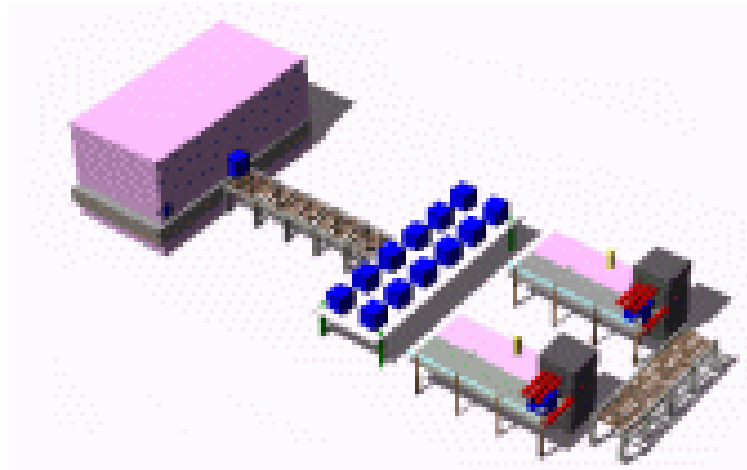


# Simulation für IT



Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiedemann  
email: [wiedem@informatik.htw-dresden.de](mailto:wiedem@informatik.htw-dresden.de)



HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN (FH)  
Fachbereich Informatik/Mathematik

## ◆ Zum Titel der Veranstaltung:

- ◆ Simulation komplexer Prozesse stellt höchste Ansprüche an die Abstraktion und Modellierung infolge vieler Unschärfen und Unbestimmtheiten und ist gegenwärtig auch in der realen Anwendung noch sehr schwierig und fehleranfällig
- ◆ Alle bei der betrieblichen Simulation verwendeten Verfahren lassen sich jedoch leicht auf die Simulation ökonomischer Prozesse anwenden.
- ◆ Bei Interesse sind auch kurze Ausflüge in technische Gefilde möglich !

## ◆ Zur Person:

- ◆ Studium der Automatisierungstechnik
- ◆ Promotion an der Humboldt-Uni-Berlin zum Thema Simulationssysteme, Industrietätigkeit im Bereich CAD/CAM und PPS
- ◆ Assistent TU Berlin,
- ◆ seit März 2002 an der HTW Dresden, aktive Mitarbeit in Organisationen zur Simulationstechnik

# Gliederung der gesamten Veranstaltung

- ◆ **Einführung in Modellierung und Simulation**
  - ◆ Begriffsbestimmungen und allgemeine Vorgehensweise
  - ◆ Einsatzgebiete und Grenzen der Simulationstechnik
  - ◆ Datenmodellierung und Klassifizierung von Simulationaufgaben
- ◆ **Simulation von Zufall**
  - ◆ Nachbildung von Zufall mit dem Rechner
  - ◆ Generierung verschiedener Zufallszahlenverteilungen
  - ◆ Monte-Carlo-Simulation
- ◆ **Kontinuierliche Simulation (Schwerpunkt)**
  - ◆ Erstellung von Differentialgleichungssystemen oder Ursache-Wirkungsdiagrammen
  - ◆ Numerische Lösungsmethoden und deren Anwendung
- ◆ **Diskrete Simulation (2. Schwerpunkt)**
  - ◆ Prinzipielle Vorgehensweise
  - ◆ Diskrete Simulation mit Programmiersprachen (SLX)
  - ◆ Bausteinorientierte diskrete Simulationssysteme (Enterprise Dynamics)
- ◆ **Kopplung von Simulationssystemen mit anderen Informationssystemen**
  - ◆ Optimierungssysteme, Datenerfassung, Ergebnisanalyse

