

# 1. Systeme und Modelle

Begriff "Simulation" in verschiedenen Bedeutungen  
(nicht einheitlich) verwendet

so: Monte-Carlo-, dynamische, diskrete, kontinuierliche,  
Rechner-, ... , Simulation  
Simulatoren verschiedenster Art, ...

**Für uns:**

**wesentliche  
Schlagworte:**

- Simulation ist eine  
(eine der Techniken) Technik
- zur "Behandlung" von Systemen  
(Beschreibung, Verständnis,  
Studium, Analyse, Synthese, ...)
- mit Interesse an Beurteilung ihrer Funktion(sweise)  
ihres Verhaltens
- mittels Untersuchungen / Studien  
an einem (System-) Modell

Simulation ist bedeutsame Technik  
wegen breiten (und wachsenden) Einsatzes

- in der Informatik: Rechen- und Kommunikations-Systeme
- in Anwendungen der Informatik:  
Fertigungs-, Transport-, Organisations-,  
Verwaltungs-, Dienstleistungs-, Logistik-  
... -Systeme

## Was ist ein "**System**"?

Sehr allgemeiner Begriff; ohne (potentiell schädliche!)  
Einschränkungen nur vage "definiert / definierbar":

Ein System besteht aus einer Menge von  
Untereinheiten / Teilen: "Objekten", "Komponenten";  
Objekte haben gewisse Eigenschaften;  
(alle!) Objekte (bzw. ihre Eigenschaften)  
stehen untereinander in gewissen  
Zusammenhängen / Abhängigkeiten,  
üben aufeinander Wechselwirkungen aus.

### **Wesentlich:**

System { Objekte }  
und: System ist, was wir als solches verstehen (Klir91)  
(incl. Abgrenzung !)

### **Beispiele:**

Feuerwache

öffentlicher Nahverkehr

Maschinensaal

Insekt / Insektenvolk / Ökologie eines Gebiets

Beachte: Wechsel der Objekte,  
Eigenschaften,  
Abhängigkeiten  
aufgrund: Wechsel von Betrachtungszweck,  
Umgebung / Abgrenzung  
("experimental frame": ZePK00)

**Künstliche** ("man-made") **Systeme** werden zweckbestimmt entworfen / verwirklicht / betrieben.

Ihre Planer / Organisatoren: "Systemanalytiker" stellen typischerweise Fragen der Art:

- Wie schnell / wie groß / wie gut / ...  
**ist** System / Systementwurf / Systemversion?
- **Was** geschieht (mit System), **wenn** ... ?
- **Was** ist **wie** einzurichten, zu ändern, ... , **damit** ... ?

**Arbeitsweise des Systemanalytikers** (Acko71):

Interessiere ein (reales, hypothetisches) System S, dessen So-Sein / Verhalten beeinflusst wird von

- einer Menge C "kontrollierbarer" Größen  
(diese sind "einstellbar", willkürlich "veränderbar")
- einer Menge U "unkontrollierbarer" Größen  
(diese "ändern sich potentiell", ohne einstellbar zu sein)

Mit  $W_C$  bzw.  $W_U$  als (i. allg. vektoriellen) Wertebereichen der Größen aus C bzw. U wird sich das System

für jede "Einstellung"	$w_C$	$W_C$
für jedes "Eintreten"	$w_U$	$W_U$

anders darstellen / verhalten

Sei P eine Menge (zumindest im Prinzip) beobachtbarer Größen mit Wertebereich  $W_P$  die als Grundlage einer Beurteilung (des So-Seins / Verhaltens) von S dienen

"Beeinflussung" von S drückt sich aus in "Beziehung" zwischen C-, U-Größen und P-Größen

z.B. Funktion  
oder Relation

$$f: (W_C, W_U) \rightarrow W_P$$

$$f: W_C \times W_U \rightarrow W_P$$

Systemanalytiker ist (zweckorientiert) interessiert an der

- Beurteilung gewisser Güte- (oft: "Leistungs-") Kriterien anhand zugeordneter Güte- / "Leistungs-" Maße  
etwa:  $V = \{v_i; i=1, 2, \dots, n\}$   
die aus Beobachtungsgrößen ableitbar / errechenbar seien gemäß  
$$v_i = g_i(w_P) \quad i=1, 2, \dots, n$$
- Einhaltung gewisser Güte- (oft: "Leistungs-") Grenzen
- Optimierung von Gütekriterien ("Leistungs"-Maßen)

Wesentliches "Problem" also:

Funktion / Relation f "in den Griff zu bekommen",

d.h.

