

Simulation

Gegeben: Ausgangszustand, Modell,

Gesucht: Folgezustände

mögliche Schwerpunkte:

Auslastung (zeitliche Verweildauer)

Parameterwerte im Gleichgewichtszustand

Zustandsübergänge und Parameterverläufe

Anwendungsbereiche:

- Simulation von Fertigungsanlagen
- Simulation von Verkehrsflüssen
- Medizinische Simulationen (z.B. Herz-Kreislaufsystem)
- Auswirkungen von Umweltveränderungen
- Wettervorhersage
- Wirtschaftsprognosen

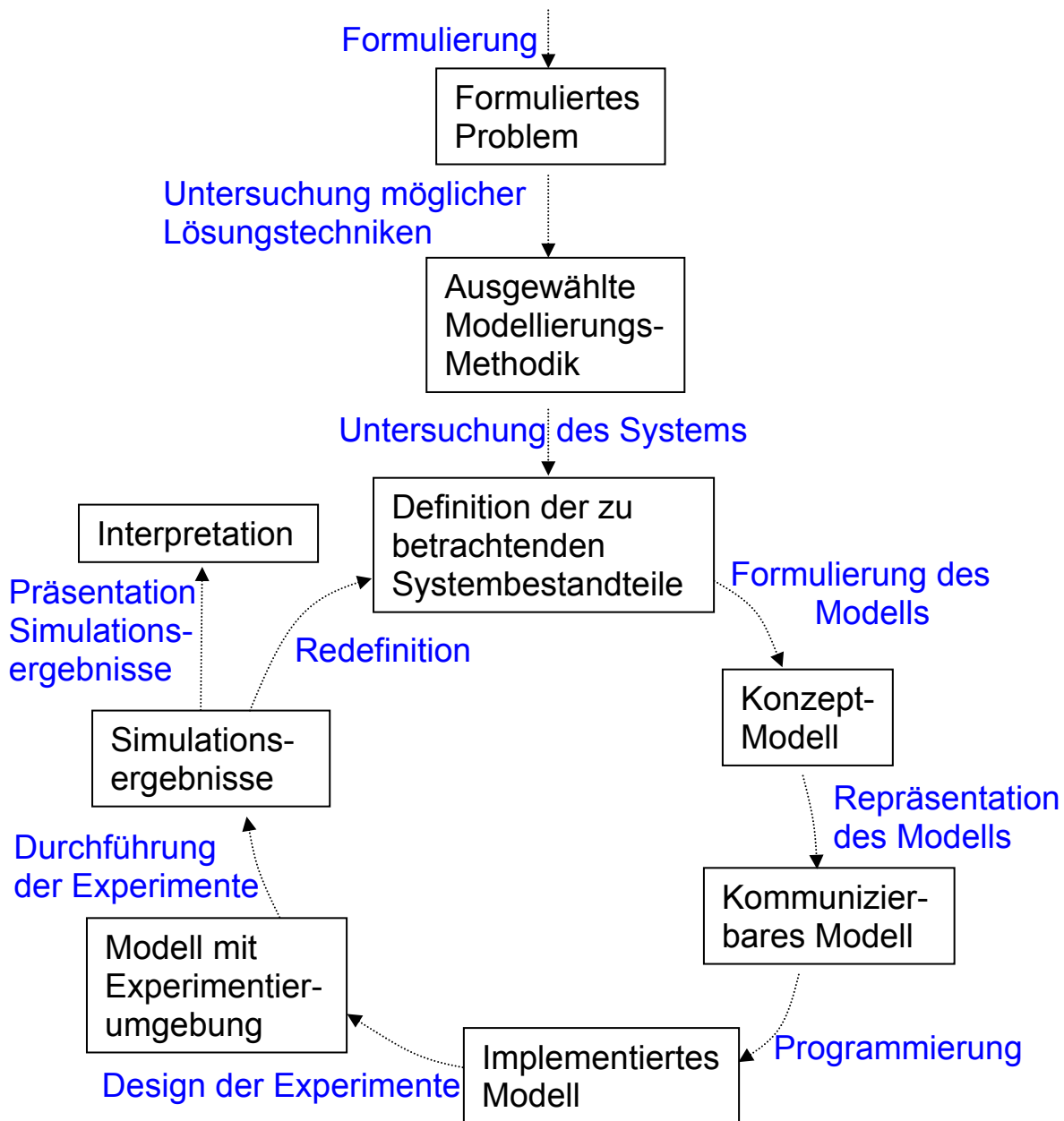
Interaktive Simulationen:

