

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Simulation von Logistik-, Materialfluss-
und Produktionssystemen
Maschinennahe Simulation

VDI 3633

Blatt 8 / Part 8

Simulation of systems in materials handling,
logistics and production
Machine-oriented simulation

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

| Inhalt | Seite | Contents | Page |
|---|-----------|---|-----------|
| Vorbemerkung | 3 | Preliminary note | 3 |
| Einleitung | 3 | Introduction | 3 |
| 1 Anwendungsbereich | 4 | 1 Scope of application. | 4 |
| 1.1 Anwendungsfelder | 4 | 1.1 Application fields. | 4 |
| 1.2 Abgrenzung Realität – Simulation. | 5 | 1.2 Delineation between reality and simulation. | 5 |
| 2 Begriffe und Definitionen | 6 | 2 Terms and definitions | 6 |
| 3 Nutzungsmöglichkeiten und typische Fragestellungen | 9 | 3 Possible applications and typical problems | 9 |
| 3.1 Entwicklung/Konstruktion. | 9 | 3.1 Development/design | 9 |
| 3.2 Planung von Fertigungszellen | 10 | 3.2 Planning of production cells | 10 |
| 3.3 Inbetriebnahme | 10 | 3.3 Start-up | 10 |
| 3.4 Betrieb | 11 | 3.4 Operation | 11 |
| 3.5 Vertrieb | 11 | 3.5 Sales | 11 |
| 4 Modellbildung für die maschinennahe Simulation | 11 | 4 Modelling for machine-oriented simulation | 11 |
| 4.1 Validierung von Simulationsmodellen | 12 | 4.1 Validation of simulation models | 12 |
| 4.2 Weiterverwendung von Simulationsmodellen | 12 | 4.2 Reuse of simulation models | 12 |
| 5 Grundsatzentscheidung zum Simulationseinsatz | 13 | 5 Basic decision for the use of simulation | 13 |
| 6 3-D-Kinematiksimulation | 14 | 6 3D kinematic simulation. | 14 |
| 6.1 Komponenten der Simulationssysteme | 15 | 6.1 Components of the simulation systems | 15 |
| 6.2 Vorbereitung der Simulation | 20 | 6.2 Preparation of the simulation. | 20 |
| 6.3 Validierung des Modells und Kalibrierung des Robotersystems | 22 | 6.3 Validation of the model and calibration of the robot system | 22 |
| 6.4 Durchführung und Auswertung von Simulationsexperimenten | 25 | 6.4 Execution and evaluation of simulation experiments. | 25 |
| 6.5 Aufwand und Nutzen | 26 | 6.5 Costs and benefits | 26 |
| 6.6 Beispiel | 27 | 6.6 Example | 27 |

VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik

Fachbereich Modellierung und Simulation
Fachausschuss Maschinennahe Simulation

VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Band 8: Materialfluss II (Organisation/Steuerung)
VDI-Handbuch Betriebstechnik, Teil 1: Grundlagen und Planung

