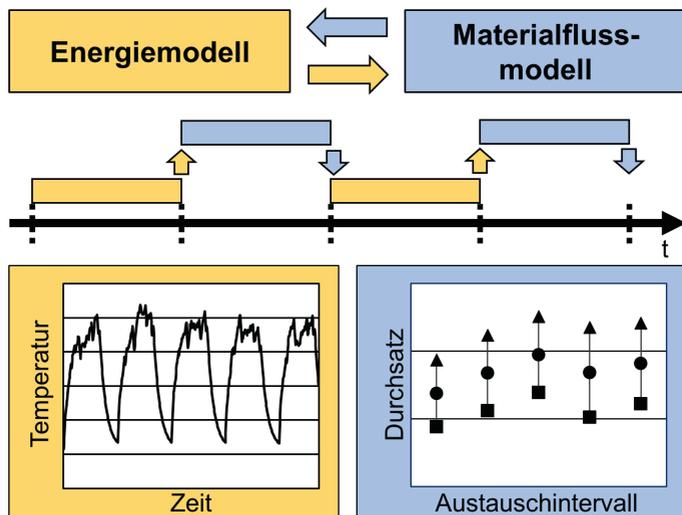




Tim Peter

Gekoppelte hybride Simulation von Materialfluss und Energie in Produktion und Logistik



Band 6

SHAKER
VERLAG

Gekoppelte hybride Simulation von Materialfluss und Energie in Produktion und Logistik

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)**

Im Fachbereich Maschinenbau
der Universität Kassel

vorgelegt von

Tim Peter

Kassel, im Februar 2019

Die vorliegende Arbeit wurde im Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erste Gutachterin: Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel, Universität Kassel

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht, Technische Universität Clausthal

Weitere Mitglieder der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach, Universität Kassel

Prof. Dr.-Ing. Mark Junge, Universität Kassel

Tag der mündlichen Prüfung:

14.05.2019

Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Band 6

Tim Peter

**Gekoppelte hybride Simulation von Materialfluss
und Energie in Produktion und Logistik**

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

Shaker Verlag
Düren 2019

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., 2019

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6859-7

ISSN 2192-5569

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte Hilfe Dritter 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. Dritte waren an der inhaltlichen Erstellung der Dissertation nicht beteiligt; insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines kommerziellen Promotionsberaters in Anspruch genommen. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren durch mich verwendet worden.

Kassel, im Februar 2019

Tim Peter

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.

Kassel, im Juli 2019

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel

Vorwort des Autors

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung des Institutes Produktionstechnik und Logistik der Universität Kassel.

Die Idee zu dieser Dissertation entstand während meiner Zeit am Fachgebiet aus den Projektergebnissen des Projekts „SimEnergy - Simulationsgestützte Planung und Bewertung der Energieeffizienz für Produktionssysteme in der Automobilindustrie“ und aus der Mitarbeit in der Arbeitsgruppe „Berücksichtigung energetischer Einflussfaktoren in SPL“ der Fachgruppe „Simulation in Produktion und Logistik (SPL)“ in der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) der Gesellschaft für Informatik e. V. Den Kollegen der Arbeitsgruppe möchte ich für die interessanten Gespräche, den wertvollen Austausch und die gute Zusammenarbeit bei den entstandenen Publikationen danken.

Frau Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel danke ich ganz herzlich für die Betreuung meiner Dissertation und für das stets ausführliche und konstruktive Feedback.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht für die Übernahme des Zweitgutachtens und für die wertvollen Anregungen bedanken.

Außerdem bedanke ich mich bei den Prüfern Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach und Herrn Prof. Dr.-Ing. Mark Junge.

Kassel, im Juli 2019

Tim Peter

Kurzfassung

Bei der ganzheitlichen Planung von Produktion und Logistik spielen die Werkzeuge der Digitalen Fabrik eine zunehmend größere Rolle. Eines dieser Werkzeuge ist die Simulation. Neben der simulativen Untersuchung von Materialflusssystemen gewinnt auch die Analyse von Energieflüssen in der Produktion an Bedeutung. Um die Wechselwirkungen zwischen Materialfluss und Energie in Produktion und Logistik abzubilden, wird in dieser Dissertation ein gekoppelt hybrider Simulationsansatz vorgeschlagen. Dieser verbindet die Simulationswerkzeuge Plant Simulation und MATLAB Simulink über eine Schnittstelle und ermöglicht den Datenaustausch zwischen den Modellen.