Flugsimulator

Autosimulator

Manöversimulator

Lebenszyklus einer Simulationsstudie



Literatur:

O. Balci (1994): Validation, Verification and Testing Techniques throughout the Life Cycle of a Simulation Study. Annals of the Operations Research, 53:121-173

Qualitätssicherung

- Validation
 - = Sicherstellen, dass sich das Modell innerhalb seines Anwendungsrahmens mit ausreichender Genauigkeit konsistent mit dem zu untersuchenden System verhält.
 - = „Building the right model“
- Verifikation
 - = Sicherstellen, dass das Modell von einer Form zur anderen wie beabsichtigt und mit ausreichender Genauigkeit transformiert wird.
 - = „Building the model right“

Verschiedene Ebenen der Validität

- Reproduzierend
Ausgangssystem und Modell besitzen ein äquivalentes Input-Output-Verhalten.
- Voraussagend
Synchronisation zwischen Ausgangssystem und Modell in einen äquivalenten Zustand möglich, d.h. eine äquivalente Vorhersage des zukünftigen Systemverhaltens ist möglich.
- Strukturell
Interne Zusammensetzung des Modells bildet eindeutig die Struktur des Ausgangssystems nach.

Ansätze zur Modellbildung

- **Deduktiv:** aufgrund von Kenntnissen und Einsicht über den Prozess, z.B. allgemeine Gesetze, Lehrmeinungen, Strukturwissen.
- **Induktiv:** aufgrund von Messdaten, Beobachtungen, Annahmen (häufig Einsatz statistischer Methoden bzw. von Lernverfahren)
- **Pragmatisch**

Dimensionen von Modellformen (1)

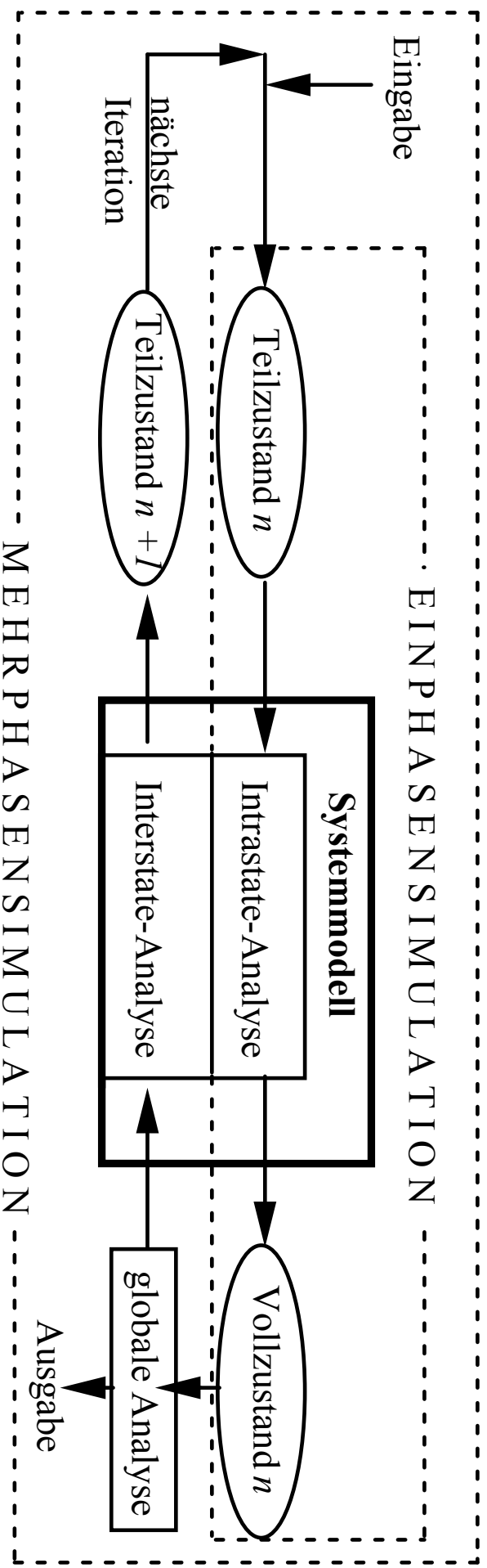
- In welchem Bildbereich wird Modell repräsentiert:
 - Realmodell
 - Mathematisches Modell
 - Computer-Simulationsmodell
- Art der vermuteten Zusammenhänge
 - Statisches Modell, reines Strukturmodell
 - Prozessmodell, d. h. Merkmale und Relationen sind zeitlich veränderbar. Untertypen:
 - Art der Zeitabhängigkeit:
 - Kinetische Modelle - Jedes Merkmal unabhängig von den anderen, aber zeitabhängig:
 - Dynamische Modelle - Alle Merkmale sind von ihrer gemeinsamen Vergangenheit abhängig.
 - Zeitstruktur:
 - Zeitkontinuierliche Modelle - Veränderungen können in beliebig kleinen Zeitintervallen geschehen
 - Zeitdiskrete Modelle - Veränderungen nur zu bestimmten Zeitpunkten.
 - Determiniertheit:
 - Deterministische Modelle: Jedes zukünftige Ereignis kann mit beliebiger Genauigkeit aus der Vergangenheit vorhergesagt werden
 - Stochastische Modelle: Für das Eintreten bestimmter zukünftiger Ereignisse kann i.a. eine Wahrscheinlichkeit angegeben werden:

Zeitdiskrete, dynamische, stochastische Modelle sind für die meisten praktischen Zwecke der allgemeinste Fall.

Dimensionen von Modellformen (2)

- Art der Funktionen zwischen den Merkmalen der Objekte, bzw. der zwischen Merkmalen und ihrer Vergangenheit:
 - Lineare Modelle
 - Nicht-Lineare Modelle
- Wertebereich der abgebildeten Merkmale
 - Metrische (quantitative) Modelle, - der Wertebereich der abgebildeten Merkmale ist äquivalent zu R
 - Qualitative Modelle - der Wertebereich ist endlich
 - Mischformen, Kombinationen von quantitativen und qualitativen Modellen sind möglich.
- Art der abgebildeten Objekte:
 - Makromodelle
Der Urbildbereich besteht nur aus einem einzigen Objekt, dessen Eigenschaften miteinander in Relation gesetzt und so untersucht werden.
 - Mikromodelle
Urbild und Bildbereich bestehen aus mehreren Objekten, von denen jeweils Eigenschaften und Relationen untereinander untersucht werden.
 - Mehrebenenmodelle
Objekte (eines Mikromodells) werden zu Aggregaten zusammengefasst und auf dieser Ebene wieder als Mikromodell betrachtet. Die Eigenschaften und Relationen dieser aggregierten Objekte ergeben sich (teilweise) aus den Eigenschaften und Relationen der zugrundeliegenden Objekte.
- Zweck der Modelle
 - Deskriptionsmodelle
 - Messmodelle
 - Prognosemodelle
 - Entscheidungsmodelle
 - Didaktische Modelle

Struktur der Einphasen- und Mehrphasensimulation



Intrastate-Analyse: *Vervollständigung der Parameterbelegung eines Zustandes.* Aus den gegebenen Parameterwerten und dem Systemmodell werden die Absolutwerte und gegebenenfalls die Änderungstendenzen aller Parameter ermittelt.