7 Mehrkörpersimulation 31

7.1 Komponenten der Simulatoren 32

7.2 Vorbereitung der Simulation 32

7.3 Berechnungsmöglichkeiten 37

7.4 Auswertung der Simulations-
experimente 39

7.5 Aufwand und Nutzen 39

7.6 Beispiel 40

**8 Simulation zum Funktionstest von
Steuerungen 44**

8.1 Komponenten von Simulatoren 45

8.2 Vorbereitung der Modellierung und
Simulation 48

8.3 Durchführung der Simulations-
experimente 51

8.4 Auswertung der Simulations-
experimente 52

8.5 Aufwand und Nutzen 53

8.6 Beispiel 53

9 Prozesssimulation 59

9.1 Komponenten der Simulatoren 60

9.2 Vorbereitung der Simulation und
Modellierung 65

9.3 Durchführung der Simulations-
experimente 69

9.4 Auswertung der Simulations-
experimente 70

9.5 Verbesserung der Simulations-
genauigkeit 71

9.6 Weiterverwendung von Simulationsdaten,
Kopplung von Simulationssystemen 72

9.7 Aufwand und Nutzen 72

9.8 Beispiele und Anwendungen 73

10 Maschinennahe Materialflusssimulation . . . 78

10.1 Komponenten der Simulatoren 80

10.2 Weiterverwendung von Simulations-
daten, Kopplung von Simulations-
systemen. 82

10.3 Vorbereitung der Simulation 83

10.4 Durchführung und Auswertung von
Simulationsexperimenten 85

10.5 Beispiele. 86

Schrifttum. 90

7 Multibody simulation 31

7.1 Components of the simulators 32

7.2 Preparation of the simulation 32

7.3 Calculation options 37

7.4 Evaluation of the simulation
experiments 39

7.5 Costs and benefits 39

7.6 Example 40

**8 Simulation for the function testing of
controllers. 44**

8.1 Components of simulators 45

8.2 Preparation of modelling and
simulation 48

8.3 Execution of the simulation
experiments 51

8.4 Evaluation of the simulation
experiments 52

8.5 Costs and benefits 53

8.6 Example 53

9 Process simulation 59

9.1 Components of the simulators 60

9.2 Preparation of the simulation and
modelling 65

9.3 Execution of the simulation
experiments 69

9.4 Evaluation of the simulation
experiments 70

9.5 Improvement of the simulation
accuracy 71

9.6 Further use of simulation data,
coupling of simulation systems 72

9.7 Costs and benefits 72

9.8 Examples and applications. 73

10 Machine-oriented material flow simulation . 78

10.1 Components of the simulators 80

10.2 Reuse of simulation data, linking of
simulation systems. 82

10.3 Preparation of the simulation 83

10.4 Execution and evaluation of simulation
experiments 85

10.5 Examples. 86

Bibliography. 90

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter sorgfältiger Berücksichtigung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Allen, die ehrenamtlich an der Erstellung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei auf diesem Wege gedankt.

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdrucks, der Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig. Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie als konkrete Arbeitsunterlage ist unter Wahrung des Urheberrechtes und unter Beachtung der VDI-Merkblätter 1 bis 7 möglich. Auskünfte dazu, sowie zur Nutzung im Wege der Datenverarbeitung, erteilt die Abteilung VDI-Richtlinien im VDI.

Einleitung

Diese Richtlinie wendet sich an Anwender (Konstrukteure, Entwickler, Planer, Betreiber, Vertriebsmitarbeiter) von Simulationstechniken im maschinennahen Bereich. Im Rahmen dieser Richtlinie wird unter maschinennaher Simulation die Simulation von Fertigungsmaschinen und ihrer Peripherie verstanden. Dies schließt den in der Maschine ablaufenden Fertigungsprozess mit ein. Die Umgebungsbedingungen und der maschinennahe Materialfluss werden berücksichtigt, soweit sie Rückwirkungen auf die Maschine oder den Fertigungsprozess haben.

Soweit nicht anders angegeben, gelten die in VDI 3633 Blatt 1 getroffenen Festlegungen.

Diese Richtlinie beschreibt die Simulationstechnologien, die die Betrachtung der folgenden, beispielhaften Fragestellungen unterstützen:

- Gestaltung des Fertigungsprozesses
- Auslegung/Berechnung der Fertigungsmaschine
- Entwurf und Test von Steuerungen
- Planung von Fertigungszellen
- Bahnplanung/Kollisionsvermeidung
- Automatische Ableitung von Steuerungssoftware

Als Hilfsmittel dienen die im Folgenden näher beschriebenen Simulationstechnologien (siehe Bild 1):

- 3-D-Kinematiksimulation
- Mehrkörpersimulation
- Simulation zum Funktionstest von Steuerungen
- Prozesssimulation
- Maschinennahe Materialflusssimulation

Preliminary note

The content of this guideline has been developed under thorough consideration of the requirements and recommendations of guideline VDI 1000.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

All rights reserved including those of reprinting, reproduction (photocopying, microcopying), storage in data processing systems, and translation, either of the full text or of extracts. This VDI guideline can be used as a concrete project document without infringement of copyright and with regard to VDI Notices 1 to 7. Information on this, as well as on the use in data processing, may be obtained by the VDI Guidelines Department at the VDI.

Introduction

This guideline is aimed at users (designers, developers, planners, operators, sales personnel) of simulation techniques in the machine-oriented sector. Within the framework of this guideline machine-oriented simulation refers to the simulation of production machines and their peripherals. This also includes the production process running in the machine. The environmental conditions and the machine-oriented material flow are taken into consideration insofar as they have any impact on the machine or the production process.

Unless stated otherwise the provisions of VDI 3633, Sheet 1 shall apply.