# Hinweise zur Durchführung der Veranstaltung

- **Im Rahmen der Vorlesung theoretischer Stoff und Softwaredemos**
  - die Simulationstechnik basiert auf sehr vielen anderen Technologien und Techniken
  - notwendig sind Kenntnissen aus der Systemanalyse, Operation Research, mathematischer Statistik und sehr vielen Gebieten der Informatik (Programmierung, Datenerfassung, Bedienoberflächen)
  - aus Zeitgründen kann nur begrenzt eine Wiederholung dieser Themen gegeben werden
  - Eine selbstständige Wiederholung bzw. Vorbereitung ist daher teilweise notwendig !
- **in den Übungen und Praktika praktische Arbeiten**
  - Realitätsbezogene Modellierung und Datenerfassung
  - Test eigener Zufallszahlengeneratoren
  - Arbeit mit kommerziellen Simulationssystemen
- **Bewertung(en)**
  - Zwei größere Simulationsmodelle jeweils aus den beiden Schwerpunkten (als Voraussetzung für Klausurzulassung)
  - eine Klausur am Ende des Semesters
- **Alle Lehrmaterialien und Übungen werden im Internet abgelegt unter**  
[http://ivm108.informatik.htw-dresden.de/wiedem/lehre\\_simbs.html](http://ivm108.informatik.htw-dresden.de/wiedem/lehre_simbs.html)

# Einführung in die Modellierung und Simulation

- „**Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell**, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden“. [VDI3633-1]
- “Ein **Modell** ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. ...“ nach [VDI3633-1])
- Bei der **Computersimulation** erfolgt die Nachbildung in einem Rechner.

# Abgrenzung des Simulationsbegriffs in dieser VL

- **“Simulation** ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, ...“
- Umfang der **Nachbildung** sollte möglichst weitgehend sein – einfache Mengenkalkulationen in einigen PPS-Systemen sollten nicht als Simulation bezeichnet werden
- **dynamische Prozesse** sollten als echte Funktion der Zeit dargestellt werden – es entfallen damit Architekturmodelle oder reine Konstruktionsmuster
- das **experimentierbare Modell** soll Änderungen und auch Optimierungen des Modells erlauben
- Im Gegensatz zum Simulanten, welcher falsche Tatsachen vorspiegelt, ist das Ziel der Simulation die vereinfachte, aber korrekte Nachbildung der Wirklichkeit oder einer Idee !



# Wann ist eine Simulation sinnvoll und notwendig ?

**Untersuchungen und Experimente am System sind nicht möglich, da :**

- **zu sensibel** : Volkswirtschaften, Ökosysteme, politische Entwicklung in einem Staat oder einer Region, Wetter
- **zu teuer**: neue Fabriken und Produkte, Verkehrswegeplanung,
- **nicht zugänglich oder nicht real existent** : Produktideen, neue Werbestrategien, langfristige Firmenstrategie
- anderer, nicht direkt experimentell erfaßbarer **Zeitmaßstab**: Entwicklung der Sonne, Kernspaltung, langfristige Bevölkerungsentwicklung

**und auch analytische Methoden nicht möglich sind ! (siehe Folgeseite)**

## Probleme mit analytischen Methoden :

- zu große Ungenauigkeiten infolge fehlende Berücksichtigung von Sonderfällen oder speziellen Eigenschaften (Verhalten einzelner Individuen innerhalb eines ökonomischen Systems, Einfluss externer Wirtschaftsfaktoren, Konkurrenz)
- Teilweise oder ganz fehlende mathematische Formeln, z.B. für die Berechnung von Prozessen mit gegenseitigen Blockierungen
- vielfältige **zufällige Einflüsse** (stochastische Systeme), deren Auswirkungen nicht durch analytische Methoden berechnet werden können oder nur in speziellen Fällen (z.B. nur Exponentialverteilung) berechenbar sind.
- **Besonders das gleichzeitige Auftreten verschiedenartiger zufälliger Prozesse erfordert in den meisten Fällen eine Lösung durch Simulation.**

Bsp.: Berechnung von Warteschlangen gut gelöst für jeweils einen Typ von Ankunfts-wahrscheinlichkeit, Kombinationen verschiedener Ankunfts-raten sind nur schwierig berechenbar (Privat / Geschäftskundenverkehr)