Zur Erforschung des Themas werden Fragen in Bezug auf mögliche vernetzungswürdige Anwendungsfälle, die Weiterentwicklung des Simulationsansatzes und den Einfluss der Länge des Datenaustauschintervalls zwischen den Modellen diskutiert. Darüber hinaus wird untersucht, wie Besonderheiten der Erstellung und Simulation gekoppelt hybrider Modelle in einem Vorgehensmodell berücksichtigt werden können und wie sich das Vorgehen in einer Methodik für den Anwender zusammenfassen lässt. Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden in der Dissertation zunächst Kriterien abgeleitet, anhand derer mögliche Problemstellungen aus Produktion und Logistik hinsichtlich ihrer Vernetzungswürdigkeit überprüft werden können. Ein ausgewählter gekoppelt hybrider Simulationsansatz wird in Bezug auf die Anwendung weiterentwickelt. Da der Datenaustausch zwischen den beiden Teilmodellen in festgelegten Zeitintervallen stattfindet, wird der Einfluss der Länge der Datenaustauschintervalle auf die Simulationsergebnisse anhand verschiedener Kennzahlen experimentell untersucht. Durch die Ergänzung des Vorgehensmodells nach VDI 3633, Blatt 1, um zusätzliche Phasen und Phasenergebnisse wird das Vorgehen für Simulationsstudien mit gekoppelten hybriden Modellen systematisiert. Die Evaluation über Simulationsexperimente verdeutlicht zum einen die Eignung der Vorgehensweise und des entwickelten Ansatzes. Zum anderen zeigt sich ein Gewinn der Ergebnisgenauigkeit gegenüber einer rein ereignisdiskreten Simulation, wobei sich für die betrachteten Kennzahlen unterschiedlich starke Auswirkungen durch die Länge des verwendeten Austauschintervalls ergeben.

Die Arbeit diskutiert verschiedene Anwendungsfälle für eine gekoppelte hybride Simulation von Materialfluss und Energie in Produktion und Logistik und beschreibt einen praxisnahen Simulationsansatz. Durch weitere methodische Vereinfachungen in der Modellgenerierung und bei der Experimentdurchführung kann auf dieser Basis der Weg für die gekoppelt hybride Simulation von Materialfluss und Energie in Produktion und Logistik in die industrielle Anwendung geebnet werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis	VII
Formelverzeichnis.....	VIII
Verzeichnis der Algorithmen.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Aufbau der Arbeit.....	7
2 Simulation von Materialfluss und Energie in Produktion und Logistik	10
2.1 Materialfluss in Produktion und Logistik.....	10
2.1.1 Produktion	10
2.1.2 Logistik	11
2.1.3 Schlussfolgerung	14
2.2 Energie in Produktion und Logistik	15
2.2.1 Energie und Energieverbrauch	15
2.2.2 Energieflüsse in Produktion und Logistik	16
2.2.3 Schlussfolgerung	20
2.3 Simulation und Simulationsmethoden	21
2.3.1 Ereignisdiskrete Simulationsmethode	22
2.3.2 Zeitgesteuerte (diskrete) Simulationsmethode	23
2.3.3 Kontinuierliche Simulationsmethode	23
2.3.4 Hybride Simulationsmethode	24
2.3.5 Kopplung von ereignisdiskreten und kontinuierlichen Modellen	25
2.3.6 Diskussion und Zusammenfassung	28
3 Vernetzungs- und Simulationswürdigkeit von Problemstellungen.....	30
3.1 Unternehmensziele	30
3.2 Gründe für eine vernetzte Betrachtung von Materialfluss und Energie.....	32
3.3 Kennzahlen als Indikatoren für die Notwendigkeit einer vernetzten Betrachtung	38
3.4 Überprüfung der Vernetzungs- und Simulationswürdigkeit von Problemstellungen.....	42
3.4.1 Fragen zur Überprüfung der Vernetzungswürdigkeit	42

