

Modellbegriff

- **Modellbildung als Abbildung** Systeme ==> Modelle

- **Modellbegriff**

Modelle

Materielle oder immaterielle **Systeme**, die Elemente und Relationen des Ursprungssystems in **veränderter Weise** darstellen, so dass eine **experimentelle Manipulation** der abgebildeten Strukturen und Zustände möglich ist

- **Modellbildung durch**

- **Abstraktion**

}

Komplexitätsreduzierung

- **Idealisierung**

Merkmale der Modellbildung

- (1) Die grundlegende Funktion eines Modells ist die **Abbildung** eines wirklichen oder gedachten Systems.
- (2) Das System wird im Modell **vereinfacht** abgebildet, indem von seinen weniger wichtigen Merkmalen **abstrahiert** wird;
- (3) Bei der Modellbildung wird häufig auch eine **Idealisierung** hinsichtlich bestimmter Systemfunktionen vorgenommen
- (4) Modellbildung bedeutet somit in der Regel **Reduktion von Komplexität**.

Merkmale der Modellbildung

- **Abstraktion bei der Modellbildung**
 - Verallgemeinerung
 - Entnahme des Allgemeinen aus dem Besonderen
 - Loslösung vom Gegenständlichen
 - Unterscheidung des Wesentlichen vom Zufälligen (nach VDI 3633)
- **Idealisierung bei der Modellbildung**
 - Ausserachtlassen von Unerwünschtem
 - Anpassung von Unregelmässigem

Gründe für die Modellbildung

- Sie ermöglicht dem Problembearbeiter, seine theoretischen Hypothesen und empirischen Beobachtungen über das reale System zu systematisieren und logische Folgerungen aus dieser Systematisierung zu ziehen.
- Sie führt zu erhöhtem Verständnis des Realsystems.
- Sie liefert einen konzeptionellen Rahmen für die Untersuchung der Vorteilhaftigkeit von Systemveränderungen.

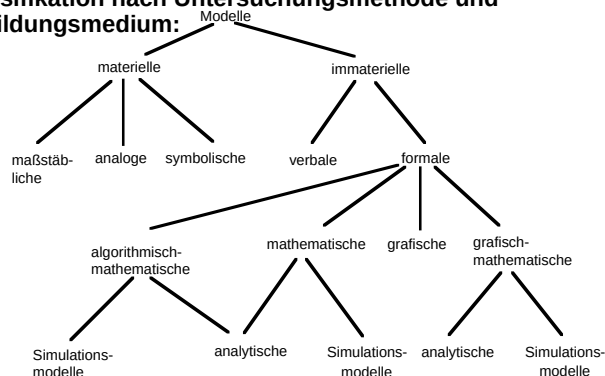
Gründe für die Modellbildung

- Sie ermöglicht Veränderungen, die häufig in realen Systemen nicht oder nur mit wesentlich höherem Aufwand durchführbar sind.
- Ihr Einsatz reduziert den Zeitaufwand von Projekten.
- Sie ermöglicht die Untersuchung (noch) nicht existierender Systeme.

Modellklassifikationen

- **Klassifikation von Modellen nach unterschiedlichen Kriterien**

– **Klassifikation nach Untersuchungsmethode und Abbildungsmedium:**



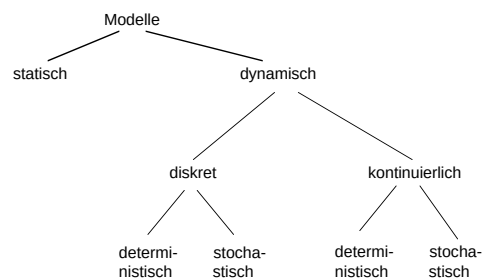
Modellklassifikationen

• Beispiele für bestimmte Modelltypen

- materielles Modell: Schiffmodell
- verbales Modell: umgangssprachliche Systembeschreibung
- grafisch-deskriptives Modell: Kausaldiagramm
- mathematisches Modell: Differentialgleichungssystem
- grafisch-mathematisches Modell: Petri-Netz
- algorithmisch-mathem. Modell: Zeitdiskretes Simulationsmodell