# Wann ist eine Simulation **NICHT sinnvoll** ?

## **Simulationsmethoden sollten NICHT angewendet werden:**

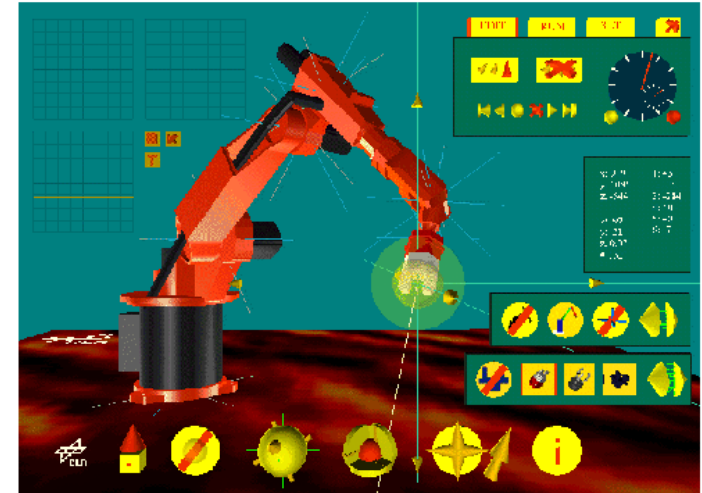
- falls analytische Methoden mit annähernd gleicher Genauigkeit und Aussagekraft anwendbar sind !
  - Der Aufwand für die Durchführung einer Simulationsstudie ist in der Regel immer höher als eine analytische Berechnung !
  - Analytische Ergebnisse sind häufig sicherer in der Aussage als Simulationsergebnisse, welcher auf einer großen Anzahl von Modellierungsschritten beruhen !
  - Falls möglich, sollten in jedem Fall analytische Methoden für erste Überschlagsrechnungen verwendet werden (siehe auch Verifizierung / Validierung)
- Falls die bekannten Fakten und Daten keine sicheren Aussagen erlauben !  
Simuliert werden kann prinzipiell alles, nur die Ergebnisse sind dann irrelevant !
  - Simulationsstudien sind kein Ausweg in letzter Not, sondern erfordern genau die gleiche oder größere Menge an Informationen wie vergleichbare analytische Verfahren.

# Aktueller Stand der Simulationsanwendung

- **ausgezeichnet im technischen Bereich:**

Autos oder Elektronikchips sind ohne Simulation nicht mehr herstellbar

- Crashtests (FEM) und Risikoanalysen mittels Simulation sind Standard
- Emulation oder „Hardware in the Loop“-Tests von Geräten werden immer häufiger



- **bewährter Einsatz bei der Planung von Fertigungseinrichtungen**

- Engpaßanalyse und Kostenoptimierung
- direkte 3D-Simulation der zukünftigen Fertigung

- **Defizite und nicht erfüllte Erwartungen:**

- bei der operativen Fertigungsplanung (prinzipiell sehr gut, aber kein breiter Einsatz in der Industrie)
- **bei betriebswirtschaftlichen und ökonomischen Fragestellungen**
- bei der Anwendung durch kleine und mittelständische Unternehmen

# Anwendungsgebiete in betriebswirtschaftlichen Szenarien

## **Globale Fragen :**

- erste Weltmodelle von Forrester in 60er Jahren mit Simulation des Bevölkerungswachstums, des Ressourcenverbrauchs und der Umweltverschmutzung
- Ergebnisse wurden vom "Club of Rome" breit diskutiert

## **Analyse von Firmenstrategien und firmenübergreifenden Kopplungen**

- Test von Entwicklungsstrategien unter Einfluß unbekannter externer Einflüsse (Konkurrenz, Absatzbedingungen, technische Entwicklung)
- Simulation der logistischen Kette (Supply Chain Management)
- Ermittlung der besten Strategie in Hinblick auf Profit und Marktanteile

## **Firmeninterne Analysen und Optimierungen :**

- Bestimmung von Engpässen und besonders stöempfindlichen Bereichen
- Ressourceneinsatzplanung und –optimierung, innerbetriebliche Logistik
- Personaleinsatzplanung

