



- Die Erstellung eines repräsentativen Modells eines Systems und seiner Umwelt ist ein sehr komplexer Vorgang, der grundsätzlich in folgende Teilschritte zerlegt werden kann:
 - I. **Problemdefinition und Spezifikation der Untersuchungsziele**
 - II. **Systemanalyse**
 - III. **Modellaufbau**
 - IV. **Überprüfung des Modells (Modellvalidierung)**
 - V. **Einsatz des Modells**

I. Problemdefinition und Spezifikation der Untersuchungsziele

- Dieser Arbeitsschritt besteht darin,
 - die zu Beginn des Modellierungsprozesses oft recht vagen Vorstellungen von der vorgegebenen Problemstellung zu präzisieren,
 - den Umfang bzw. die Leistungsfähigkeit des zu erstellenden Modells festzulegen,
 - die angestrebten Untersuchungsziele, die durch das Experimentieren mit dem Modell verfolgt werden, zu spezifizieren.

- Die Spezifikation der Untersuchungsziele beinhaltet im wesentlichen die Festlegung der aus dem Modell abzuleitenden Größen sowie deren Güte (Auflösung und gewünschter Grad der Übereinstimmung mit der Realität).
- Wichtig zu diesem Zeitpunkt ist auch, genau zu überprüfen, ob die i.a. sehr hohen Kosten für die Modellierung überhaupt gerechtfertigt sind und ob die Untersuchungen nicht eventuell sehr viel kostengünstiger am realen System durchgeführt werden können.

II. Systemanalyse

- Die Systemanalyse umfaßt die Strukturierung des vorgegebenen, meist sehr unstrukturierten Datenmaterials über das zu modellierende System.
- Hier festigt sich das Bild von der Systemstruktur und den Systemabläufen im Bewußtsein des Modellierers.

Folgende Teilschritte können dabei unterschieden werden:

- **Abgrenzung des Systems gegen die Umwelt**
 - In diesem Arbeitsschritt sind die aus der Umwelt in das System hineingetragenen Einflüsse herauszuarbeiten und, falls diese nicht vernachlässigt werden können, in einem separaten Umweltmodell nachzubilden.

- **Herausarbeiten der Systemstruktur und der Systemabläufe**

- Aufgabe hier ist das Herausarbeiten der im System vorkommenden Einzelkomponenten sowie deren Verbindungen und gegenseitige Beeinflussung untereinander.
- Neben der Ermittlung der Systemstruktur ist in diesem Arbeitsschritt auch ein eingehendes Verständnis über die Systemabläufe zu erwerben.

- **Charakterisierung der Arbeitslast**

- Bei der Analyse und Modellierung komplexer Systeme kann es von Vorteil sein, System und Last so weit wie möglich in getrennten Modellen zu definieren.
- Neben der Modellierung der relevanten Systemeigenschaften sollte daher die vom Anwender erzeugte Last (Arbeitslast) in einem eigenständigen Lastmodell nachgebildet werden.

III. Modellaufbau

- In diesem Arbeitsschritt werden die während der Systemanalyse gewonnenen abstrakten Vorstellungen über das zu modellierende System in ein konkretes Systemmodell umgesetzt.
- Dabei lassen sich folgende Teilschritte unterscheiden:
 - **III.1 Erstellung des konzeptionellen Modells**
 - **III.2 Schaffung eines ausführbaren Modells**

III.1 Erstellung des konzeptionellen Modells

- Bei der Erstellung des konzeptionellen Modells muß in Abhängigkeit des Beitrags einzelner Systemteile zum Systemverhalten über deren Abstraktionsgrad entschieden werden.
- Die zu ungenaue Modellierung wesentlicher Systemteile (zu ungenaue Ergebnisse) ist ebenso folgenschwer wie die zu genaue Modellierung unwesentlicher Teile (zu hoher Analyseaufwand).
- Um hier zu einem ausgewogenen Gesamtergebnis zu kommen, sollte zunächst einmal eine sinnvolle Unterteilung des Systems in Teilsysteme vorgenommen werden (Dekomposition).

