

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Vorwort | V |
| 1 | Was ist eine Digitale Fabrik | 1 |
| 1.1 | Ziele der Digitalen Fabrik | 5 |
| 1.1.1 | Verbesserung der Wirtschaftlichkeit | 6 |
| 1.1.2 | Verbesserung der Planungsqualität | 8 |
| 1.1.3 | Transparente Kommunikation | 8 |
| 1.1.4 | Standardisierung von Planungsprozessen | 9 |
| 1.1.5 | Verbesserung der Wissensbasis | 9 |
| 1.2 | Aufgaben der Digitalen Fabrik | 10 |
| 1.2.1 | Produktentwicklung | 11 |
| 1.2.2 | Fabrik- und Produktionsplanung | 12 |
| 1.2.3 | Inbetriebnahme und Anlauf der Produktion | 13 |
| 1.2.4 | Produktionsbetrieb und Auftragsmanagement | 13 |
| 1.3 | Modelle der Digitalen Fabrik | 13 |
| 1.3.1 | Synergie durch Vernetzung der Modelle | 15 |
| 1.3.2 | Anforderungen an die Systemarchitektur der Digitalen Fabrik | 17 |
| 1.4 | Visualisierung der Digitalen Fabrik | 17 |
| 1.5 | Simulation der Digitalen Fabrik | 19 |
| 1.6 | Nutzen und Aufwand von Simulation | 23 |
| 2 | Technische Grundlagen der Simulationstechnik | 27 |
| 2.1 | Allgemeine Modelltheorie | 27 |
| 2.1.1 | Modellbegriff | 28 |
| 2.1.2 | Grundsätzliches zum Modellieren von Systemen | 30 |
| 2.1.3 | Qualitatives Modellieren von Systemen | 32 |
| 2.1.4 | Quantitative Modellkonzepte für dynamische Systeme | 35 |
| 2.1.4.1 | Zustandsgrößen, Veränderungsgrößen und Flussgrößen | 36 |
| 2.1.4.2 | Modellannahmen | 37 |
| 2.2 | Vorgehensweise der Systemabgrenzung und Systemanalyse | 39 |
| 2.2.1 | Systemabgrenzung | 41 |
| 2.2.2 | Analyse des Systemzwecks und der globalen Systemeigenschaften | 41 |
| 2.2.3 | Analyse der Systemstruktur | 42 |
| 2.2.4 | Analyse der einzelnen Systemelemente | 43 |
| 2.2.5 | Wirkungsanalyse und Analyse der Ablaufstruktur | 43 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.2.6 | Darstellung der Analyse und Modellierung | 44 |
| 2.3 | Discrete-Event-Simulation | 46 |
| 2.4 | 3D-Kinematik-Simulation..... | 47 |
| 2.5 | Mehrkörpersimulation | 48 |
| 2.6 | Prozesssimulation | 49 |
| 3 | Simulationsanwendungen der Digitalen Fabrik..... | 53 |
| 3.1 | Dezentrale Anwendungen mit zentraler Datenhaltung | 54 |
| 3.2 | Hierarchisches Modellierungskonzept..... | 55 |
| 3.3 | Layoutplanung und Simulation zur Layoutbewertung | 57 |
| 3.4 | Statische Untersuchung von Logistik- und Produktionsflüssen..... | 59 |
| 3.5 | Dynamische Simulation von Logistik- und Produktionsflüssen..... | 60 |
| 3.6 | Simulation zur Ermittlung der Systemverfügbarkeit..... | 62 |
| 3.7 | Planung und Simulation der Montageprozesse..... | 63 |
| 3.7.1 | Integrierte Datenplattform zur Montageplanung..... | 63 |
| 3.7.2 | Montagevisualisierung und -simulation | 64 |
| 3.8 | Robotik und komplexe Bewegungen..... | 65 |
| 3.8.1 | Robotermodellierung..... | 66 |
| 3.8.2 | Planung automatisierter Roboterzellen | 70 |
| 3.8.3 | Offline-Programmierung | 72 |
| 3.9 | Simulation in der Teilefertigung | 74 |
