

6. Simulationsanwendung und -praxis

GLIEDERUNG

- 6.1 Simulation von Produktionssystemen**
- 6.2 Fallstudie aus der Simulationspraxis: Analyse eines Flexiblen Fertigungssystems**
- 6.3 Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung**

Literatur:

J. Kosturiak, M. Gregor: Simulation von Produktionssystemen.
Springer Verlag 1995, Kap. 5, Kap. 6.6, Kap. 4.2

6.1 Simulation von Produktionssystemen

- **Produktionssysteme wichtigster Anwendungsbereich der Simulationstechnik in der Praxis**

6.2.1 Produktionssysteme als Objekte der Modellierung

- **Wichtige Teilsysteme bei der Abbildung eines Produktionssystems in einem Modell:**
 - (1) Bearbeitungs- bzw. Montagesystem**
 - = alle Einrichtungen, die am Produkt eine Operation durchführen
 - » **Beispiele:** Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen, Prüfmittel

Simulation von Produktionssystemen

- **Wichtige Teilsysteme bei der Abbildung eines Produktionssystems in einem Modell:**

(2) Materialflußsystem

- = Alle Einrichtungen, die als Fördermittel zum Transport bzw. zur Lagerung notwendig sind
- » Beispiele: Fahrzeuge, Paletten, Greifer, ...

(3) Informationssystem

- = Alle Einrichtungen zum Speichern, Bearbeiten und Versenden von Informationen zur Abwicklung der Fertigungsablaufs
- » Beispiele: Rechner, Datenträger, Steuerungsprogramme

Simulation von Produktionssystemen

Klassifikation der Elemente der Teilsysteme:

- **Dynamische Elemente**
 - bewegen sich im Zeitverlauf durch das Modell und lösen Systemzustandsänderungen aus
- **Stationäre Elemente**
 - führen im Kontakt mit dynamischen Elementen Aktivitäten aus
- **Schnittstellenobjekte**
 - ermöglichen dynamischen Elementen die Verbindung zur Umwelt
- **Allgemeine Modellstruktur eines Produktionssystems**
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 41, S. 72

Simulation von Produktionssystemen

Beschreibung der Elemente der Teilsysteme:

• Dynamische Modellelemente

- Bearbeitungsobjekte bestimmen Modelldynamik
 - » Bewegliche Objekte eines Bearbeitungssystems
 - » Aktivierung anderer Modellelemente durch Kontakt mit diesen
 - » Selbst im passiven Zustand, wenn Aktivitäten an ihnen durch andere Elemente ausgeführt werden
 - » Beispiele: Aufträge, Produkte, Werkstücke
- Dynamische Materialflusselemente
 - » Zum Transport der bearbeitungsobjekte zwischen stationären Elementen
- Dynamische Informationselemente
 - » Nachrichten oder Datensätze, die Ereignisse auslösen und erzeugt, vernichtet und kopiert werden können

Simulation von Produktionssystemen

• Dynamische Modellelemente, Forts.

- Übersicht über dynamische Modellelemente
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 43, S. 73
- Beschreibung der Modellelemente durch Attribute bzw. Parameter
 - » Beispiel: Produkt
 - » Attribute: Priorität, Länge, Menge, Arbeitsplan, Auftragsliste...

• Stationäre Modellelemente

- nehmen Bearbeitungsobjekte auf, ändern ihren Zustand und geben Objekte wieder frei an das Modell
- Stationäre Materialflusselemente
 - » Beförderung von Bearbeitungsobjekten (Fördermittel)
 - » Aufnahme für bestimmte Zeit ohne Zustandsänderung (Puffer)
 - » Räumliche Verbindung zwischen unterschiedlichen Modellelementen (Transportwege)

Simulation von Produktionssystemen

- **Stationäre Modellelemente, Forts.**

- Stationäre Informationselemente

- » Lokale Steuerungen:

- Steuerung des Prozessablaufes in den einzelnen Modellelementen

- » Globale Steuerungen:

- Bestimmung des ganzen Durchlaufs der Bearbeitungsobjekte durch das Modell

- Abbildung der Logik der Fertigungssteuerung

- » Unterbrechungen der Arbeit der Modellelemente:

- » Geplante Unterbrechungen

- Beispiele: Werkzeugwechsel, Pausen, Wartung, ...