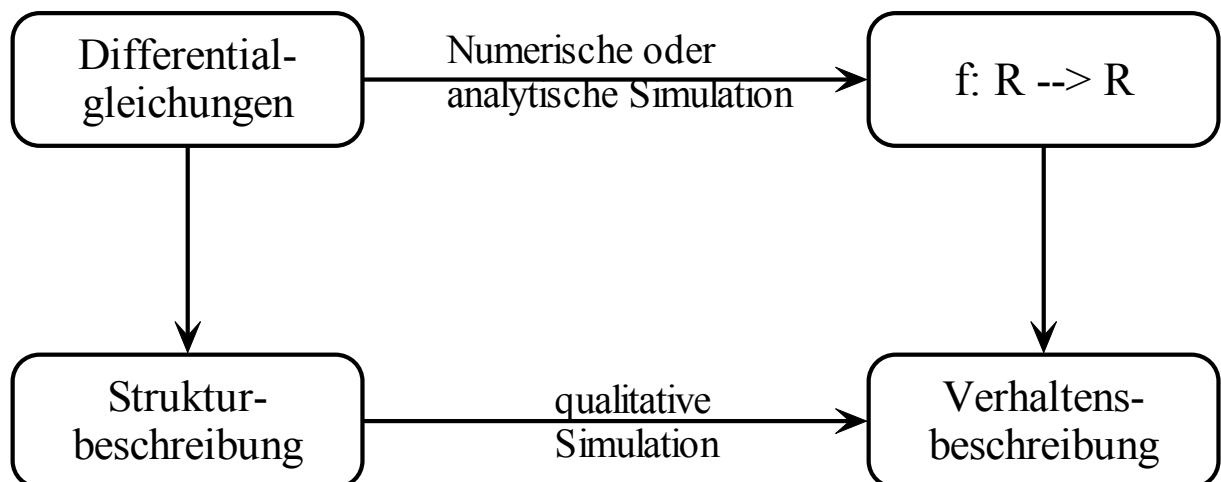
Interstate-Analyse: *Übergang zu Folgezuständen.* Die Änderungstendenzen der Parameter werden auf ihre Absolutwerte angewendet, so dass neue Werte für eine Teilmenge der Parameter berechnet werden. Wenn das Systemmodell Mehrdeutigkeiten enthält, muss in verschiedene Folgezustände verzeigt werden.

Globale Analyse: *Steuerung des Übergangs.* Erkennen von Schleifen, Gleichgewichtszuständen und Vereinigungen von Verzweigungen, usw.

Simulationstypen

- *Numerische Simulation*: Präzises Modell notwendig (bzgl. Daten und Relationen), Einfacher Simulationsalgorithmus, Ergebnisse exakt, aber oft schwer zu interpretieren.
- *Analytische Simulation*: Weniger präzises Modell notwendig (Parameter als Variablen, aber exakte Relationen), Komplexe Algebra erforderlich, Ergebnisse exakt, aber oft schwer zu interpretieren.
- *Qualitative Simulation*: vages Modell ausreichend (qualitative Daten und Relationen), einfacher, aber u.U. exponentieller Simulationsalgorithmus, Ergebnisse qualitativ, aber oft leicht zu interpretieren.

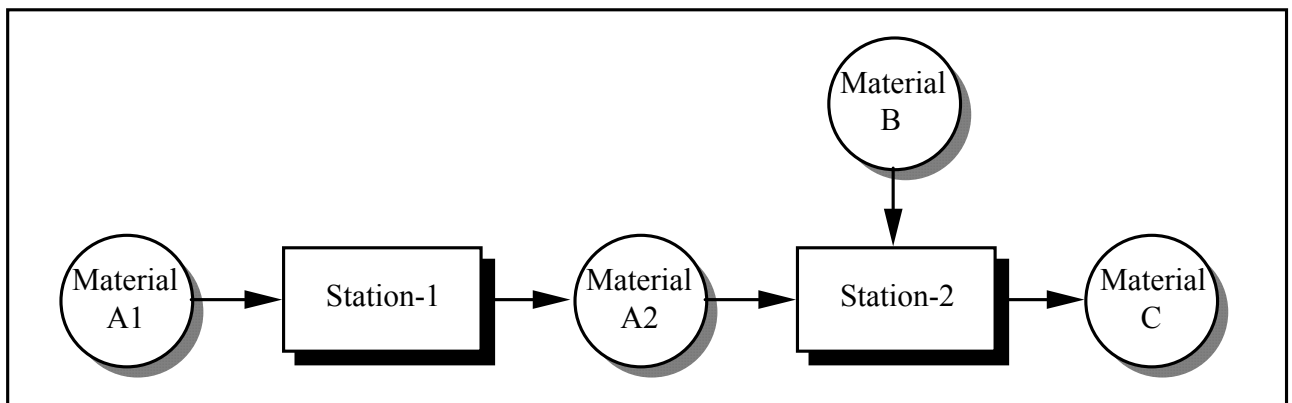
Zusammenhang zwischen Simulationstypen



Einphasensimulation

ähnliche Wissensrepräsentation wie bei der funktionalen Diagnostik mit Komponenten mit Zuständen und Materialien mit Parametern, die von Komponenten verändert werden.