| 3.10 | Simulation von Personal..... | 76 |
| 3.10.1 | Simulation der Personallogistik..... | 77 |
| 3.10.2 | Personalorientierte Simulation..... | 80 |
| 3.10.3 | Ergonomie-Simulation..... | 82 |
| 3.11 | Simulation von Betriebsmittelbau und -logistik | 83 |
| 3.12 | Simulation in der Automatisierungstechnik | 85 |
| 3.13 | Simulation im operativen Betrieb | 89 |
| 3.13.1 | Überprüfung des aktuellen Produktionsprogramms und der Produktionsplanung | 91 |
| 3.13.2 | Verbesserung der Feinplanung und Produktionssteuerung | 92 |
| 3.13.3 | Operative Simulation zum kontinuierlichen Redesign der Fabrik..... | 93 |
| 3.13.4 | Anspruch an Modelle für den operativen Betrieb..... | 94 |
| 3.13.5 | Daten und Schnittstellen für die operative Simulation | 95 |
| 3.13.6 | Nutzer operativer Simulation | 96 |
| 3.14 | Referenzmodelle..... | 97 |
| 4 | Simulationsstudien | 99 |
| 4.1 | Prinzipieller Ablauf von Simulationsstudien..... | 99 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1.1 | Systemdefinition, Zielfestlegung und Lastenheft | 101 |
| 4.1.2 | Modellentwurf | 102 |
| 4.1.3 | Implementierung des Modells | 103 |
| 4.1.4 | Modellverifikation | 104 |
| 4.1.5 | Datenbeschaffung | 105 |
| 4.1.6 | Validierung | 107 |
| 4.1.6.1 | Validierung der Modellannahmen/Eingangsdaten | 108 |
| 4.1.6.2 | Validierung der Modellergebnisse | 108 |
| 4.1.7 | Simulationsversuchsplanung | 111 |
| 4.1.7.1 | Szenario-Definition | 112 |
| 4.1.7.2 | Definition von Simulationsläufen | 114 |
| 4.1.8 | Durchführung Simulationsläufe | 116 |
| 4.1.9 | Laufbetrachtung und Ergebnisauswertung | 116 |
| 4.1.10 | Systemvariation und Optimierung | 119 |
| 4.1.11 | Praktische Umsetzung der Simulationsergebnisse | 120 |
| 4.2 | Typische Fehler vermeiden | 120 |
| 5 | Lastenheft, Pflichtenheft und Spezifikation | 125 |
| 5.1 | Lastenheft | 126 |
| 5.1.1 | Spezifikation der Anforderungen | 127 |
| 5.1.2 | Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Leistungserstellung | 128 |
| 5.1.3 | Anforderungen an den Auftragnehmer | 129 |
| 5.1.4 | Anforderungen an das Projektmanagement | 129 |
| 5.1.5 | Vertragliche Konditionen | 129 |
| 5.1.6 | Unternehmen, Zuständigkeiten und Ansprechpartner | 130 |
| 5.2 | Pflichtenheft | 130 |
| 5.2.1 | Aufgabenstellung und Zielsetzung | 132 |
| 5.2.2 | Eingangsdaten und Eingangsvoraussetzungen | 132 |
| 5.2.3 | Leistungsbeschreibung des Simulationsmodells | 134 |
| 5.2.3.1 | Systemgrenze und Modellumfang | 134 |
| 5.2.3.2 | Modelleigenschaften, Modellabstraktion und Modellstrukturierung | 135 |
| 5.2.3.3 | Verifizierung und Validierung des Modells | 135 |
| 5.2.4 | Spezifikation der Simulationsszenarien und Simulationsexperimente | 136 |
| 5.2.5 | Ergebnisdarstellung und Auswertung | 137 |
| 5.2.6 | Lieferumfang | 137 |
| 5.2.7 | Abnahmekriterien | 139 |
| 5.2.8 | Projektterminplan und Projektcontrolling | 139 |