- Danach müssen alle Größen, die zur Beschreibung des Systems notwendig sind, ermittelt werden.
- Dabei kann es sich zum einen um konstante Eigenschaften des Systems handeln, aber auch um Zustandsvariablen, deren Wert vom Betrachtungszeitpunkt abhängig ist.
- In einem letzten Schritt muß das dynamische Verhalten des Systems (mögliche Abfolgen von Zustandswechseln und deren Ursachen) untersucht werden.

III.2 Schaffung eines ausführbaren Modells

- Im Anschluß an den konzeptionellen Entwurf eines Modells erfolgt dessen konkrete Realisierung.
- Bei der analytischen Modellierung besteht das ausführbare Modell aus mathematischen Gleichungen, durch deren Lösung die gewünschten Leistungs-kenngrößen ermittelbar sind.
- Analytische Modelle, für die allgemeine Lösungsschemata existieren, können mit Hilfe eines auf einem Rechner implementierten Programms abgewickelt werden.
- Andernfalls erfordert die Abwicklung dieser Modelle viel manuelle Arbeit und gute mathematische Kenntnisse vom Modellierer.
- Bei der simulativen Modellierung ist das ausführbare Modell ein Rechenprogramm, mit dessen Hilfe die Abläufe im zu untersuchenden System in einem Rechner nachgespielt werden.

IV. Überprüfung des Modells (Modellvalidierung)

- Bei der Modellvalidierung wird untersucht, ob das vom Modellierer erstellte abstrakte Modell tatsächlich das Verhalten des zu untersuchenden Systems befriedigend repräsentiert.
- Grundsätzlich ist eine vollständige Übereinstimmung zwischen System und Modell nicht möglich.
- Einerseits ist das Modell über Abstraktion und Idealisierung aus dem realen System hervorgegangen.
- Es enthält daher sehr viel weniger Einflußgrößen und wird sich aus diesem Grund unterschiedlich verhalten.

- Andererseits ist jede Messung am realen System mit Meßfehlern verbunden, die Ursache für Abweichungen zwischen Modellergebnis und experimentell bestimmten Meßgrößen sein können.
- Eine Übereinstimmung zwischen System und Modell ist also nur innerhalb einer vorgegebenen Toleranz möglich.
- Besonders schwierig gestaltet sich die Modellvalidierung, wenn am realen System keine Messungen möglich sind (beispielsweise bei schwer zugänglichen oder sich noch in Planung und Entwicklung befindenden Systemen).

- **Eine Modellüberprüfung kann in zwei Stufen erfolgen:**

- **Verifikation**

Hier wird i.a. durch formale Methoden überprüft, ob das Computerprogramm, welches das Modell realisiert, so arbeitet, wie es das Modell vorschreibt.

Ist das Modell richtig (korrekt implementiert)?

- **Validierung**

- Bei der Validierung wird geprüft, ob das korrekt implementierte Modell eine genügend genaue Approximation der Realität für die gewünschte Anwendung darstellt.
- Der dazu notwendige Vergleich zwischen System- und Modellverhalten kann aus Aufwandsgründen meist nur punktuell an einer eng begrenzten Anzahl von Parametereinstellungen vorgenommen werden.

Ist das Modell ein adäquates Abbild der Realität?

V. Einsatz des Modells

- Nach erfolgter Überprüfung können mit dem erstellten Modell die zum Erreichen der in Arbeitsschritt I. spezifizierten Untersuchungsziele notwendigen Experimente durchgeführt werden.
- Diese werden heute noch weitgehend manuell vom Modellierer geplant, überwacht und durchgeführt, wobei der Erfolg im wesentlichen von dessen Kenntnisstand und Intuition abhängt.
- Um diesen höchst unbefriedigenden Zustand zu verbessern, bedarf es einfach zu handhabender Strategien zur automatischen Steuerung der durchzuführenden Experimentabfolgen.
- Erst damit läßt sich der Nutzen und Stellenwert der Modellierung deutlich erhöhen und der meist sehr hohe Aufwand für die Modellerstellung und die Modellanalyse rechtfertigen.