# Simulation von betriebswirtschaftlichen Szenarien

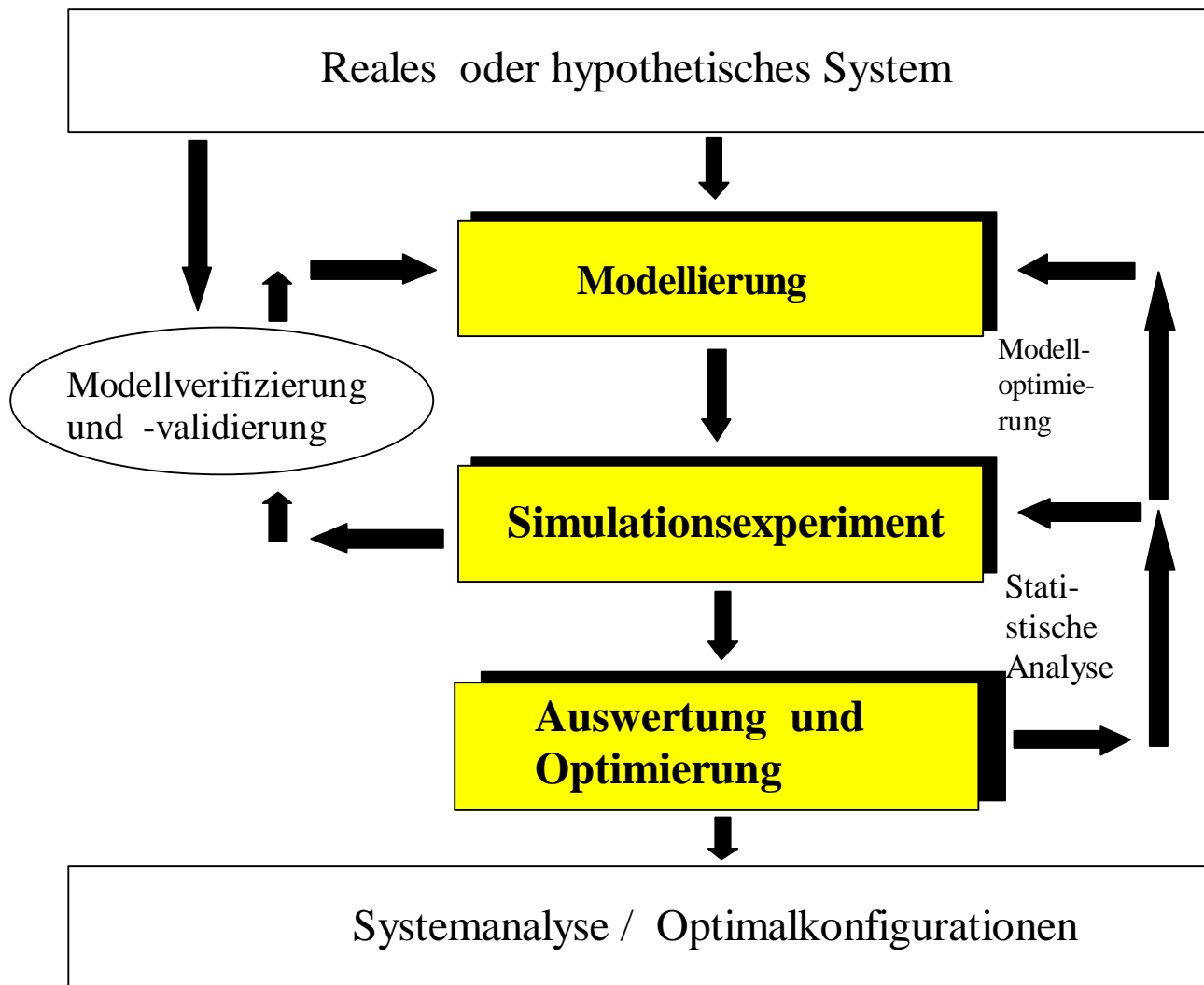
## Probleme bei betriebswirtschaftlichen und ökonomischen Fragestellungen :