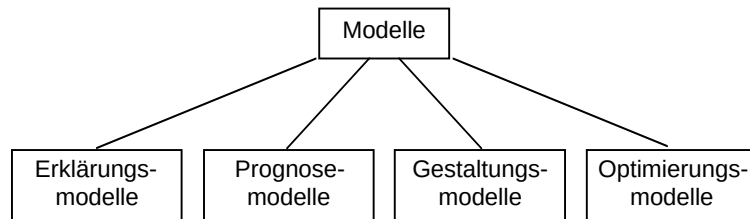
Modellklassifikationen

• Klassifikation nach Zustandsvariablen



Modellklassifikationen

- **Klassifikation nach Verwendungszweck**



1.3 Simulation

Begriff der **Simulation** (=> lat. simulare)

Durchführung von **Experimenten** an einem **Modell**, das **anstelle des Originalsystems** tritt. (Krüger)

oder

Nachbildung eines **dynamischen** Prozesses in einem **Modell**, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die **Wirklichkeit übertragbar** sind. (VDI -Richtlinie 3633)

oder

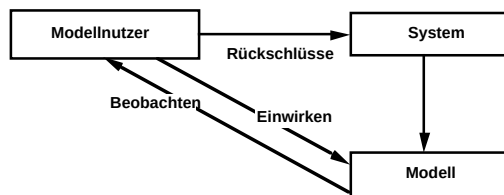
Prozess der **Modellbeschreibung** eines **realen Systems** und anschließendes **Experimentieren** mit diesem Modell mit der Absicht, entweder das **Systemverhalten zu verstehen** oder verschiedene **Strategien für Systemoperationen** zu gewinnen. (Shannon)

Simulation

• Rechnergestützte Simulation

- Modell <==> (Simulations-) Programm
- Experiment <==> Simulationsexperiment durch Ausführung des Simulationsprogramms (inkl. begleitender Datenerfassung)

• Beziehungen zwischen System, Modell und Modellnutzer



» (s. auch Abb. 4 in Simulation v. Produktionssystemen, 1995, S. 6)

Prinzipielle Unterscheidung zwischen analytischen und Simulationsmodellen

• Analytische Modelle

- Mathematisches Gleichungssystem zur Berechnung einer **geschlossenen Lösung** für gesuchten Systemendzustand
- Beispiele:

• Simulationsmodelle

- **Schritt für Schritt-Lösung mit Zwischenzuständen**
- Sinnvoll einsetzbar, wenn analytische Modelle komplexe Real-systeme nicht adäquat abbilden können

Vor- und Nachteile von Simulationsmodellen gegenüber analytischen Modellen

• Vorteile gegenüber analytischen Modellen

- Ohne vereinfachende Annahmen über Verteilungen, Zufälligkeit oder Unabhängigkeit kann das Simulationsmodell mit einem wesentlich **höheren Grad an Realitätsnähe** versehen werden
- Es ermöglicht **Sensitivitätsuntersuchungen** der angenommenen Verteilungen
- Simulation ist oft **mathematisch weniger schwierig** als viele analytische Ansätze
- Mit einem Simulationsmodell lassen sich **alternative Systemstrukturen** untersuchen
- Simulationsmodelle sind **anschaulicher**, da zeitliche Systemzustandsentwicklung Schritt für Schritt nachvollziehbar

Simulation

• Nachteile gegenüber analytischen Modellen

- Kein Auffinden der optimalen Lösung garantiert
- Hoher Konstruktions- und Rechenaufwand
- Größerer Datenbedarf

• Unterscheidung zwischen **diskreten** und **kontinuierlichen** Simulationsmodellen

• (Zeit-) diskrete Simulationsmodelle

- Systemzustandsänderungen zu diskret verteilten Zeitpunkten
- Beispiel:
- Mathematisch-algorithmische Modellrepräsentation

Kontinuierliche Simulation

• Kontinuierliche Simulationsmodelle

- Beschreibung von **kontinuierlichen Systemveränderungen** aufgrund physikalischer bzw. biologischer Gesetze
- Mathematische Modellrepräsentation in Form von **Differentialgleichungen**
- Mathematische Modellformulierung:
 - » Zeitabhängige Zustandsvariablen $x_1(t), \dots, x_n(t)$
 - » Eingabevariablen $u_1(t), \dots, u_m(t)$
 - » Änderungsraten $x'_1(t), \dots, x'_n(t)$
 - » Ergebnisvariablen $y_1(t), \dots, y_r(t)$
 - » Differentialgleichungssystem für Änderungsraten

