3.2	Ergebnisse im Teilbereich Maintenance Operation Management.....	153
7.3.3	Ergebnisse im Teilbereich Quality Operation Management.....	155
7.3.4	Ergebnisse im Teilbereich Inventory Operation Management.....	157
7.3.5	Zusammenfassung.....	159

7.4	Überprüfung der Ergebnisse der typologischen Ableitung	160
7.4.1	Überprüfung des Teilbereichs POM	162
7.4.2	Überprüfung des Teilbereichs MOM	164
7.4.3	Überprüfung des Teilbereichs QOM	165
7.4.4	Überprüfung des Teilbereichs IOM	166
7.4.5	Ergebnis der Überprüfung	167
8	Bewertung der Kosten von MES-Szenarien	168
8.1	TCO-Modell der Gartner Group	169
8.2	TCO-Modell zur Bewertung von Anwendungssystemen	172
8.2.1	Direkte Kostenkategorien	174
8.2.2	Indirekte Kostenkategorien	176
9	Schlussbetrachtung	179
9.1	Zusammenfassung	179
9.2	Ausblick	181
	Literaturverzeichnis	185
	Anhang	201
A	Anforderungsprofile der Verbundtypen	201
A.a	Anforderungsprofil von Verbundtyp 1	201
A.b	Anforderungsprofil von Verbundtyp 2	202
A.c	Anforderungsprofil von Verbundtyp 3	203
A.d	Anforderungsprofil von Verbundtyp 4	204
B	Fragebogen der empirischen Untersuchung	206

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Vorgehensweise der Arbeit	6
Abb. 2.1: MES als Verbund der 11 MESA-Funktionen.....	11
Abb. 2.2: Geltungsbereich des Purdue Reference Model	13
Abb. 2.3: Hierarchisches Modell des S95 Standards	14
Abb. 2.4: MES-ERP-Grenze des S95 Standards	15
Abb. 2.5: Anwendungssystemarchitektur	19
Abb. 2.6: MES-Ebene im Überblick	21
Abb. 2.7: Teilbereiche der MES-Ebene	22
Abb. 2.8: Generisches Funktionsgruppenmodell der MES-Ebene	23
Abb. 2.9: Funktionsgruppen des Production Operation Managements.....	24
Abb. 2.10: Funktionsgruppen des Maintenance Operation Managements	27
Abb. 2.11: Funktionsgruppen des Quality Operation Managements	30
Abb. 2.12: Funktionsgruppen des Inventory Operation Managements.....	32
Abb. 2.13: Stufenmodell des MRP II-Konzeptes.....	38
Abb. 2.14: Überschneidung der Aufgaben von PPS-Systemen und MES	39
Abb. 2.15: Graphische Darstellung der Arbeitsplatzplanung.....	41
Abb. 2.16: Funktionsumfang von mySAP ERP von SAP	43
Abb. 2.17: Integrierte Informationsverarbeitung	44
Abb. 2.18: Eingeführte Anwendungssysteme im Y-CIM Modell.....	47
Abb. 3.1: Abgedeckte Phasen des generischen Vorgehensmodells nach Grochla.....	51
Abb. 3.2: Vorgehensmodell zur Auswahl eines MES.....	53
Abb. 3.3: Exemplarisches Ergebnis von Phase 2 (nur POM)	55
Abb. 3.4: Exemplarisches Ergebnis von Phase 3 (nur POM)	56
Abb. 4.1: Merkmalsklassen von Produktionssystemen.....	66
Abb. 4.2: Verbundtypen in Profildarstellung	67
Abb. 4.3: Produktionsfaktoren	71
Abb. 4.4: Flexibilität und Produktivität der Maschinentypen	72
Abb. 4.5: Kontinuierlicher und diskontinuierlicher Materialfluss	83
Abb. 4.6: Variable Ablauffolge in der Produktion	86
Abb. 4.7: Prozesssubstitution	88
Abb. 4.8: Produktion auf Lager.....	90
Abb. 6.1: Anforderungen des Verbundtyps 1 an das POM	110
Abb. 6.2: Anforderungen des Verbundtyps 1 an das MOM	112
Abb. 6.3: Anforderungen des Verbundtyps 1 an das QOM	114
Abb. 6.4: Anforderungen des Verbundtyps 1 an das IOM.....	116

Abb. 6.5: Anforderungen des Verbundtyps 2 an das POM.....	119
Abb. 6.6: Anforderungen des Verbundtyps 2 an das MOM	121
Abb. 6.7: Anforderungen des Verbundtyps 2 an das QOM.....	123
Abb. 6.8: Anforderungen des Verbundtyps 2 an das IOM.....	125
Abb. 6.9: Anforderungen des Verbundtyps 3 an das POM.....	127
Abb. 6.10: Anforderungen des Verbundtyps 3 an das MOM	129
Abb. 6.11: Anforderungen des Verbundtyps 3 an das QOM.....	131
Abb. 6.12: Anforderungen des Verbundtyps 3 an das IOM.....	133
Abb. 6.13: Anforderungen des Verbundtyps 4 an das POM.....	135
Abb. 6.14: Anforderungen des Verbundtyps 4 an das MOM	137
Abb. 6.15: Anforderungen des Verbundtyps 4 an das QOM.....	139
Abb. 6.16: Anforderungen des Verbundtyps 4 an das IOM.....	141
Abb. 7.1: Positionen der Interviewpartner	147
Abb. 7.2: Durchschnittliche Anforderungen an die MES-Ebene und deren aktuelle Unterstützung durch derzeitige Anwendungssysteme	149
Abb. 7.3: Anforderungen und aktuelle Unterstützung des POM	152
Abb. 7.4: Anforderungen und aktuelle Unterstützung des MOM.....	154
Abb. 7.5: Anforderungen und aktuelle Unterstützung des QOM.....	156
Abb. 7.6: Anforderungen und aktuelle Unterstützung des IOM.....	158
Abb. 7.7: Verbundtypenzuordnung und deren Abweichungen.....	161
Abb. 7.8: Empirische und abgeleitete Anforderungen an das POM	163
Abb. 7.9: Empirische und abgeleitete Anforderungen an das MOM.....	164
Abb. 7.10: Empirische und abgeleitete Anforderungen an das QOM.....	165
Abb. 7.11: Empirische und abgeleitete Anforderungen an das IOM	166
Abb. 8.1: Grundsätzliche Aufteilung von TCO	168
Abb. 8.2: Kostenkategorien des TCO-Modells der Gartner Group	170
Abb. 9.1: Vorgehensmodell zur Auswahl eines MES.....	180