| 5.2.9 | Projektumfeld | 139 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 6 | Datenmanagement für Simulationsanwendungen | 141 |
| 6.1 | Merkmale zur Beurteilung von Information | 142 |
| 6.2 | Aufgaben des Datenmanagements | 142 |
| 6.3 | Datenerhebung und Messen | 143 |
| 6.4 | Simulationsdatenbasis | 143 |
| 6.5 | Eingangsdaten für die Simulation | 144 |
| 6.5.1 | Technische Daten der Produktions- und Logistiksysteme | 146 |
| 6.5.1.1 | Fabrikstrukturdaten | 146 |
| 6.5.1.2 | Betriebsmitteldaten | 147 |
| 6.5.1.3 | Ausfälle, Fehler und Störungen von Ressourcen | 148 |
| 6.5.2 | Daten der Produktionsplanung und -steuerung | 149 |
| 6.5.2.1 | Produktbezogene Daten | 150 |
| 6.5.2.2 | Arbeitspläne | 150 |
| 6.5.2.3 | Systemlasten | 151 |
| 6.5.3 | Organisationsdaten | 151 |
| 6.5.4 | Kostendaten (optional) | 152 |
| 6.6 | Datenaufbereitung stochastischer Daten | 152 |
| 6.6.1 | Logiken von Anlagen- und Maschinensteuerungen | 153 |
| 6.7 | Ergebnisdaten | 154 |
| | | |
| 7 | Versuchsplanung, Simulationsdurchführung und Auswertung der Simulationsergebnisse | 155 |
| 7.1 | Statistische Experimentplanung | 156 |
| 7.2 | Experimentplan | 157 |
| 7.3 | Durchführung der Simulationsläufe | 158 |
| 7.4 | Auswertung der Simulationsergebnisse | 159 |
| 7.4.1 | Datenaufbereitung | 159 |
| 7.4.2 | Statistische Auswertung | 160 |
| 7.4.3 | Interpretation der Ergebnisdaten | 161 |
| 7.4.4 | Bewertung von Varianten | 162 |
| 7.5 | Grafische Darstellung von Simulationsergebnissen | 163 |
| | | |
| 8 | Optimierung mit Hilfe von Simulation | 171 |
| 8.1 | Grundsätzliche Vorgehensweise | 173 |
| 8.1.1 | Parameteroptimierung | 174 |
| 8.1.2 | Kombinatorische Optimierung und Reihenfolgenoptimierung | 175 |
| 8.2 | Gütefunktion zur Systembewertung | 175 |
| 8.3 | Optimierungsverfahren | 176 |
| 8.3.1 | Technik der iterativen Verbesserung | 176 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.3.2 | Rastersuche | 177 |
| 8.3.3 | Gradienten- und stochastische Verfahren | 177 |
| 8.3.4 | Genetische und evolutionäre Algorithmen | 179 |
| 8.4 | Auswahl eines geeigneten Optimierungsverfahrens | 181 |
| 8.5 | Kopplung von Simulation und Optimierung | 182 |
| 9 | Simulation als integriertes Werkzeug der Digitalen Fabrik | 185 |
| 9.1 | Planungsaspekte beim Einsatz von Simulation in der Digitalen Fabrik | 187 |
| 9.1.1 | Organisatorische Aspekte | 188 |
| 9.1.2 | Zeitliche Aspekte | 188 |
| 9.1.3 | Betriebswirtschaftliche Aspekte | 189 |
| 9.1.4 | Technische Voraussetzungen | 189 |
| 9.1.5 | Qualität der Ergebnisse | 190 |
| 9.1.6 | Psychologische Aspekte | 190 |
| 9.2 | Vorbereitungsphase | 191 |
| 9.2.1 | Analyse der Einsatzfelder | 191 |
| 9.2.2 | Istanalyse | 192 |
| 9.2.3 | Verfügbare Planungs- und Simulationswerkzeuge | 192 |
| 9.3 | Konzepterstellung | 193 |
| 9.3.1 | Definition der Planungsprozesse | 193 |
| 9.3.2 | Projektorganisation | 193 |