- » Ungeplante Unterbrechungen

- Zufällige Störungen

Stationäre Modellelemente in Produktionssystemen

- **Stationäre Informationselemente**

- Darstellungsformen von Steuerungen in Simulationsmodellen

- » Mathematische Funktionen und statistische Verteilungen

- Beispiele: Operationszeit, Zwischenankunftszeiten von Störungen,...

- » Steuerungsprogramme

- Globale Steuerungen
 - Verteil- und Zusammenführungssteuerungen

- » Entscheidungstabellen

- Lokale Steuerungen

- **Übersicht über stationäre Modellelemente**

- s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 44, S. 76

Modellelemente von Produktionssystemen

- **Schnittstellenelemente**

- Definierte Generierungsstrategie für Eintritt der Objekte in das System
- *Quelle* für Erzeugung der Modellobjekte
 - » Konstanter Takt
 - » Zufälliger Takt
 - » Produktionsplan
- Ausschleusung der Objekte aus dem System durch *Senke*

6.2.2 Probleme moderner integrierter Produktionssysteme

- In heutigen Produktionssystemen viele hoch automatisierte Betriebsmittel integriert
- Integrationseffekte in modernen Produktionssystemen
 - Zwei Extreme der Betriebszustände von Produktionssystemen
 - (1) Hohe Auslastung der Systemkomponenten bei gleichzeitig
 - » hohen Beständen,
 - » langen Durchlaufzeiten,
 - » breiter Terminstreuung,
 - » mangelnder Flexibilität.
 - » Blockierungseffekt
 - » Geringer Integrationsgrad
 - » Teilweise Überproduktion

Systemauslastung = $\frac{\text{Bearbeitungszeit}}{\text{Bearbeitungszeit} + \text{Maschinenwartezeit}}$

MAXIMUM --> Maschinenwartezeit = 0

Probleme moderner integrierter Produktionssysteme

- **Integrationseffekte in modernen Produktionssystemen**
 - Zwei Extreme der Betriebszustände von Produktionssystemen
 - (2) Kurze Durchlaufzeiten mit niedriger Systemauslastung
 - » Integrationseffekt
 - » Niedrige Produktionseffizienz

Durchlaufzeit = Bearbeitungszeit +
Transportzeit + Auftragswartezeit

MINIMUM --> Auftragswartezeit = 0

- **Simulation zur Bestimmung der optimalen Lösung zwischen beiden Extremen**

Probleme moderner integrierter Produktionssysteme

Weitere Aspekte der Produktionssysteme:

- **Stochastische Verzögerungsketten**
 - Serielle Prozesse mit stochastischen, verketteten Aktivitäten
- **Koordination paralleler Produktionsprozesse**
 - Bei Abhängigkeit Notwendigkeit zur Koordination
- **Stochastische Verzögerungsketten und parallele Prozesse und ihre Koordination**
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 48, S. 86
- **Simulationstechnik gut geeignet zur Analyse stochastischer Verzögerungsketten und paralleler Produktionsprozesse**

6.2.3 Analyse und Planung von Produktionssystemen mit Hilfe der Simulation

- **Planungsphase**

- Vor der Realisierung des Produktionssystems
- Analyse des dynamischen Systemverhaltens
- Ermittlung genauerer Planungsaussagen

- **Realisierungs- und Betriebsphase**

- Bessere Analyse bestehender Systeme
- Aufdeckung von Engpässen
- Testen von Verbesserungsmaßnahmen
- Einsatz über gesamte Lebenszeit eines Produktionssystems
- Kontinuierliche Modellanpassung erforderlich
 - » Gute Anpassbarkeit der Simulationsmodelle
 - Objektorientierte Simulationssoftware

Analyse und Planung von Produktionssystemen mit Hilfe der Simulation

- **Aufgabenspektrum der Simulationstechnik in der Planung von Produktionssystemen**