- häufig zu geringe Kenntnisse in der Praxis zur Methodik, dadurch Unter- oder Überschätzung der Potentiale von Simulationsstudien
- sehr große Probleme bei der richtigen Beschreibung der zu lösenden Probleme (Mitwirkung sehr vieler zufälliger und subjektiver Faktoren )
- schlechtes Kosten/Nutzenverhältnis durch geringe Zahl von Anwendungen in einer Firma oder Abteilung

## Motivation und Zielsetzung dieser Veranstaltung :

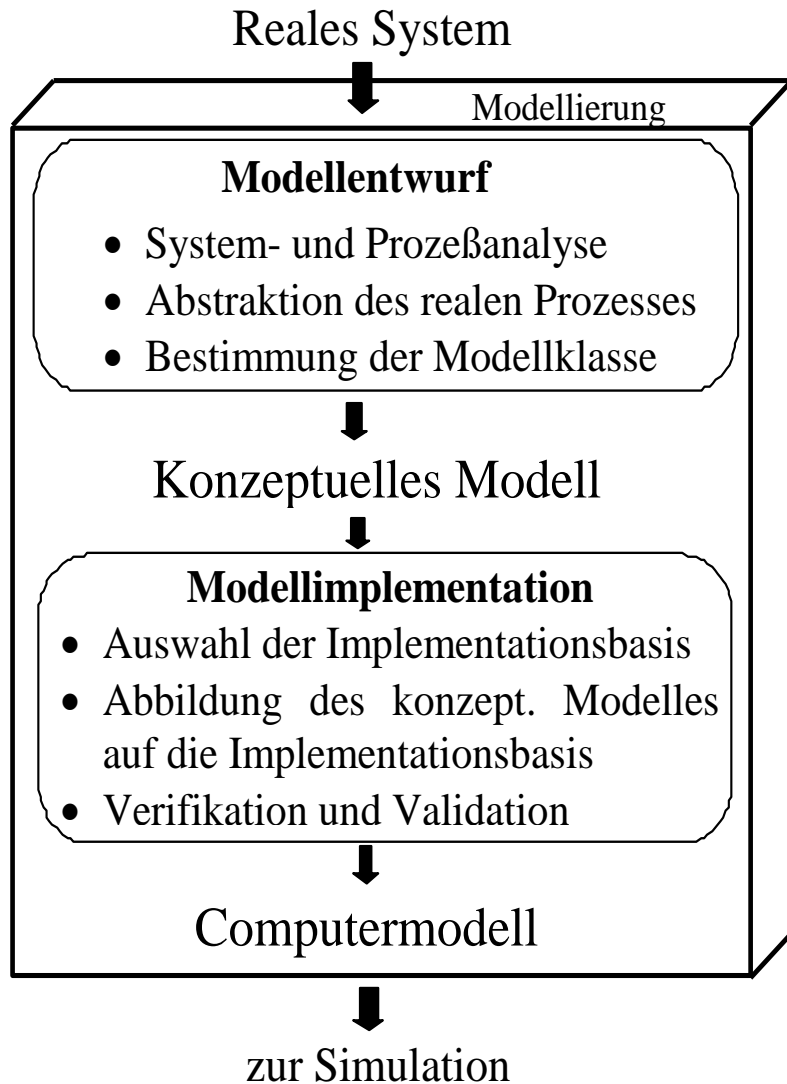
- Simulationsmethoden können auch bei ökonomischen Problemen sehr vorteilhaft einsetzbar sein !
- Die Grenzen und Risiken einer Simulationsuntersuchung müssen jedoch genau bekannt sein !
- Neue Optionen durch Internetapplikationen können das Kosten/Nutzenverhältnis stark verbessern (Application Service Providing)