| 9.3.3 | Systemarchitektur | 195 |
| 9.3.4 | Personalqualifikation | 196 |
| 9.3.5 | Pilotanwendung | 196 |
| 9.3.6 | Konzeptbewertung | 197 |
| 9.4 | Umsetzung der Digitalen Fabrik | 197 |
| 9.5 | Systemisches Denken und Handeln | 198 |
| 9.5.1 | Vernetztes Denken | 198 |
| 9.5.2 | Denken in Modellen | 199 |
| 9.5.3 | Dynamisches Denken | 200 |
| 9.5.4 | Systemgerechtes Handeln | 201 |
| 10 | Softwarewerkzeuge | 203 |
| 10.1 | Klassifikation von Simulationswerkzeugen | 203 |
| 10.1.1 | Simulatoren auf Sprachkonzeptebene | 203 |
| 10.1.2 | Bausteinsimulatoren | 204 |
| 10.1.3 | Multi-Level-Simulatoren | 205 |
| 10.1.4 | Softwaretechnologie | 206 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 10.2 | Historische Entwicklung der Fabriksimulatoren | 207 |
| 10.3 | Digital Factory Solution von DELMIA | 209 |
| 10.3.1 | Produkt- und Prozessstrukturierung, Fertigungsgestaltung, Logistik und Optimierung | 213 |
| 10.3.1.1 | DELMIA Process Engineer | 213 |
| 10.3.1.2 | DELMIA Layout Planner | 216 |
| 10.3.1.3 | DELMIA QUEST | 217 |
| 10.3.2 | Dynamische Ergonomieuntersuchungen | 220 |
| 10.3.2.1 | DELMIA Human Builder | 221 |
| 10.3.2.2 | DELMIA Human Measurements Editor | 222 |
| 10.3.2.3 | DELMIA Human Posture Analysis | 223 |
| 10.3.2.4 | DELMIA Human Task Simulation | 223 |
| 10.3.2.5 | DELMIA Human Activity Analysis | 224 |
| 10.3.3 | Teilefertigung | 225 |
| 10.3.3.1 | DELMIA Virtual NC | 225 |
| 10.3.4 | DELMIA DPM V5 Machining | 226 |
| 10.3.5 | Robotik | 226 |
| 10.3.5.1 | DELMIA PLM V5 Robotics Simulation | 226 |
| 10.3.5.2 | DELMIA UltraArc | 229 |
| 10.3.5.3 | DELMIA UltraSpot | 230 |
| 10.3.5.4 | DELMIA UltraPaint | 230 |
| 10.3.5.5 | DELMIA UltraGrip | 230 |
| 10.3.6 | Automatisierungstechnik | 231 |
| 10.3.6.1 | DELMIA V5 Automation | 231 |
| 10.3.6.2 | DELMIA V5 Automation LCM Studio | 231 |
| 10.3.6.3 | DELMIA V5 Automation Smart Device Builder | 231 |
| 10.3.6.4 | DELMIA V5 Automation Controlled System Simulator | 231 |
| 10.3.7 | Geometrieorientierte Montageplanung | 232 |
| 10.3.7.1 | DELMIA V5 DPM Assembly | 232 |
| 10.3.8 | Operative Produktionsplanung | 234 |
| 10.3.8.1 | DELMIA V5 DPM Shop | 234 |
| 10.3.9 | Integration und Managementinformationssystem | 236 |
| 10.3.9.1 | PPR Hub | 236 |
| 10.4 | Digital Factory Solution von UGS | 237 |
| 10.4.1 | Fabriklayout Logistik und Optimierung | 240 |
| 10.4.1.1 | FactoryCAD | 241 |
| 10.4.1.2 | FactoryFLOW | 242 |
| 10.4.1.3 | FactoryMockup | 244 |
| 10.4.1.4 | Plant Simulation | 245 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 10.4.1.5 | eMPower for Logistics | 247 |
| 10.4.1.6 | Process Designer | 248 |
| 10.4.2 | Ergonomieuntersuchungen | 250 |
| 10.4.2.1 | Jack Human Simulation | 251 |
| 10.4.2.2 | Jack/Jill | 252 |
| 10.4.3 | Teilefertigung | 252 |
| 10.4.3.1 | Machining Line Planner | 252 |
| 10.4.3.2 | RealNC | 254 |