- dynamische Dimensionierung von Systemkomponenten
 - » Vermeidung von Überdimensionierungen
 - » Engpaßanalyse
- Schnelle Variantenbildung und -beurteilung
- Optimale Auslegung des Material- und Informationsflusses
- Testen von Steuerungsstrategien
- Simulationsunterstützte Inbetriebnahme

Laufende Produktionsplanung mit Hilfe der Simulation

- **Simulation als Instrument für die laufende Produktionsplanung und -steuerung**
 - Anpassung der Produktionssysteme an sich kurz- und mittelfristig ändernde Bedingungen erforderlich
 - » Schnelle Analyse gegenwärtiger und zukünftiger dynamischer Situationen in der Produktion
 - Herkömmliche Methoden und Werkzeuge für die Produktionsplanung und -steuerung mit Schwachstellen
 - » PPS-Systeme
 - » Mangelhafte Zeitplanung und Auftragsterminierung
 - » Fehlerhafte Produktionspläne und Terminierung
 - » Nicht adäquate Kapazitäten und Bestände

Laufende Produktionsplanung mit Hilfe der Simulation

- **Einsatz der Simulationstechnik**
 - Verarbeitung aktueller Auftragsdaten mit vorgegebenen Ressourcen im Simulationsmodell
 - Realitätsnahe Disposition der aktuellen Aufträge über systematische Variation von Kapazitäten und Reihenfolgen
 - Simulane Termin- und Kapazitätsplanung
- **Simulation des gesamten Fertigungsablaufes im Voraus**
 - Mehrere Tage oder Wochen
 - Berücksichtigung begrenzter Ressourcen
 - » Maschinen, Personen, Werkzeuge,...
 - Berücksichtigung technologischer Rahmenbedingungen
 - » Arbeitspläne, Operationen

Laufende Produktionsplanung mit Hilfe der Simulation

- **Simulation des gesamten Fertigungsablaufes im Voraus, Forts.**
 - Realitätsnahe Modellierung alternativer Steuerungsstrategien im Hinblick auf
 - » Durchlaufzeit und Kapazitätsauslastung
 - » Termintreue und Bestände
 - Typische Fragestellungen
 - » Auftragsannahme möglich bei aktueller Kapazitätsauslastung und Auftragsdisposition
 - » Neuplanung von Fertigungsaufträgen bei Maschinenausfall
 - » Verzögerung anderer Aufträge und Zusatzkosten durch Hereinnahme eines Eilauftrages
 - » Auswirkungen der Kapazitätserhöhung einer Maschine auf andere Auslastungen, Bestände und Termineinhaltung

Laufende Produktionsplanung mit Hilfe der Simulation

- **Datenproblematik**
 - Hoher Aufwand der Datenerfassung und -aufbereitung von Eingabedaten für Simulationsmodelle von Produktionssystemen
 - Laufende Aktualisierung sehr zeit- und kostenintensiv
 - Simulationsdaten und ihre Quellen
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 49, S. 88
- **Integration der Simulation mit den Produktions-Informationssystemen**
 - Automatische Übertragung und Vorbereitung der Eingabedaten möglich
 - Schnelle Datenaktualisierung
 - Gemeinsame Verwendung der Daten in der gesamten Planungskette

Analyse und Planung von Produktionssystemen mit Hilfe der Simulation

- **Fazit:**

Simulation kann Starrheit und Determinismus bisheriger Planungs- und Steuerungssysteme in der Produktion (PPS) überwinden helfen

==> PPS-Systeme mit Simulationsunterstützung

6.2 Fallstudie aus der Simulationspraxis: Analyse eines Flexiblen Fertigungssystems

- **Demonstration der einzelnen Schritte eines Simulationsprojektes anhand eines Praxisbeispiels**