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Teilbereiche und Funktionen der MES-Ebene	34
Tab. 3.1:	Exemplarisches Ergebnis von Phase 1	54
Tab. 3.2:	Exemplarische Nutzwertanalyse von Szenarien.....	60
Tab. 3.3:	Exemplarische Nutzwertanalyse nach Sensitivitätsanalyse	62
Tab. 4.1:	Auswirkungen der Leitmerkmale auf Auftragsveranlassung und Auftragsüberwachung	68
Tab. 4.2:	Wirkung der Merkmale auf die Teilbereiche der MES-Ebene.....	69
Tab. 4.3:	Ausgewählte Merkmale der Typologisierung	70
Tab. 4.4:	Elementartypenreihe Spezialisierungsgrad der Elementarfaktoren	73
Tab. 4.5:	Elementartypenreihe Produktionsanordnung	77
Tab. 4.6:	Elementartypenreihe Fertigungsart	80
Tab. 4.7:	Ableitung der Automatisierungsgrade.....	81
Tab. 4.8:	Elementartypenreihe Automatisierungsgrad	81
Tab. 4.9:	Elementartypenreihe Prozessablauf	84
Tab. 4.10:	Elementartypenreihe Variabilität der Ablauffolge	86
Tab. 4.11:	Elementartypenreihe Betriebsmittel- und Prozesssubstituierbarkeit.....	88
Tab. 4.12:	Elementartypenreihe Auftragsart	91
Tab. 4.13:	Merkmale mit deren Elementartypenreihen	92
Tab. 5.1:	Typologische Ausprägung von Verbundtyp 1.....	96
Tab. 5.2:	Typologische Ausprägung von Verbundtyp 2.....	97
Tab. 5.3:	Typologische Ausprägung von Verbundtyp 3.....	98
Tab. 5.4:	Typologische Ausprägung von Verbundtyp 4.....	99
Tab. 6.1:	Auswirkungen der Merkmale auf den POM - Teilbereich.....	102
Tab. 6.2:	Auswirkungen der Merkmale auf den MOM - Teilbereich	103
Tab. 6.3:	Auswirkungen der Merkmale auf den QOM - Teilbereich	104
Tab. 6.4:	Auswirkungen der Merkmale auf den IOM - Teilbereich.....	106
Tab. 6.5:	Auswirkungen der Merkmale auf die Teilbereiche der MES-Ebene	106
Tab. 6.6:	Kombination von Anforderungsprofilen	142
Tab. 7.1:	Gegenüberstellung der Mittelwerte	150
Tab. 7.2:	Korrelation zwischen allgemeiner und errechneter Bewertung	151
Tab. 7.3:	Unterschiede zwischen Anforderung und Unterstützung des POM.....	153
Tab. 7.4:	Unterschiede zwischen Anforderung und Unterstützung des MOM	155
Tab. 7.5:	Unterschiede zwischen Anforderung und Unterstützung des QOM.....	157
Tab. 7.6:	Unterschiede zwischen Anforderung und Unterstützung des IOM.....	158
Tab. 7.7:	Ergebnisse der offenen Fragen	160

Tab. 7.8: Empirische und abgeleitete Anforderungen an die MES-Ebene.....	162
Tab. 8.1: TCO Kostenkategorien eines MES	173

Abkürzungsverzeichnis

BDE	Betriebsdatenerfassung
BFS	Betriebsführungssystem
BPR	Business Process Reengineering
B2MML	Business to Manufacturing Markup Language
CAP	Computer Aided Planning
CFR	Code of Federal Regulation
CIM	Computer Integrated Manufacturing
et al.	et alii
ERP	Enterprise Resource Planning
FDA	Food and Drug Administration
GMP	Good Manufacturing Practice
IOM	Inventory Operation Management
IS	Informationssystem
ISA	Instrumentations, Systems, and Automation Society
IT	Informationstechnologie
KPI	Key Performance Indicator
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LIMS	Laboratory Information Management System
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association
MOM	Maintenance Operation Management
MRP II	Manufacturing Resource Planning
NAMUR	Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie
OMS	Operation Management System
OPC	OLE for Process Control
PAC	Production Activity Control
PAT	Process Analytical Technology
POM	Production Operation Management
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PRM	Purdue Reference Model
PZE	Personalzeiterfassung
QOM	Quality Operation Management
RAC	Real Application Cluster
RFID	Radio Frequency Identification
SAP	Systeme, Anwendungen, Produkte in der Datenverarbeitung
SCM	Supply Chain Management
SLA	Service Level Agreement
SOA	Service oriented architecture
TCO	Total cost of ownership
TQM	Total quality management
WBF	World Batch Forum
WIP	Work in Progress
VDI	Verein deutscher Ingenieure