| 10.4.3.3 | Die Verification | 256 |
| 10.4.4 | Robotik und Steuerungsprogrammierung | 257 |
| 10.4.4.1 | Robcad PC | 257 |
| 10.4.4.2 | Spot | 259 |
| 10.4.4.3 | Process Simulate Commissioning | 260 |
| 10.4.5 | Montageplanung | 262 |
| 10.4.5.1 | Assembly Process Planner | 262 |
| 10.4.5.2 | Process Simulate | 262 |
| 10.4.5.3 | eMPower Box Build Planning | 264 |
| 10.4.6 | Operative Produktionsplanung | 265 |
| 10.4.6.1 | Sequencer | 265 |
| 10.4.6.2 | Work Instructions | 266 |
| 10.4.7 | Produktionsmanagement | 267 |
| 10.4.7.1 | FactoryLink | 268 |
| 10.4.7.2 | Xfactory | 269 |
| 10.4.8 | Integration und Managementinformationssystem | 271 |
| 10.4.8.1 | Teamcenter Community | 272 |
| 10.4.8.2 | Teamcenter Engineering | 272 |
| 10.4.8.3 | Teamcenter Enterprise | 272 |
| 10.4.8.4 | Teamcenter In-Service | 273 |
| 10.4.8.5 | Teamcenter Manufacturing | 273 |
| 10.4.8.6 | Teamcenter Project | 273 |
| 10.4.8.7 | Teamcenter Requirements | 273 |
| 10.4.8.8 | Teamcenter Sourcing | 273 |
| 10.4.8.9 | Teamcenter Visualization | 273 |
| 10.5 | Weitere Fabriksimulationswerkzeuge | 274 |
| 10.5.1 | Arena | 275 |
| 10.5.2 | AutoMod | 276 |
| 10.5.3 | AutoSched/AutoSched AP | 277 |
| 10.5.4 | Enterprise Dynamics | 277 |
| 10.5.5 | Flexsim | 278 |

| | | |
|---|---|------------|
| 10.5.6 | ProModel..... | 278 |
| 10.5.7 | WITNESS..... | 279 |
| 11 | Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik | 281 |
| 11.1 | Wahrscheinlichkeit | 281 |
| 11.2 | Zufallsvariable..... | 282 |
| 11.2.1 | Diskrete Zufallsvariablen | 282 |
| 11.2.2 | Kontinuierliche Zufallsvariablen | 282 |
| 11.3 | Wahrscheinlichkeitsverteilung..... | 283 |
| 11.4 | Kennzahlen | 283 |
| 11.5 | Stochastische Verteilungen für Simulationsanwendungen | 286 |
| 11.6 | Gleichverteilung (diskret) | 287 |
| 11.6.1 | Beispiel Würfeln..... | 288 |
| 11.7 | Gleichverteilung (kontinuierlich)..... | 289 |
| 11.8 | Normalverteilung | 290 |
| 11.9 | Logarithmische Normalverteilung | 292 |
| 11.10 | Exponentialverteilung | 295 |
| 11.11 | Weibull-Verteilung | 296 |
| 11.12 | Pearson Type V | 298 |
| 11.13 | Dreiecksverteilung..... | 300 |
| 11.13.1 | Anwendung von Verteilungen | 301 |
| 11.14 | Methoden der statistischen Datenanalyse | 302 |
| 11.14.1 | Parameterabschätzung | 302 |
| 11.14.2 | Goodness-of-Fit-Tests..... | 303 |
| 11.14.3 | Chi-Square-Test..... | 304 |
| 11.14.4 | Kolmogorov-Smirnov-Test | 304 |
| 11.15 | Statistische Absicherung von Simulationsergebnissen | 306 |
| 11.15.1 | Analyse zur Ermittlung des eingeschwungenen Zustandes | 306 |
| 11.15.2 | Analyse der Ergebnisse eines einzelnen Systems | 308 |
| 11.15.3 | Vergleich alternativer Systemkonfigurationen | 308 |
| 11.16 | Tabelle t -Verteilung | 310 |
| 11.17 | Verwendete Formelzeichen..... | 312 |
| Materialien für die Praxis | | 313 |
| 12 | Lastenheft und Ausschreibungsunterlage | 315 |
| 12.1 | Spezifikation der Anforderungen | 317 |