den Einfluß der "controllables" C und "uncontrollables" U auf das "Sein / Verhalten" P des Systems S und damit auf seine "Güte" V

zu verstehen und (zweckorientiert) nutzen zu können

Für reales System S:

### **f ist durch S repräsentiert**

f also durch Beobachten,  
Ausprobieren,  
Experimentieren "studierbar"

(für Größen aus C: "systematisch einstellen"  
aus U: "wartend beobachten" )

Dies empirische Vorgehen oft nicht wünschenswert,  
nicht durchführbar

- in Planung befindlicher Flughafen: unmöglich
- kritische Betriebszustände eines Atomreaktors:  
gefährlich
- unterschiedliche Bus-Routen:  
zeitaufwendig,  
teuer

### **Alternative ?? Modell !!**

Studium eines "Ersatzsystems" S' (anstatt Systems S)  
wo

- S' irgendwie "einfacher" zu manipulieren als S
- S' aber imstande, das Sein/Verhalten von S  
im gewünschten Kontext: Zweck!  
zu repräsentieren, also f "nachzubilden"

In diesem allgemeinen Sinn viele Modelltypen  
existent und in Gebrauch

Einige Klassifikationen (Mih72, Evan88):

### Rosenblueth / Wiener (RoWi45)

materiell  
(aus Materie)

formal  
(aus Symbolen)

closed box:  
beschreibt

open box:  
beschreibt

I/O-  
Zusammenhang

"Mechanik" des  
I/O-  
Zusammenhangs

brauchbar für  
Vorhersage bei  
unverändertem  
System

nötig für  
Einschätzung  
von System-  
Veränderungen,  
"Verständnis"

(  
"hierarchy of system specifications":  
ZePK00  
)

**Churchman / Ackoff / Arnoff (ChAA57)**

ikonisch	analog	symbolisch
bildliche Nachahmung	Erfassung Eigenschaften mittels "anderer" physikalischer Eigenschaften	Darstellung durch mathematische, logische Verknüpfungen von Symbolen

**Sayre / Crosson (CrSa63)**

Replikationen	Formalisierungen	Simulationen
physikalische Ähnlichkeit	keine physikalische Ähnlichkeit: Symbole mittels "wohldefinierten Kalküls" manipulierbar	keine physikalische Ähnlichkeit: Symbole nicht (völlig) innerhalb Kalküls manipulierbar

Für uns naheliegend (ausschließlich betrachtet)

## **symbolische / formale Modelle**

Modellformen in diesem Bereich:

**ideal:** f liegt als geschlossene, explizite Formel vor  
 Beurteilung, Veränderung, Optimierung  
 "mit Bleistift und Papier" möglich: **analytisches  
 Vorgehen**

**nächstbest:** f liegt als implizite Formel vor  
 Beurteilung, Veränderung, Optimierung  
 durch systematisches "Abtasten" von f  
 für verschiedene Werte der Einflußgrößen aus C, U  
 u.U. "Überblick", Grenzen/Schranken durch  
 Formelmanipulation: **numerisches  
 Vorgehen**

**schwierig:** Nur (Menge von) Zusammenhängen,  
 Abhängigkeiten formal notierbar  
 Beurteilung, Veränderung, Optimierung  
 durch schrittweises  
 "Konsistent-Machen" der Zusammenhänge  
 "Durchspielen" der Abhängigkeiten:  
**simulatives  
 Vorgehen**

Außer bei "ideal":  
 f immer nur "punktweise" (numerisch) erforscht

**Warnung:** wegen methodischer "Unterlegenheit"  
 sollte Simulation letzter Ausweg sein  
 (wenn "alles andere" versagt!)

**aber:** Dies ist (auch) subjektiver Gesichtspunkt  
 ( "Wissen" über alternative Techniken )

## Feinere orthogonale Klassifizierung symbolischer Modelle (Fish73):

<b>(i)</b>	<b>analytisch</b>	<b>numerisch</b>
	Ergebnisgrößen sind Funktionen der Einflußgrößen	Ergebniswerte können für jeden Wertesatz der Einflußgrößen ermittelt werden
zB	"Gesetze" Physik: Newton, Ohm Wartesysteme: Little	Implizite Formeln Simulator
<b>(ii)</b>	<b>statisch</b>	<b>dynamisch</b>
	zeitliche Veränderungen nicht beschrieben	Prozeßbeschreibungen, "Zustands"-Veränderungen über der Zeit beschrieben
zB	Aufstellungsplan Maschinensaal	Vorgänge Bankschalter, Nationalökonomie
<b>(iii)</b>	<b>deterministisch</b>	<b>stochastisch</b>
	alles ist / geschieht "mit Sicherheit"	Zufallsvariable beschreiben (Regelmäßigkeiten der) Unsicherheit / Variabilität
	oft reine Beschreibungsentscheidung, wobei Unwissen, auch Unwillen zum Detail wesentliche Rolle spielen	
	Beschreibungs-"Ökonomie"	
zB	Rechenzentrum, Montage Magnetbänder	
	a) feste Montagezeit:	deterministisch
	b) variierende Montagezeit:	stochastisch
	c) Kaffeepause etc.:	deterministisch
	d) variierende Mont.zeiten:	stochastisch