6.2.1 Ausgangssituation

- **Analyse eines flexiblen Fertigungssystems (FFS) in dem Produktionsunternehmen ABC-AG**
 - **Aufbau des FFS**
 - » **6 Arbeitsstationen**
 - » **1 Handhabungsroboter**
 - » **Beförderung der Aufträge mit fahrerlosem Transportsystem**
 - » **Verbindung der Arbeitstationen mit Spuren (<- FTS)**
 - » **3 verschiedene Auftragsarten:**
 - » **Eigene Prozessfolgen, eigene Bearbeitungszeiten**

Ausgangssituation: Flexibles Fertigungssystem

- **Layout des FFS**

- s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 84, S. 138

- **Kostenanalyse des Produktionsprogramms**

- 70% der jährlichen Herstellungskosten durch 3 Produktgruppen

- **Auswahl von Repräsentativwerkstücken für die 3 Gruppen**

- Modellvereinfachung
- Auswahlkriterien:
 - » Hoher zeitlicher Produktionsanteil innerhalb der Teilefamilie
 - » Charakteristische Losgröße

6.2.2 Problemstellung und Zielformulierung der Simulationsstudie

- **Mängel in der Fertigung der ABC-AG**

- Schlechte Lieferfähigkeit
- Lange Durchlaufzeiten und breite Streuung
- Zu lange Lieferzeiten
- nicht synchronisierte Fertigung

- **Absatzmöglichkeiten für die zweifache Menge der 3 Grundprodukte am Markt**

- Erhöhung des Durchsatzes der Produktion
- Verkürzung der Durchlaufzeiten
- Verbesserung der Lieferfähigkeit

Problemstellung und Zielformulierung der Simulationsstudie

- **Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Fertigungssystems**
 - Anschaffung zusätzlicher Fahrzeuge (FTS)
 - Erhöhung des Teileausstoßes aus dem Lager
 - Verbesserung der Planschiebermaschine
 - Verbesserung der Waschmaschine
 - Verbesserung einer Fräsmaschine
 - Verbesserung der Drehmaschine
 - Einführung des 3-Schichtbetriebes
- **Auswahl geeigneter Maßnahmen durch Anwendung**
 - der Simulationstechnik und
 - der Wirtschaftlichkeitsrechnung
 - » Kosten-/ Nutzen-Vergleich

Zielformulierung der Simulationsstudie

- **Hauptziel:**
 - Verbesserung der Effektivität des untersuchten FFS
- **Teilziele:**
 - Durchlaufverkürzung auf ca. 1/3
 - Verdoppelung des Ausstoßes
- **Hierarchie der Simulationsziele**
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 86, S. 140
- **Definition der Leistungskennzahlen zum Vergleich der einzelnen Simulationsvarianten**
 - Durchlaufzeiten
 - Durchsatz

Festlegung der Ressourcen

- **Verfügbarer Zeitraum, Budget, Ressourcen für die Simulationsstudie**
 - 2 Monate Projektlaufzeit
 - Kostengrenze = 80.000 DM
 - Kein internes Simulations-Know How und Simulationssoftware verfügbar
 - » Externe Beratungsfirma
 - » Kommerzielle Simulationssoftware SIMPLE++

6.2.3 Datenerhebung und -aufbereitung

- **Datenerfassung im Produktionsprozess**
 - Prüfung auf Vollständigkeit und Genauigkeit
 - Beschreibung der einzelnen Repräsentativ-Werkstücke
 - » Eigene Bearbeitungsreihenfolge
 - » Spezifische Operationen/ Arbeitsgänge
 - » Arbeitspläne
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 87, S. 141
 - » Fertigungsaufträge
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 88, S. 141
 - Erfassung der Distanzen zwischen den Arbeitsplätzen
 - » Layout des FFS
 - Daten des fahrerlosen Transportsystems
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 89, S. 142
 - Daten der Kostenanalyse
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 90, S. 142

Datenerhebung und -aufbereitung

6.3.4 Aufbau des Simulationsmodells

- Entwicklung des formalen Modells und des Computer-Modells in enger Verknüpfung
- Einsatz eines anwendungs- bzw. systemspezifischen Simulationswerkzeuges
 - » **SIMPLE++**
 - » Speziell für Produktionssysteme
 - » Standardbausteine für typische Systemobjekte
 - » Animationsfunktionen
- Anwendung der Modellkonzeption und Nutzung der vordefinierten Bausteine schon beim formalen Modell
 - » Häufige Vorgehensweise bei der Nutzung anwendungsspezifischer Simulationssoftware