Kontinuierliche Simulation

• Kontinuierliches Simulationsmodell

- Differentialgleichungssystem:

$$\begin{aligned} x'_1(t) &= f_1(x_1(t), \dots, x_n(t), u_1(t), \dots, u_m(t)) \\ &\vdots \\ x'_n(t) &= f_n(x_1(t), \dots, x_n(t), u_1(t), \dots, u_m(t)) \\ y_1(t) &= h_1(x_1(t), \dots, x_n(t)) \\ &\vdots \\ y_r(t) &= h_r(x_1(t), \dots, x_n(t)) \end{aligned}$$
- Simulationsexperiment = Lösung der Differentialgleichungen durch **numerische Integrationsverfahren** für vorgegebene Eingabevariablen $u_1(t), \dots, u_m(t)$

Beispiel für ein kontinuierliches Simulationsmodell

Räuber-Beute-Modell: Füchse und Hasen

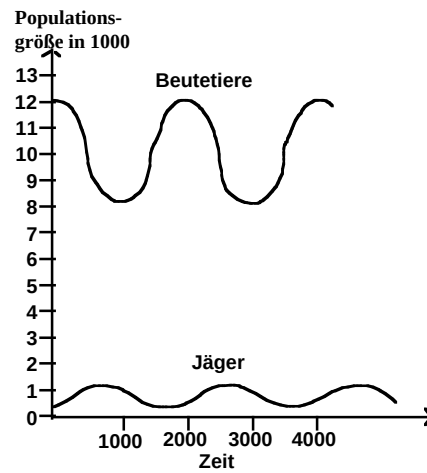
- **Hasen als passive Beutetiere**
 - Hasenpopulation $x(t)$
- **Füchse als Jägerpopulation**
 - Hasen als Beutetiere sind einzige Nahrungsquelle
 - Fuchsepopulation $y(t)$
- **Wachstumsrate Hasen**
 - Geburtenrate - natürliche Todesrate
 $r * x(t)$ mit $r > 0$
- **Todesrate Hasen**
 - proportional zum Produkt der beiden Artenbestände
 $a * x(t) * y(t)$

Beispiel für ein kontinuierliches Simulationsmodell

Räuber-Beute-Modell: Füchse und Hasen

- **Änderungsrate der Hasenpopulation**
 $dx / dt = r * x(t) - a * x(t) * y(t)$ mit $a > 0$
- **Änderungsrate der Fuchsepopulation**
 $- dy / dt = -s * y(t) + b * x(t) * y(t)$ mit $b > 0$
- **Anfangsbedingung**
 $x(0) > 0, y(0) > 0 \Rightarrow x(t) > 0 \text{ und } y(t) > 0 \text{ für alle } t \geq 0$
- **Lösung: $\{x(t), y(t)\}$ periodische Funktion der Zeit**
 $x(t + n * T) = x(t) \quad T > 0 \quad \text{und} \quad y(t + n * T) = y(t) \quad \text{für } n = 1, 2, \dots$
- **Ergebnisinterpretation:**
 - Anstieg der Fuchsepopulation $\Leftrightarrow$ Abfall der Hasenpopulation
 - Abnahme der Wachstumsrate der Fuchsepopulation $\Rightarrow$ weniger Füchse $\Rightarrow$ Anstieg der Hasen

Beispiel für ein kontinuierliches Simulationsmodell: Räuber-Beute-Modell



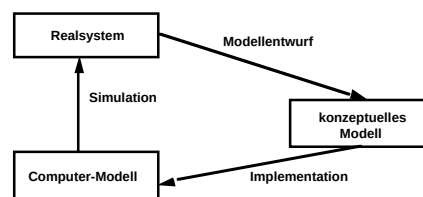
Bernd Page, FB Informatik der Universität Hamburg

VL Modellierung und Simulation WS 98/99

- 19 -

1.5 Modellbildungszyklus

• Prozess der Modellbildung und Simulation



Bernd Page, FB Informatik der Universität Hamburg

VL Modellierung und Simulation WS 98/99

- 20 -

Phasen des Modellbildungsprozesses

- **Übersicht über einzelne Phasen des Modellbildungs-prozesses**

– vgl. *Diskrete Simulation*, Kap. 1.4, Abb. 1-8, S.12

(1) Problemdefinition

(2) Modellentwurf: Entwicklung des konzeptuellen Modells

Phasen des Modellbildungsprozesses

(2) Modellentwurf: Entwicklung des konzeptuellen Modells, Forts.