Weitere Beispiele (Fish73):

numerisch + dynamisch auch "prozedural" genannt

(Beschreibung Entwicklung über Zeit, schrittweise Analyse):

### Simulator / Simulation

	analytisch numerisch	statisch dynamisch	determinist. stochastisch
Beispiele	a n	s d	d s
Ohm'sches Gesetz	x	x	x
Normalverteilung	x	x	x
Newton's Gesetz	x	x	x
Markoff-Prozeß	x	x	x
Polynom, Ordnung > 4	x	x	x
Nichtlineare Differentialgleichung in der Zeit	x	x	x
Maximum-likelihood- Schätzer	x	x	x
Reparaturwerkstatt- Simulator	x	x	x

Feinere Unterscheidungen Simulatoren:

- **aggregiert / detailliert**

Entscheidung bei Modell"bildung":

Bei Simulation im Prinzip jedes Detail berücksichtigbar.

z.B.: Herstellungsprozeß

- jede Tätigkeit jeder Person und Maschine,  
jede Informationsübermittlung, ...
- Gesamt-Materialfluß (Ein- und Verkäufe),  
Personalbestand, Gesamt- Ein- und Ausgaben

Niveau Detaillierung

von Fragestellung (incl. Genauigkeit),

Ressourcen / Aufwand diktiert

Zumindest Größen, deren Werte in Beurteilung eingehen,  
müssen repräsentiert sein

- physikalisch / behaviouristisch**  
 rein physikalische Prozesse (z.B. Flugbahn Körper) /  
 menschliches Verhalten (z.B. Entscheidungsprozeß  
 im Bundestag)  
 Praktisch wesentlich: gemischter Fall
- Rechner- / Mensch-**  
 bzgl. "Durchführung" Simulation,  
 gemischte Fälle möglich
  - bei Unwissen über menschliches Verhalten,
  - in Erziehung und Ausbildung
- kontinuierlich / diskret**

zeitveränderliche Größen (Variable)	
können <b>sein</b>	können <b>sich verändern</b>
kontinuierlich	kontinuierlich mit der Zeit
	sprunghaft über diskreter Zeit
diskret	sprunghaft über kontinuierlicher Zeit
	sprunghaft über diskreter Zeit

diverse Kombinationen möglich

z.B.: Mann geht auf Tür zu

- kontinuierlich : kontinuierlich
- kontinuierlich : Zeitinkremente
- kontinuierlich : hier / dort
- hier / dort : hier / dort

**ereignisorientiert**  
**ereignisorientiert**

Unsere Lehrveranstaltung SIMULATION  
widmet sich (vorrangig) der

**ereignisorientierten (discrete event)  
im wesentlichen stochastischen  
Rechner-Simulation**

Simulation als Technik Spezialfall  
innerhalb verschiedener Wissensgebiete;  
für uns alle relevant

**System-Analytiker:**

Rechner-Simulation eine von vielen Simulations-Arten  
andere: Analog-Geräte (Schwingungen)  
Labormodelle (Windkanal)  
Testumgebung (Gesetzesauswirkung)

**Mathematiker:**

Simulationsmodell eine von vielen formalen  
System-Beschreibungsformen  
andere: analytische Modelle (Formeln)

**Statistiker:**

Simulator einer von vielen Systemtypen,  
die als stochastisch verstanden  
und experimentell untersucht werden  
andere: Laborexperiment,  
Experiment mit realem System