| 12.1.1 | Aufgabenstellung und Zielsetzung der Simulation | 317 |
| 12.1.2 | Layout und Systemgrenzen..... | 317 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 12.1.3 | Technische Daten der Produktions- und Logistikmodule | 318 |
| 12.1.4 | Materialfluss | 319 |
| 12.1.4.1 | Blockschaltbild | 320 |
| 12.1.4.2 | Transportmatrix | 321 |
| 12.1.5 | Anforderungen an das Modell | 322 |
| 12.1.5.1 | Systemgrenzen/Modellierungsebenen/Abstraktionsgrad | 322 |
| 12.1.5.2 | Parametrisierung/Modellmodifikationen | 323 |
| 12.1.5.3 | Auswertemöglichkeiten | 324 |
| 12.1.5.4 | Verifizierung des Modells | 325 |
| 12.1.5.5 | Validierung des Modells | 325 |
| 12.1.6 | Zu untersuchende Szenarien und Simulationsexperimente | 325 |
| 12.1.6.1 | Experimentplanung | 327 |
| 12.1.6.2 | Experimente und Versuchsdurchführung | 327 |
| 12.1.7 | Anforderungen an die Auswertung und Ergebnisdarstellung | 328 |
| 12.1.8 | Anforderung an den Lieferumfang | 329 |
| 12.1.8.1 | Simulationsuntersuchung | 329 |
| 12.1.8.2 | Dokumentation | 331 |
| 12.1.8.3 | Schulung zur Nutzung der erstellten Simulation | 334 |
| 12.1.9 | Modellintegration | 334 |
| 12.1.10 | Projektterminplan | 335 |
| 12.2 | Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Leistungserstellung | 336 |
| 12.2.1 | Eingangsdaten für die Simulation | 336 |
| 12.2.1.1 | Fabrikstruktur/Layoutdaten/Materialfluss | 337 |
| 12.2.1.2 | Technische Daten der Anlagenkomponenten | 337 |
| 12.2.1.3 | Transportmitteldaten/Fördertechnik | 338 |
| 12.2.1.4 | Steuerungslogiken | 338 |
| 12.2.1.5 | Produktdaten | 339 |
| 12.2.1.6 | Prozessbeschreibungen, Arbeitspläne | 339 |
| 12.2.1.7 | Systemlastdaten/Mengen und Termine | 339 |
| 12.2.1.8 | Organisationsdaten | 340 |
| 12.2.1.9 | Zu untersuchende Szenarien | 343 |
| 12.2.1.10 | Schnittstellen | 343 |
| 12.2.2 | Vorhandene Planungsergebnisse | 344 |
| 12.2.3 | Simulationswerkzeuge und Bausteinbibliotheken | 344 |
| 12.2.4 | Entwicklungs- und Qualitätsvorgaben | 344 |
| 12.3 | Anforderungen an den Simulationsdienstleister | 345 |
| 12.4 | Anforderungen an das Projektmanagement | 346 |
| 12.5 | Vertragliche Konditionen | 346 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 12.5.1 | Abnahmekriterien | 346 |
| 12.5.2 | Rechte am Modell..... | 346 |
| 12.5.3 | Vertraulichkeit, Rückgabe, Copyright | 347 |
| 12.6 | Zuständigkeiten, Ansprechpartner und Planungsumfeld | 347 |
| 12.6.1 | Organisationsstruktur des Auftraggebers..... | 347 |
| 12.6.2 | Rückfragen zu den Ausschreibungsunterlagen..... | 349 |
| 12.6.3 | Angebotsabgabe | 349 |
| 12.6.4 | Geschäftsbedingungen | 349 |
| 13 | Leitfaden für Simulationsprojekte | 351 |
| 13.1 | Spezifikation und Dokumentation..... | 351 |
| 13.2 | Vorgehensmodell für den Projektablauf | 352 |
| 13.3 | Modellierungsrichtlinie | 356 |
| 13.3.1 | Allgemeines zur Modellierung..... | 356 |