Beispiel:

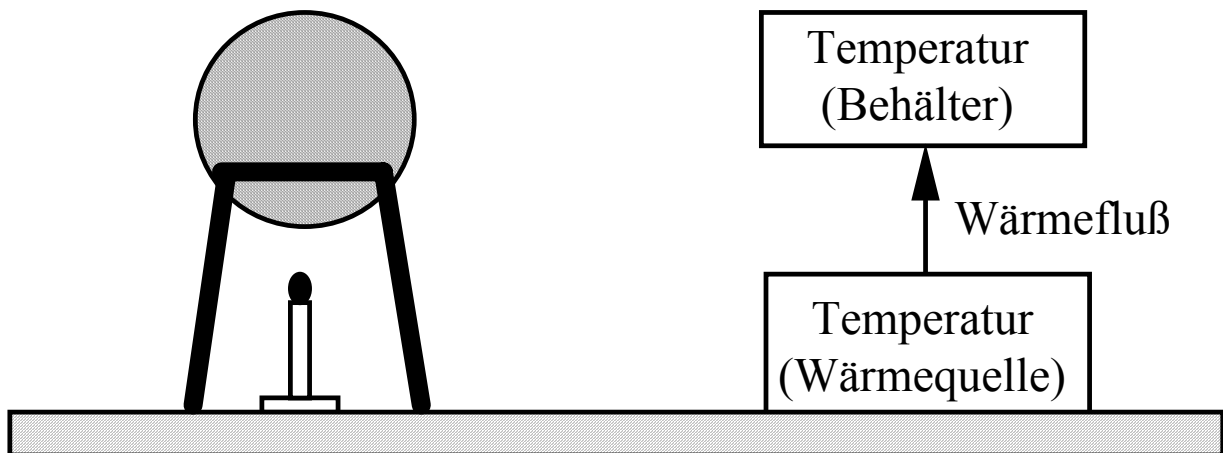


Grundstruktur der Einphasen-Simulation:

Die Materialien werden durch die Komponenten in Pfeilrichtung manipuliert, z.B.

- Material-A1 = beschichtete Pappe,
- Material-A2 = Tüten,
- Material-B = Milch und
- Material-C = Milch in Tüten.

Beispiel: Mehrphasensimulation



Einfaches Hitzeflussystem mit den Parametern:

- Temp (Wärmequelle),
- Temp (Behälter),
- Wärmefluss.

Außerdem ist ein Hilfsparameter nützlich:

- Temperaturdifferenz (Δ Temp)

Bsp.: Numerische Mehrphasensimulation

**numerische
Strukturbeschreibung:**

$\Delta T_{\text{emp}} = T_{\text{emp}} (\text{Wärmequelle}) - T_{\text{emp}} (\text{Behälter})$

Wärmefluß = 0,1 * ΔT_{emp}

$\frac{d}{dt} T_{\text{emp}} (\text{Behälter}) = \text{Wärmefluß}$

numerische Verhaltensbeschreibung:

t (Zeit)	1	2	3	4	...
Temp (Behälter)	300	370	433	490	...
Temp (Wärmequelle)	1000	1000	1000	1000	...
ΔT_{emp}	700	630	567	510	...
Wärmefluß	70	63	57	51	...

Bsp.: Analytische Mehrphasensimulation

Analytische

Strukturbeschreibung:

$$\Delta T_{\text{Temp}} = T_{\text{Temp}} (\text{Wärmequelle}) - T_{\text{Temp}} (\text{Behälter})$$

$$\text{Wärmefluss} = \Delta T_{\text{Temp}} * k \quad (k \text{ ist ein Konstante)}$$

$$\frac{d}{dt} T_{\text{Temp}} (\text{Behälter}) = \text{Wärmefluss}$$

Analytische

Verhaltensbeschreibung:

$$T_{\text{Temp}} (\text{Behälter}) = T_{\text{Temp}} (\text{Wärmequelle}) - C * e^{-k * t}$$

Bsp.: Qualitative Mehrphasensimulation

Qualitative Strukturbeschreibung:

- (1) $\Delta Temp = Temp$ (Wärmequelle) \ominus Temp (Behälter)
- (2) $\left(\frac{d}{dt}\right) Temp$ (Behälter) = Wärmefluss
- (3) Wärmefluss = M^+ ($\Delta Temp$)

Dabei bedeuten:

$M^+(X) = Y$ Y ist eine monoton steigende Funktion von X

$\left(\frac{d}{dt}\right) X = Y$ Y ist eine monotone Funktion der Änderungsrate von X

$X = Y \ominus Z$ Qualitative Subtraktion: daraus kann man folgern, daß wenn $Z > 0$, dann auch $X > Y$; wenn $Z = 0$, dann auch $X = Y$ usw.