3.4.2	Überprüfung der Simulationswürdigkeit.....	44
4	Ansätze zur Modellierung und Simulation von Materialfluss und Energie.....	47
4.1	Ansätze mit einem Simulationswerkzeug.....	52
4.1.1	Modellierung und Simulation von Energieverbrauch und -bereitstellung in einem ereignisdiskreten Simulationswerkzeug.....	52
4.1.2	Hybride Simulation von Materialfluss und Energie in einem Simulationswerkzeug.....	54
4.2	Ansätze mit mehreren Simulationswerkzeugen.....	57
4.2.1	Verwendung unabhängiger Simulationsmodelle.....	58
4.2.2	Verwendung gekoppelter Simulationsmodelle.....	58
4.3	Zusammenfassung und Diskussion.....	66
4.4	Weiterentwicklung des Ansatzes zur Kopplung von Plant Simulation und MATLAB Simulink.....	70
4.4.1	Verwendete Simulationswerkzeuge.....	73
4.4.2	Schnittstelle zwischen den Werkzeugen.....	73
4.4.3	Synchronisierung des zeitlichen Ablaufs der Modelle.....	74
4.4.4	Architekturkonzept.....	76
5	Analyse der Wechselwirkungen in der gekoppelten Simulation.....	78
5.1	Modellierung von Wechselwirkungen in der gekoppelten Simulation.....	78
5.1.1	Modellierung einer direkten Wechselwirkung.....	79
5.1.2	Modellierung einer indirekten Wechselwirkung.....	80
5.2	Einfluss der Länge des Austauschintervalls auf die Simulationsergebnisse.....	83
5.2.1	Länge des Austauschintervalls im Verhältnis zur Dauer von Prozessen.....	83
5.2.2	Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom gewählten Austauschintervall.....	86
5.3	Schlussfolgerung.....	87
6	Vorgehensmodell für Simulationsstudien mit gekoppelten hybriden Modellen ...	89
6.1	Vorgehensmodell nach Rabe et al.....	89
6.1.1	Zielbeschreibung.....	90
6.1.2	Aufgabendefinition und -spezifikation.....	91
6.1.3	Systemanalyse und Konzeptmodell.....	92
6.1.4	Datenbeschaffung und -aufbereitung.....	93
6.1.5	Modellformalisierung und formales Modell.....	93

6.1.6	Implementierung und ausführbares Modell.....	94
6.1.7	Experimente, Analyse und Ergebnisse	94
6.1.8	Schlussfolgerungen.....	95
6.2	Vorgehensmodell zur Erstellung energieeffizienter Fertigungsstrategien nach Khalaf.....	95
6.3	Vorgehensmodell für die Systemanalyse und Modellierung nach Sproedt et al.....	96
6.4	Vorgehensmodell für effiziente Simulationsstudien mit gleichzeitiger Betrachtung von Material- und Energieflüssen nach Stoldt und Putz	98
6.5	Entwicklung eines Vorgehensmodells für Simulationsstudien mit gekoppelten hybriden Modellen.....	100
6.5.1	Zielbeschreibung	100
6.5.2	Aufgabendefinition.....	101
6.5.3	Analyse der Voraussetzungen und Durchführbarkeit des gekoppelten Ansatzes.....	102
6.5.4	Systemanalyse und Konzeptmodell.....	103
6.5.5	Datenbeschaffung und -aufbereitung	104
6.5.6	Modellformalisierung und formales Modell	104
6.5.7	Implementierung und ausführbares Modell.....	105
6.5.8	Experimente, Analyse und Ergebnisse	106
6.5.9	Verifikation und Validierung	107
6.5.10	Zusammenfassung	112
7	Evaluation durch simulative Untersuchung ausgewählter Problemstellungen....	116
7.1	„SimEnergy“ Anwendungsfall	117
7.2	Modellierung einer Ofenstrecke.....	121
7.3	Bereitstellung von Schmelze in einer Gießerei	124
7.4	Steuerung paralleler Bearbeitungsmaschinen	130
7.4.1	Zielbeschreibung	130
7.4.2	Prüfung der Vernetzungswürdigkeit.....	131
7.4.3	Prüfung der Simulationswürdigkeit.....	131
7.4.4	Aufgabendefinition.....	132
7.4.5	Entscheidung über den Einsatz der gekoppelten hybriden Simulation ..	132
7.4.6	Datenbeschaffung und -aufbereitung	133
7.4.7	Systemanalyse	134
7.4.8	Modellformalisierung	137

7.4.9	Implementierung.....	141
7.4.10	Experimente und Analyse.....	148
7.4.11	Schlussfolgerung	158
7.5	Experimente zur Länge des Datenaustauschintervalls.....	159
7.5.1	Materialflussmodell ohne stochastische Größen.....	159
7.5.2	Materialflussmodell mit stochastischen Größen	163
8	Methodik für Simulationsstudien mit gekoppelten hybriden Modellen	178
9	Schlussbetrachtungen.....	187
9.1	Zusammenfassung.....	187
9.2	Ausblick.....	191
	Literaturverzeichnis	194