| 13.3.2 | Modell- und Ordnernamen | 357 |
| 13.3.3 | Dateibezeichnung..... | 357 |
| 13.3.4 | Modellstruktur | 357 |
| 13.3.5 | Aufbau der Klassenbibliothek | 357 |
| 13.3.6 | Aufbau der Modellnetzwerke | 359 |
| 13.3.7 | Datenverwaltung | 362 |
| 13.4 | Programmierrichtlinie | 363 |
| 13.4.1 | Allgemeines zur Programmierung..... | 363 |
| 13.4.2 | Methodendokumentation..... | 363 |
| 13.4.3 | Variablenbenennung..... | 364 |
| 13.5 | Richtlinie Simulationsdurchführung | 365 |
| 13.5.1 | Experimentplan | 365 |
| 13.5.2 | Verwendung von stochastischen Verteilungen (Seed-Werten)..... | 365 |
| 13.6 | Voraussetzungen | 366 |
| 13.6.1 | Einzusetzende Softwarewerkzeuge..... | 366 |
| 13.6.2 | Organisation, Zuständigkeiten und Ansprechpartner..... | 366 |
| 13.6.3 | Gültigkeit dieser Richtlinie | 367 |
| 14 | Checklisten | 369 |
| 14.1 | Checkliste Simulationsstudien..... | 369 |
| 14.2 | Checkliste zur Leistungsbeschreibung des Lastenheftes..... | 374 |
| 14.3 | Checkliste zur Leistungsbeschreibung des Pflichtenheftes..... | 375 |
| 14.4 | Checkliste Eingangsdaten für die Simulation | 377 |
| 14.5 | Checkliste Simulationsdokumentation | 380 |
| 14.6 | Checkliste zur Abnahme von Simulationsstudien | 383 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 14.7 | Checkliste Simulatoreauswahl | 385 |
| 14.7.1 | Simulationsprinzip..... | 387 |
| 14.7.2 | Größe und Struktur der Modelle | 387 |
| 14.7.3 | Modellierung | 388 |
| 14.7.4 | Modellelemente..... | 388 |
| 14.7.5 | Bausteinbibliotheken und Applikationsmodule | 389 |
| 14.7.6 | Steuerungen und Informationsverarbeitung | 390 |
| 14.7.7 | Modellparameter – stochastische Verteilung..... | 391 |
| 14.7.8 | Funktionalitäten zur Bewegungssimulation..... | 392 |
| 14.7.9 | Einschränkungen bei der Modellierung | 393 |
| 14.7.10 | Modelldokumentation..... | 394 |
| 14.7.11 | Unterstützung bei Verifikation und Validierung..... | 394 |
| 14.7.12 | Organisation von Simulationsexperimenten und Optimierung | 395 |
| 14.7.13 | Durchführung von Simulationsläufen | 396 |
| 14.7.14 | Laufbetrachtung und Visualisierung | 397 |
| 14.7.15 | Ergebnisbewertung und Ergebnisdarstellung | 398 |
| 14.7.16 | Systemintegration und Schnittstellen | 399 |
| 14.7.17 | Benutzerschnittstelle..... | 400 |
| 14.7.18 | Systemanforderungen..... | 400 |
| 14.7.19 | Schulung und Service..... | 401 |
| 14.7.20 | Kosten | 402 |
| 14.7.21 | Softwareanbieter..... | 403 |
| 15 | Weiterführende Informationen | 405 |
| 15.1 | Glossar..... | 405 |
| 15.2 | Abkürzungsverzeichnis | 421 |
| 15.3 | Schnittstellen und Datenaustauschformate | 427 |
| 15.4 | Anbieter von Simulationssoftware | 431 |
| 15.5 | Organisationen | 435 |
| 15.6 | Regelmäßige Konferenzen..... | 437 |
| 15.7 | Technische Regeln, Literatur und Links | 438 |
| 15.7.1 | Technische Regeln | 438 |
| 15.8 | Literatur..... | 440 |
| | Stichwortverzeichnis..... | 467 |