Aufbau des Simulationsmodells

- **Arbeitsschritte beim Modellaufbau mit dem Simulationssystem SIMPLE++**
 - Abbildung der Arbeitsplätze im Modell mit Basisbausteinen *Einzelplatz* und *Maschine*
 - » **SIMPLE++ - Bausteinbibliothek**
 - Erzeugung der Fertigungsaufträge mit dem Baustein *Quelle*
 - Transportsystem aus den Bausteinen
 - » *Weg, Fahrzeug, Schnittstelle,*
 - » *Transportsteuerung, Fertigungssteuerung*
 - Roboter als Objekt *Einzelplatz* modelliert
 - Abbildung der Rollenbahn mit Baustein *St austrecke*
 - Definition der Verbindungen zwischen den Modellelementen
 - Formulierung der Tabelle der Arbeitspläne

Aufbau des Simulationsmodells

- **Arbeitsschritte bei der Implementierung des Computer-Modells mit dem Simulationssystem SIMPLE++**
 - Realisierung der Modellelemente in Form von Modellbausteinen im Simulationsprogramm
 - Implementierung der Methoden zur Aktivierung der einzelnen Maßnahmen
 - Eingabe der grafischen Symbole der Modellelemente für die Animation
 - s. Simulation von Produktionssystemen. Abb. 90, S. 142
 - Testen von Modellteilen und des Gesamtmodells

6.2.5 Simulationsexperimente

- **7 Maßnahmen zur Verbesserung des flexiblen Fertigungssystems**
 - Maßnahmen = Faktoren im Versuchsplan
 - Maßnahmenkatalog
 - s. Simulation von Produktionssystemen, Abb. 93, S. 145
- **Versuchsplanung**
 - Bei vollständigem Versuchsplan exponentieller Anstieg des Versuchsumfangs
 - Spezielle Versuchspläne mit reduziertem Versuchsumfang
 - » Reduktion auf 2 Faktorstufen
 - » 1. Faktorstufe = Wert für existierende Bedingung
 - » 2. Faktorstufe = Wert für potentielle Verbesserung
 - » Reduzierung der Faktorkombinationen

Simulationsexperimente

- **Unvollständiger Versuchsplan**

- Versuchsplan mit Verzicht auf Berücksichtigung aller Wechselwirkungen
- Berechnung der Effekte der einzelnen Faktoren (=Maßnahmen)
- Größte Effekte --> Haupteinflussgrößen
- Bestimmung der optimalen Faktorkombination nach Größe der Effekte
- Versuchsplan für FFS
 - s. Simulation von Produktionssystemen, Abb. 92, S. 144

- **Simulationsergebnisse**

- s. Simulation von Produktionssystemen, Abb. 94, S. 145
- s. Simulation von Produktionssystemen, Abb. 95, S. 146

6.2.6 Ergebnisauswertung und -interpretation

- **Statistische Auswertung und Interpretation der Simulationsergebnisse**

- Einsatz grafischer und statistischer Methoden
- Interpretation der Ergebnisse vor dem Hintergrund guter Kenntnisse des Realsystems/ Anwendungsgebiets
- Versuch Nr. 5 mit bestem Ergebnis:
 - » A+, B-, C+, D-, E+, F-, G+
- Bewertung der Simulationsergebnisse über Kosten
 - » Kostenmässige Auswertung der Simulationsergebnisse
 - s. Simulation von Produktionssystemen, Abb. 97, S. 147
 - » Gesamtnutzen der durch Maßnahmen erzielten Verbesserungen von 13.660.000 DM pro Jahr

6.3 Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung

Erfolgreiche Anwendung der Simulationstechnik abhängig von verschiedenen Randbedingungen:

- **Richtiger Zeitpunkt für Simulationseinsatz**
 - Rechtzeitig zu Beginn der Planungsphase
 - Frühzeitige Vorlage von Simulationsergebnissen
 - Eingriffsmöglichkeiten in der Planung noch vorhanden
- **Realistische Einschätzung des Aufwandes**
 - Dauer, Ressourcen, Kosten
 - Geschätzter Aufwand im Produktionsbereich:
 - » unter 0,5% der durch Simulation beeinflussbaren Investitionssumme
 - » unter 10% der gesamten Planungskosten

Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung

- **Gute Fachkenntnisse in der Simulation und alternativer Techniken**
 - Analytische Lösungen als Alternative oft weniger aufwendig
 - Unterstützung durch externe Beratung
 - Erforderliche Kenntnisse
 - » Möglichkeiten und Grenzen der Simulation
 - » Methodische Simulationskenntnisse (einschl. Statistik)
 - » Kenntnisse über verfügbare Ressourcen:
Simulationsssoftware, Hardware, Fachleute
 - » Guten Einblick bzw. Erfahrungen bzgl. des zu modellierenden Systems:
z.B. Produktionsabläufe, Transportsystem, Fertigungssteuerung

Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung

- **Erforderliche Fachkenntnisse für eine erfolgreiche Simulationsstudie, Forts.**

- Kenntnisse über alternative Lösungsansätze
 - » Tabellenkalkulation, Optimierungsmethoden
 - » Warteschlangentheorie, statistische Analysemethoden

Weitere Randbedingungen für erfolgreiche Simulation

- **Angemessener Detaillierungsgrad**

- Abbildungsgenauigkeit abhängig von Zielsetzung
 - » “So ausführlich wie nötig, aber so vereinfacht wie möglich”
 - » Flucht in unnötige Details aufwendig, fehleranfällig und teuer !

- **Entsprechende Menge, Qualität und Form der Daten**

- Starke Abhängigkeit der Simulationsergebnisse von Datenqualität

Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung

- **Effektive Kommunikation**

- Überwindung der “Kommunikationsbarriere” zwischen Simulationsfachkraft und ProduktionsspezialistInnen
 - » Modellentwickler vs Modellanwender
- Akzeptanz über Vermittlung des Nutzens von Simulationsstudien

- **Geeignetes Simulationswerkzeug**

- Abbildungsmöglichkeiten
- Flexibilität
- Aufwand der Modellerstellung und Vorbereitung der Simulationsexperimente
- Kapazität
- Benutzungsfreundlichkeit
- Einarbeitungs- und Lernaufwand

Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung

- **Sorgfältige Modellvalidierung**
 - Vertrauenswürdigkeit der Simulationsmodells
- **Korrekte statistische Planung und Auswertung der Simulationsexperimente**
 - Simulationslänge, Stichprobenumfang, Versuchsplanung,
 - Schätzverfahren (Genauigkeit),..
- **Richtige Interpretation der Simulationsergebnisse**
 - Interpretation der Simulationsergebnisse als statistische Werte einer Stichprobe
 - Berücksichtigung aller Randbedingungen und Vereinfachungen
 - Inhaltliche Interpretation vor dem Hintergrund der Kenntnisse über das modellierte Realsystem

Anforderungen an eine erfolgreiche Simulationsanwendung

- **Gute Dokumentation der Simulationsstudie**
 - Ausführliche Dokumentation aller Schritte der Modellbildung
 - Modellannahmen, Rahmenbedingungen,
 - Ergebnisse, Ergebnisse, Interpretationen
 - Angemessene Darstellung und Vermittlung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der Simulationsstudie für die Anwender
- **Berücksichtigung der prinzipiellen Grenzen für erfolgreiche Simulationsstudien**
 - Bei kurzer Projektdauer und hohem Zeitdruck
 - Bei sehr großen Systemen, mit einer großen Anzahl ständig wechselnder Parameter-Kombinationen und bei vielen, sich überlagernden, sehr zufälligen Einflüssen und Randbedingungen
 - Bei mangelhafter Datenlage