# Prinzipieller Ablauf von Simulationsuntersuchungen



- meist iterativ
- auch mit mit Rücksprüngen
- bei determinierten Modellen reicht genau 1 Lauf
- Bei stochastischen Modellen sind mehrer (bis zu 30) Läufe notwendig

# Ablauf der Modellierung



- systemtheoretische Herangehensweise
- Abgrenzung des Prozesses
- Identifikation der wichtigsten Systemeigenschaften
  
- konzeptuelles Modell kann abstrakt in natursprachlicher Form oder mit formalen Mitteln beschrieben werden
- Implementierung des konzeptuellen Modelle in Abhängigkeit vom Simulationssystem
- Verifikation prüft Implementierung
- Validierung prüft gesamte Modellierung

# Systemanalyse im Rahmen der Modellierung

- **Definition der Systemgrenzen :**
  - Systemumgebung wird nur grob bzgl. der Einflüsse auf das System modelliert
  - Systemgrenze dient häufig als Schnittstelle zum Datenaustausch
  - ist stark abhängig vom Ziel der Untersuchung !

## Systemanalyse definiert :

- Systemobjekte (engl. Entities)
- Objektattribute
- Aktivitäten
- Ereignisse (Events)
- Zustandsgrößen (state variables)

### Beispiel: Fabrikhalle

- Maschinen, Produkte, Bediener
- Taktzeiten, Gewicht, Pausen
- Bearbeitung, Transport
- Störungen, Havarien
- Lagerfüllstand, Schichttyp

Systemumgebung wäre im Beispiel  
Einkauf und Absatz

# Hinweise und Tipps zur Systemanalyse

- Durchführung einer Istanalyse allein häufig schon heilsam oder informativ
- Verwendung verschiedener Aggregationsstufen - Beginn auf hohem Niveau mit einfachen Blockdiagrammen, danach schrittweise verfeinern
- zu Beginn sparsamer Einsatz von Formalisierungen zur Wahrung der Transparenz für den Auftraggeber
- Abstimmung der Istanalyse mit dem Auftraggeber (Ausarbeitung eines Weltbildes)
- Festlegung des Detaillierungsgrades des Modells
  - Unterscheidung zwischen Emulation (Abbildung jeden Details) und Simulation (Untersuchung der problemrelevanten Systemverhaltens)
  - Bewertung der Relevanz von Größen und Ereignissen (bei sehr seltenen, aber wichtigen Ereignissen Durchführung eines Szenarios statt langwieriger Simulationsexperimente)
  - eine zu geringer Detaillierungsgrad erbringt ungenaue und unvollständige Ergebnisse
  - zu großer Eifer bei der Modelldetaillierung äußert sich in zu komplexen, nicht mehr sinnvoll berechenbaren Modellen, Verlust des Modellverständnisses und damit nicht mehr nachvollziehbarem Modellverhalten

**ALTER INGENIEUR– GRUNDSATZ: NUR SO GENAU WIE NÖTIG !**



# Modellierung der Inputgrößen und Rohdaten

- Nach [Liebl95] : „Rohdaten zu erheben ist ein ebenso entscheidender wie frustrierender Prozeß. .. Grob gesprochen hat man entweder zu wenige, oder nicht die richtigen, jedoch verwandte Daten“
- Zuwenig Daten heißt, die Stichprobenumfänge sind zu gering. Oder es liegen nur summarische Größen, wie Mittelwert oder Varianz, nicht jedoch die eigentliche Reihe vor.
- „Nicht richtige, aber verwandte Daten können auftreten durch falscher Aggregationsgrad (Monats- statt Tagesstatistik), falscher zeitlicher, räumlicher, oder sachlicher Bezug oder gruppierte Daten (z.B. Verbrauch pro Haus)
- Allgemein werden Input- und Rohdaten in Formeln (  $y = f(x)$  ) oder Tabellen abgebildet.
- Zunehmend kommen auch Datenbankschnittstellen zum direkten Import von realen Daten zum Einsatz.