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau der Dissertation.....	8
Abbildung 2:	Logistikkette	12
Abbildung 3:	Energieflüsse einer Fabrik	18
Abbildung 4:	Paradigmen der energieorientierten Produktionssystemsimulation ...	47
Abbildung 5:	Systematik der Simulationsansätze	51
Abbildung 6:	Architekturkonzept	71
Abbildung 7:	Ablauf der Simulation mit gekoppelten Modellen	75
Abbildung 8:	Überarbeitetes Architekturkonzept für direkte Kopplung	77
Abbildung 9:	Direkte Wechselwirkung	79
Abbildung 10:	Indirekte Wechselwirkung.....	81
Abbildung 11:	Ungenauigkeit in Abhängigkeit vom Austauschintervall.....	83
Abbildung 12:	Vorgehensmodell für Simulationsstudien nach Rabe et al.....	90
Abbildung 13:	Vorgehensmodell (übersetzt) nach Sproedt et al.....	97
Abbildung 14:	Vorgehensmodell (übersetzt) nach Stoldt und Putz	99
Abbildung 15:	Erweitertes Vorgehensmodell für Simulationsstudien mit gekoppelten hybriden Modellen	113
Abbildung 16:	Aufbau der Evaluation	116
Abbildung 17:	Temperaturentwicklung bei einer Grenztemperatur von 40 °C	119
Abbildung 18:	Konzeptmodell der Ofenstrecke	122
Abbildung 19:	Konzeptmodell Gießerei	126
Abbildung 20:	Temperaturverlauf im Warmhalteofen	129
Abbildung 21:	Konzeptmodell parallele Bearbeitungsstationen	134
Abbildung 22:	Konzeptmodell Wärme in der Bearbeitungsstation.....	136
Abbildung 23:	Ablaufplan der Kopplung	140
Abbildung 24:	Screenshot Plant Simulation Modell	141
Abbildung 25:	Screenshot MATLAB Simulink Modell.....	144
Abbildung 26:	Beispieltemperaturverlauf Maschine 2, Vergleich Lauf 3 und 5	150
Abbildung 27:	Eingriffe im Modell	151
Abbildung 28:	Auswertung des Durchsatzes in Stück für fünf Arbeitstage.....	155
Abbildung 29:	Auswertung der temperaturbedingten Ausfälle für fünf Arbeitstage.....	155
Abbildung 30:	Auswertung des „Wartend“-Anteils für fünf Arbeitstage	156
Abbildung 31:	Auswertung des durchschnittlichen Bestandes für fünf Arbeitstage.....	157
Abbildung 32:	Auswertung der durchschnittlichen Durchlaufzeit.....	157

Abbildung 33:	Visualisierung Temperaturverlauf mit Austauschintervall 150 s.....	161
Abbildung 34:	Darstellung der Übertragung bei Austauschintervall 150 s.....	162
Abbildung 35:	Prozentuale Abweichungen gegenüber Intervall 1	163
Abbildung 36:	Visualisierung der Konfidenzintervalle für den Durchsatz für fünf Arbeitstage	165
Abbildung 37:	Visualisierung der Konfidenzintervalle für den Anteil temperaturbedingter Störungen für fünf Arbeitstage	167
Abbildung 38:	Visualisierung der Konfidenzintervalle für die durchschnittliche Temperatur.....	168
Abbildung 39:	Visualisierung der Konfidenzintervalle für die Zeitanteile der Überschreitung der kritischen Temperatur	170
Abbildung 40:	Visualisierung der benötigten Rechenzeit in Abhängigkeit vom Austauschintervall	171
Abbildung 41:	Visualisierung der Abweichungen bei der Überschreitung der kritischen Temperatur.....	172
Abbildung 42:	Grafische Darstellung der Ermittlung der kritischen Temperatur bei einem Austauschintervall von fünf Sekunden	173
Abbildung 43:	Grafische Darstellung der Ermittlung der kritischen Temperatur bei einem Austauschintervall von zehn Sekunden	174
Abbildung 44:	Datenaustauschintervalle in Abhängigkeit der Häufigkeit der interaktionsrelevanten Ereignisse und der Zustandsdauer	176
Abbildung 45:	Methodik für Simulationsstudien mit gekoppelten hybriden Modellen	178
Abbildung 46:	Schritt 1 der Methodik: Prüfung der Vernetzungswürdigkeit	179
Abbildung 47:	Schritt 2 der Methodik: Prüfung der Simulationswürdigkeit	180
Abbildung 48:	Schritt 3 der Methodik: Wahl des Simulationsansatzes	182
Abbildung 49:	Schritt 4 der Methodik: Festlegen des Datenaustauschintervalls	183
Abbildung 50:	Flussdiagramm: Wahl des Austauschintervalls.....	184
Abbildung 51:	Schritt 5 der Methodik: Modellierung und Simulation	185