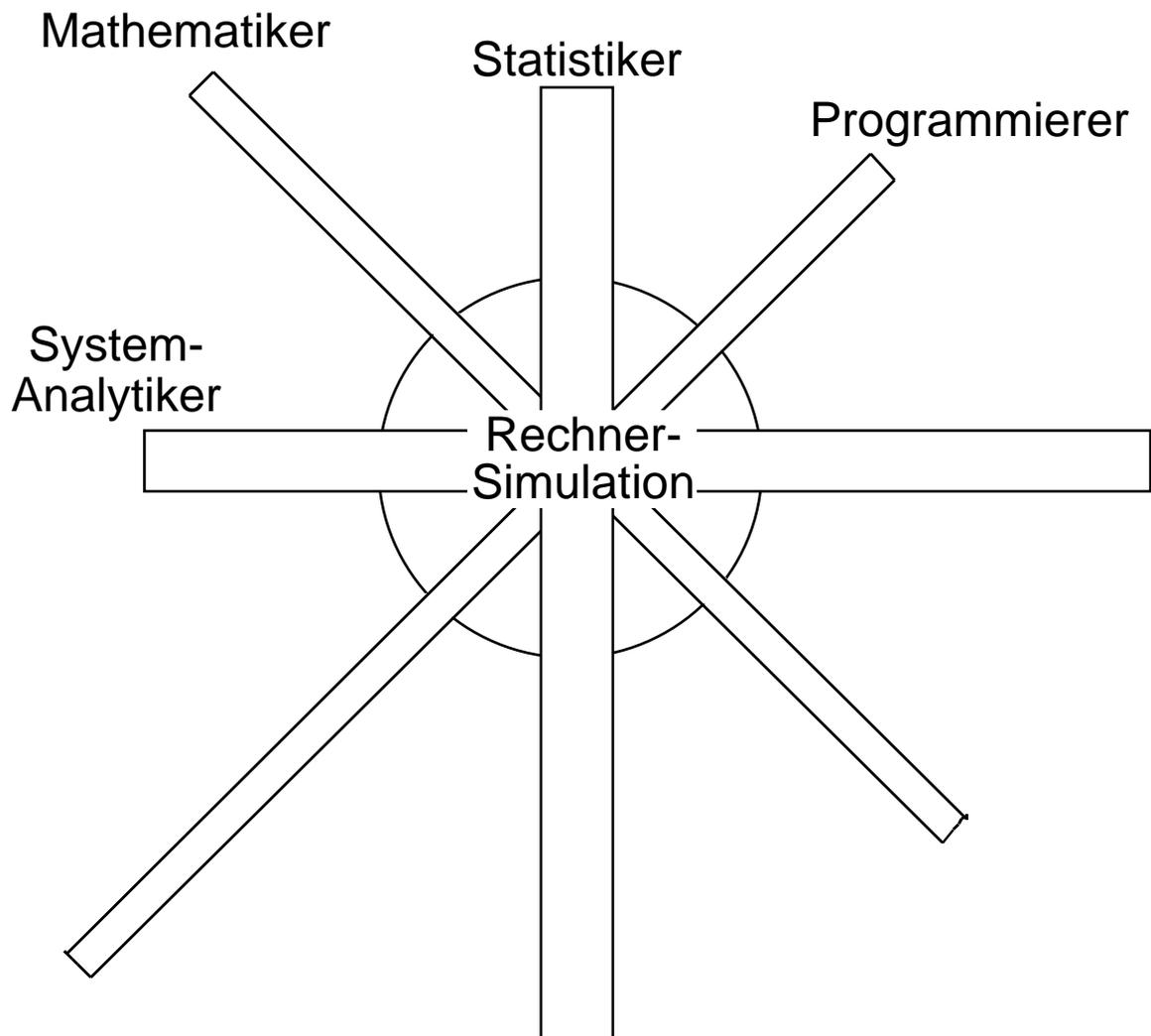
**Programmierer:**

Simulationsprogramm einer von vielen Programmtypen  
mit speziellen Programmier-Anforderungen, -Techniken

Also,

(ohne daß wir uns deshalb als Zentrum der Welt verstehen)

etwa so:



Frage: Wie erstellt man ein (Simulations-)Modell?

### "Technik" oder "Kunst" ?

- Modellbildung ("unvermeidlicherweise") weitgehend geprägt von Kenntnisstand des System-Analytikers  
"Kunst"
- nachfolgende Simulatorerstellung  
erlernbare Fertigkeit, vielfältig "Tool"-unterstützt  
"Technik"

Außerdem:

- Modellbau hat wichtige weitere (positive) Aspekte  
(über Erreichung von Zielen wie  
Einhaltung der Spezifikationen, Optimierung hinaus)
- Modelle dienen  
der Verständigung über ein System  
dem Verständnis für ein System  
der Vorhersage seines Verhaltens  
der Einrichtung / Prägung seines Verhaltens  
der Steuerung und Regelung seines Verhaltens

Umgangssprachlich "Modell" in zwei Bedeutungen benutzt  
(Evan88)

mit (für Informatiker) hilfreichen Ansatzpunkten

- Modell als "Idealbild": Spezifikation
- Modell als "Ersatzbild": Beschreibung(en)  
von Realisierung(en)

Mathematik: "umgekehrtes" Rollenverständnis!