- » Zerlegung des Systems in Subsysteme
- » Strukturierung und Modularisierung
- » Grafische Darstellung
- » Wahl des geeigneten Modelltyps,
- » Ergebnis ==> **Informales konzeptuelles Modell**
- » Formale Spezifikation eines konzeptuellen Modells
- » Ergebnis ==> **Formales konzeptuelles Modell**

Phasen des Modellbildungsprozesses

(3) Datenerhebung

- » parallel zur Entwurfsphase Festlegung der Modellkonstanten / -variablen, -verteilungen
- » statistische Schätzwerte / Expertenschätzungen

(4) Modellimplementation

- » Wahl einer geeigneten Implementationssprache

- » Ergebnis ==> **Computer-Modell**

Phasen des Modellbildungsprozesses

(5) Modellvalidierung

- » Prüfung der Validität eines Modells vor dessen Anwendung erforderlich

- » **Kein allgemeiner Beweis** über die Richtigkeit eines Modells möglich, sondern Herstellung von **Transparenz** des Modells

- » Verschiedene **Stufen der Modellvalidierung**
 - (1) **Validierung des konzeptuellen Modells**
Prüfung der Abbildung Realsystem —> Konzeptuelles Modell

Phasen des Modellbildungsprozesses

• Stufen der Modellvalidierung

- (2) **Modellverifikation**
Prüfung der korrekten Abbildung des konzeptuellen Modells auf das Computer-Modell
- (3) **Operationale Modellvalidierung**

Phasen des Modellbildungsprozesses

- (6) **Simulation**
 - » Planung und Durchführung der Modellexperimente
 - » Grafische Aufbereitung der Simulationsergebnisse
- (7) **Ergebnisanalyse**
 - » Statistische Auswertungsmethoden
 - » Interpretation der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Modelleinschränkungen
- (8) **Dokumentation**
 - » Parallel zu allen Phasen des Modellbildungsprozesses umfassende Dokumentation nötig
 - » Ziel: **Modelltransparenz**

Phasen des Modellbildungsprozesses

(9) Modelleinsatz in der Praxis

- » Modelle als routinemäßiges Entscheidungsinstrument
- » Benutzungsfreundlichkeit wichtig für **Modellakzeptanz**
- » Anforderungen:

1.6 Anwendungsfelder der Simulation

- **Verkehrsplanung**
 - Planung von Hafenanlagen/ Containerterminals, Personennahverkehr, Flugplätze, Straßen...
- **Betriebswirtschaft**
 - Planung von Betriebsabläufen, Personaleinsatz, betriebliche Transport- und Logistiksysteme, Lagerhaltungssysteme...
- **Produktionssysteme**
 - Planung und Steuerung von automatisierten Produktionssystemen
- **Informatik/ Informationstechnik**
 - Konfigurierung von Rechenanlagen, Simulation von Betriebssystemen, Analyse von Rechnernetzen, Datenbankentwurf, Rechnersicherheit, Chipentwurf ...

Anwendungsfelder der Simulation

- **Versorgungs- und Dienstleistungseinrichtungen**
 - Planung und Betrieb von öffentlichen Einrichtungen z. B. des Gesundheitswesens wie Apotheken-Lagerhaltung, Blutbanken, Röntgenabteilungen oder Rettungswesen, ...
- **Umweltschutz**
 - Mikroskopische Verkehrsflusssimulationen mit Abschätzung der Schadstoffemissionen
 - Simulation von Abwassereinigungsanlagen ...
- **Technik**
 - Analyse von Funknetzen, Industrierobotern, technische Zuverlässigkeit...