Qualitative Verhaltensbeschreibung:

	Zustand1	Änderung	Zustand2	Änderung
Absolutwert	< Temp	zunehmend	= Temp	konstant
Temp (Behälter)	= Temp	konstant	= Temp	konstant
Temp (Wärmequelle)	> 0	abnehmend	= 0	konstant
$\Delta Temp$	> 0	abnehmend	= 0	konstant
Wärmefluss	> 0	abnehmend	= 0	konstant

Numerische Simulation

Objekttypen:

- Komponenten
- Komponentenzustände
- Materialien
- Parameter der Materialien
- Regeln
- Uhr

Algorithmus:

Voraussetzung: eingestelltes Simulationsmodell

Eingabe: Anfangsbelegung von Parametern

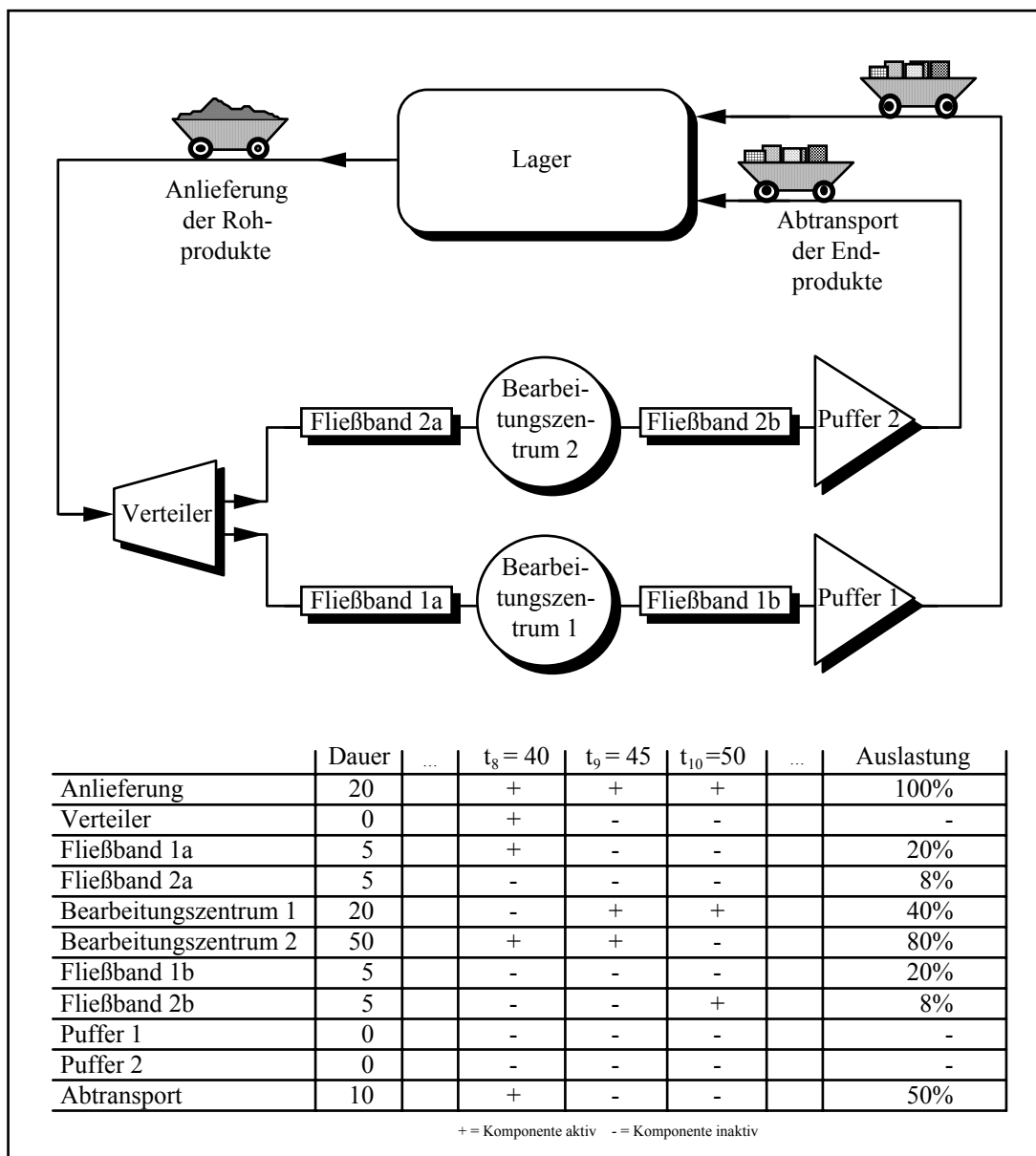
Ausgabe: Sichtbarmachen des zeitlichen Verlaufs der Parameterwerte, Statistik