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kombinationen der Simulationswürdigkeit	45
Tabelle 2: Ereignisse im ereignisdiskreten Modell	80
Tabelle 3: Ereignisse im gekoppelten Modell	80
Tabelle 4: Ereigniszeitpunkte im ereignisdiskreten Modell	81
Tabelle 5: Ereigniseintrittszeitpunkte im gekoppelten Modell	82
Tabelle 6: Vergleich der Simulationsergebnisse	123
Tabelle 7: Simulationsergebnisse für fünf Replikationen	128
Tabelle 8: Ergebniswerte für Experiment 1	149
Tabelle 9: Auswertung der kritischen Pufferbestände für eine Simulationszeit von 10 Arbeitstagen	153
Tabelle 10: Ergebnisse Experiment Austauschintervall (Teil 1)	160
Tabelle 11: Ergebnisse Experiment Austauschintervall (Teil 2)	160
Tabelle 12: Durchsatz in Stück pro fünf Arbeitstage in Abhängigkeit vom Austauschintervall	164
Tabelle 13: Prozentualer Anteil temperaturbedingter Störungen in Abhängigkeit vom Austauschintervall	166
Tabelle 14: Durchschnittstemperaturen in Kelvin in Abhängigkeit vom Austauschintervall	167
Tabelle 15: Prozentuale Zeitanteile über der kritischen Temperatur von 370 K	169

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der oberen und unteren Grenze des Konfidenzintervalls	87
Formel 2: Berechnung des Wärmestroms	138
Formel 3: Berechnung der kritischen Temperatur	173
Formel 4: Berechnung der kritischen Temperatur (Fall 1): nach Einsetzen	173
Formel 5: Berechnung der kritischen Temperatur (Fall 1): Ergebnis	174
Formel 6: Berechnung der kritischen Temperatur (Fall 2): nach Einsetzen	174
Formel 7: Berechnung der kritischen Temperatur (Fall 2): Ergebnis	174

Verzeichnis der Algorithmen

Algorithmus 1: Pseudocode für die Zustandsabfrage und Codierung	137
Algorithmus 2: Pseudocode des Wärmestroms für das Energiemodell.....	138
Algorithmus 3: Pseudocode Zuweisung der Leistungsaufnahme.....	139
Algorithmus 4: Implementierung der Zustandsabfrage der Maschinen in SimTalk ..	143
Algorithmus 5: Implementierung des Sendens der Daten im Materialflussmodell....	146
Algorithmus 6: Implementierung des Datenempfangs	147
Algorithmus 7: Pseudocode für die Temperatursteuerung	152

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation
BE	Bewegliches Element
bzgl.	bezüglich
d. h.	das heißt
DES	Discrete Event Simulation (dt. ereignisdiskrete Simulation)
DGM	Druckgussmaschine
DIN	Deutsches Institut für Normung
.dll	Dynamic Link Library (Dateityp)
Dt.	deutsch
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
Engl.	englisch
ERP	Enterprise Resource Planning
et al.	et alii (und andere)
GB	Gigabyte
ggf.	gegebenenfalls
GHz	Gigahertz
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HA	Hessen Agentur GmbH
Hg. v.	herausgegeben von
hh:mm:ss	Stunden:Minuten:Sekunden
HLA	High Level Architecture
Hrsg.	Herausgeber
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
i. O.	in Ordnung
kW	Kilowatt

LCA	Life Cycle Assessment (dt. Ökobilanz)
Max.	Maximum
MES	Manufacturing Execution System
Min.	Minimum
MTTR	Mean Time To Repair
n. i. O.	nicht in Ordnung
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Gesamtanlageneffektivität)
s	Sekunde
S.	Seite
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SPL	Simulation in Produktion und Logistik
Stk.	Stück
T	Temperatur
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
V&V	Verifikation und Validierung
z. B.	zum Beispiel