This guideline describes the simulation technologies which support the observation of the following tasks taken here as an example:

- design of the production process
- design/development of the production machine
- design and testing of controllers
- planning of production cells
- path planning/avoidance of collisions
- automatic derivation of control software

The simulation technologies described in more detail in the following serve as an aid (see Figure 1):

- 3D kinematic simulation
- multibody simulation
- simulation for the function test of controllers
- process simulation
- machine-oriented material flow simulation

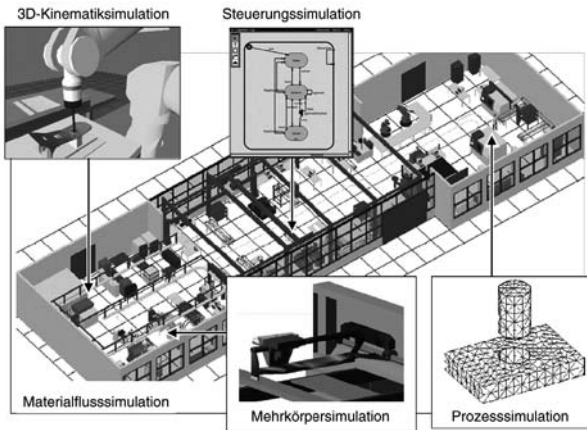


Bild 1. Simulationstechnologien der maschinennahen Simulation (nach [2])

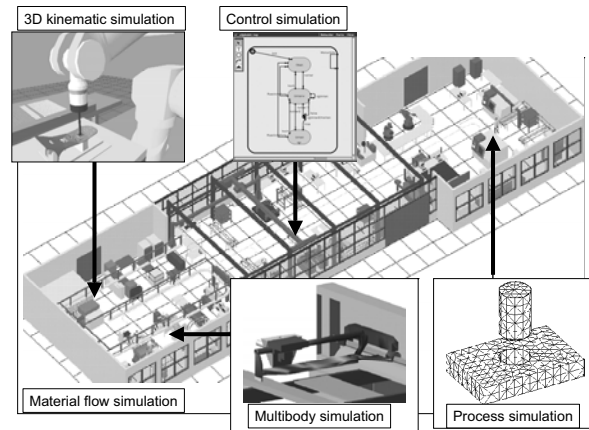


Figure 1. Simulation technologies in machine-oriented simulation (in accordance with [2])

Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Datenaustausch und die Durchgängigkeit zwischen einzelnen Simulationsarten an Bedeutung gewinnen.

Andere Simulationsarten, die angrenzend auch im maschinennahen Bereich eingesetzt werden, werden in dieser Richtlinie nicht behandelt, da sie eigenständige Gebiete darstellen:

- Simulation in der Elektrotechnik
- Simulation in der Materialforschung
- Mensch-/Ergonomiesimulation

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie bietet einen Überblick über die Anwendungsbereiche und den Nutzen von Simulationstechniken, die im Lebenszyklus einer Maschine eingesetzt werden können. Der Benutzer erhält Hinweise zur einfachen Auswahl geeigneter Simulationsansätze für seine Problemstellung. Die Richtlinie zeigt Anforderungen für den Simulationseinsatz auf, beschreibt die Anwendung und gibt Anleitungen für den erfolgreichen Einsatz. Das Verständnis der Simulationsanwender für angrenzende Bereiche und auftretende Wechselwirkungen soll vertieft werden. Von besonderem Interesse ist die Kombination unterschiedlicher Simulationsansätze. Hier werden Möglichkeiten zu Integration und Durchgängigkeit aufgezeigt.

1.1 Anwendungsfelder

Die Möglichkeiten der Anwendung maschinennaher Simulation erstrecken sich von der Maschinenentwicklung über die Zellenplanung und die Inbetriebnahme bis zum produktiven Betrieb und schließen auch den Vertrieb ein (siehe Bild 2).

In addition to this, it must also be taken into consideration that data exchange and the continuity between individual types of simulation are gaining increasing significance.

Other types of simulation which have marginal applications in the machine-oriented sector are not dealt with in this guideline as they represent separate, independent areas:

- simulation in electrotechnical engineering
- simulation in materials research
- human/ergonomic simulation

1 Scope of application

The guideline provides an overview of the application areas and the benefits of simulation techniques which can be applied in the life cycle of a machine. The user receives instructions for easy selection of suitable simulation approaches for his particular task. The guideline deals with the requirements for the use of simulation, describes its application and provides instructions for successful application. It also gives simulation users a better understanding of ancillary areas and the various interactions which can occur. Of particular interest is the combination of different simulation approaches. Options for integration and continuity are also outlined here.

1.1 Application fields

The options for the use of machine-oriented simulation range from machine development to cell planning and start-up, right up to productive operation and sales (see Figure 2).