1. Zuweisung der Anfangsbelegung an die Parameter.
2. Berechnung aller davon abhängigen Parameter mit zeitunabhängigen Regeln.
3. Während bzw. nach Schritt 2 machen die "Aktivitätsprozeduren" ihre Parameterwerte auf dem Bildschirm sichtbar.
4. *Solange* der Benutzer nicht unterbricht und noch zeitabhängige Regeln feuern können, *wiederhole*:
 - 4.1 Voranschreiten der Uhr um ein Taktintervall.
 - 4.2 Berechnung der zeitabhängigen Regeln gemäß vorgerückter Uhrzeit.
 - 4.3 Für die geänderten Parameter werden wie bei Schritt 2 die zeitunabhängigen Regeln aktiviert und weitere Parameter berechnet.
 - 4.4 Während bzw. nach Schritt 4.2 und 4.3 machen die Aktivitätsprozeduren ihre Parameterwerte auf dem Bildschirm sichtbar.
5. Ausgabe einer Statistik der Parameter

Bsp.: Simulationsmodell in der Fertigung

Komponententypen in der Fertigung:

- unbewegliche Fördermittel (z. B. Rutsche, Fließband)
- bewegliche Fördermittel (z.B. Gabelstapler)
- Bearbeitungszentren (z.B. Maschinen)
- Speichervorrichtungen (z.B. Puffer und Lager)
- Verteiler und Zusammenführungen



Qualitative Simulation

Objekttypen:

- Komponenten
- Zustände
- Materialien
- Parameter
- Constrainttypen
- Constraints

Algorithmus:

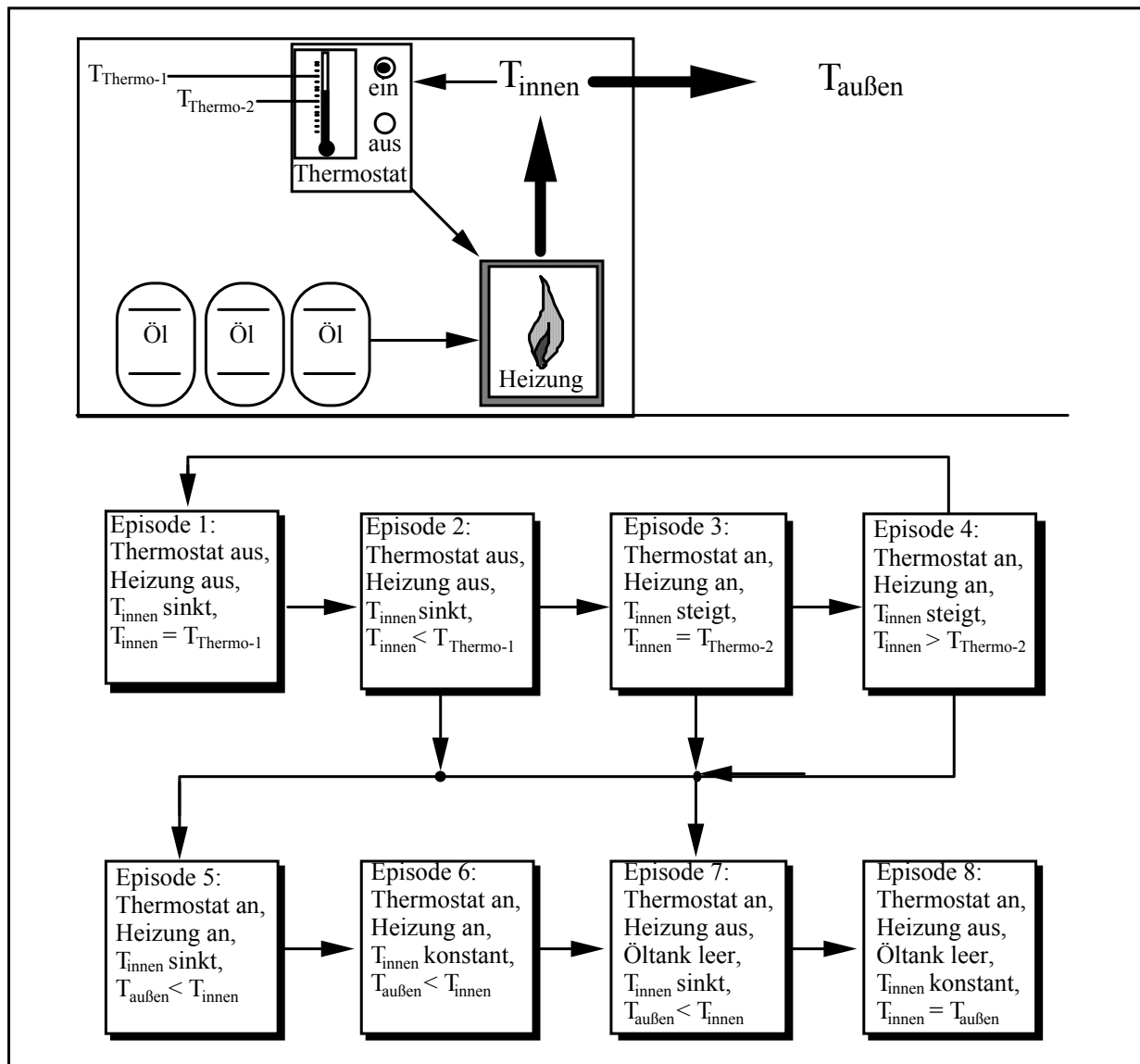
Voraussetzung: qualitatives Simulationsmodell

Eingabe: qualitative Anfangsbelegung von Parametern

Ausgabe: Zustandsübergangdiagramm

1. Wertzuweisung an Parameter gemäß Anfangsbelegung.
2. Intrastate-Analyse: Die Regeln werden mit den vorgegebenen Parameterwerten vorwärtsverkettet, so dass für alle Parameter Werte und Änderungstendenzen berechnet werden. Bei Unsicherheiten wird mit allen Alternativen weitergerechnet. Jede unterschiedliche Parameterbelegung wird als eigener Zustand betrachtet.
3. *Wiederhole solange*, bis bei der globalen Analyse keine aktiven Zustände mehr gefunden werden:
 - 3.1 Interstate-Analyse: Parameter, deren Änderungstendenz zunehmend oder abnehmend ist, nehmen ihren nächsthöheren oder -niedrigeren qualitativen Wert an (Achtung: Verzweigungsproblematik!)
 - 3.2 Intrastate-Analyse: Die geänderten Parameter stoßen wieder eine Intrastate-Analyse an, bei der sich die Änderungen durch das Simulationsmodell fortpflanzen.
 - 3.3 Globale Analyse: Überprüfung von Wiederholungen, Gleichgewichtszuständen und Vereinigungen.
4. Ausgabe des Zustandsübergangdiagramms aller Zustände, die durch ihre Parameterbelegungen beschrieben sind.

Bsp.: Simulationsmodell für Thermostatheizung



Landmarkenwerte für Temperatur: $T_{Thermo1} > T_{Thermo2} > T_{Außen}$

$T_{Thermo1}$ = oberer Thermostatwert

$T_{Thermo2}$ = unterer Thermostatwert

$T_{Außen}$ = Außentemperatur

Problemeigenschaften

- Parametersummation (Unwissen → Verzweigung)
- Zustände von Komponenten
- Unsicheres Wissen über Komponenten
- Ungenaues Wissen über die Eingabeparameter
- Rückkopplungsschleifen
- Verschiedene Abstraktionsebenen
- multiple Modelle
- Zeitverhalten