## Modellverifikation

- überprüft die Funktion des Computermodells anhand von Funktionstests in Relation zum konzeptuellen Modell, gewisse Analogie zu allgemeinem Softwaretest
- stark implementierungsbezogen (Details dazu später)

## Die Modellvalidierung

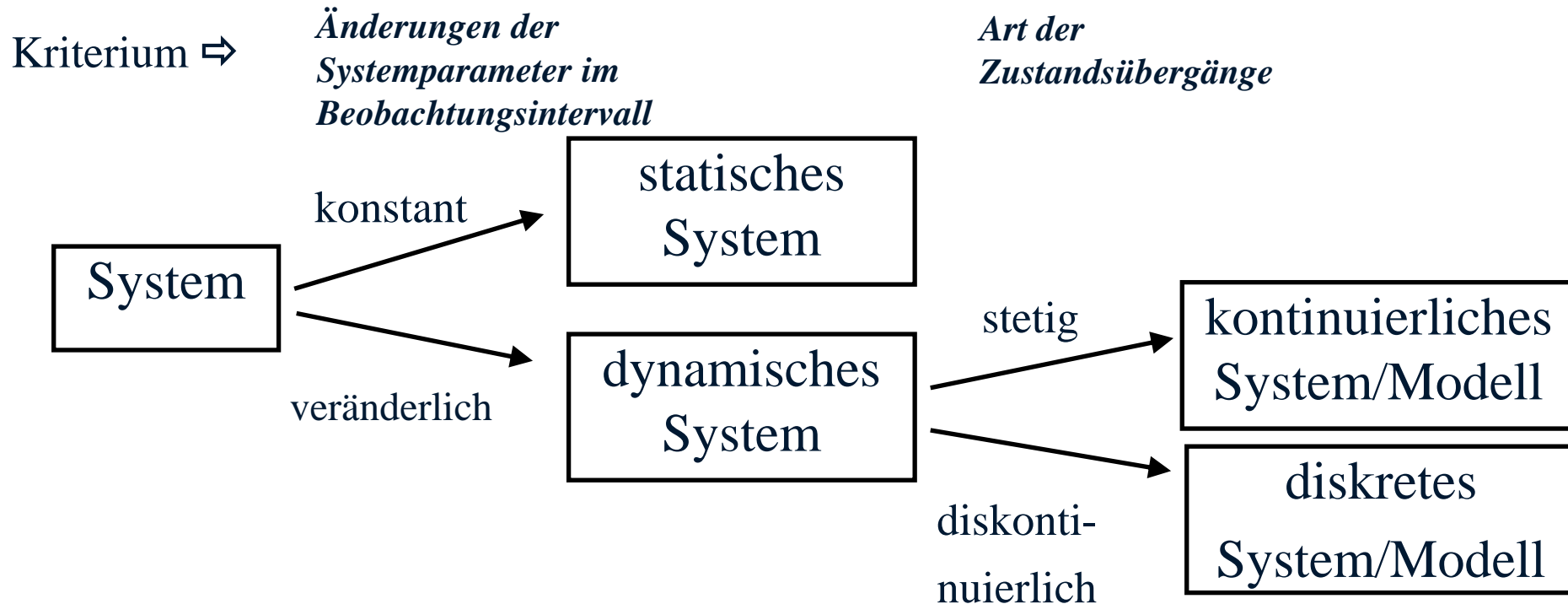
- vergleicht das Verhalten des Modellsystems und insbesondere des Computermodells mit dem Original oder dem geplanten Verhalten des hypothetischen Systems
- ist deutlich abstrakter, umfangreicher und anspruchsvoller

## Die Sensitivitätsanalyse

- ist eine spezielle Form der Modellüberprüfung
- bei erfolgreicher Modellvalidierung wird die Reaktion des Computermodells auf Änderungen der Ausgangsdaten und wichtiger Modellparameter getestet
- Kleine Änderungen der Eingangsdaten sollten auch nur kleine Änderungen des Modellverhaltens erzeugen
- ergibt damit ein gewisses Maß der Robustheit und Stabilität des Computermodells.

# Klassifizierung der Modelle und Simulationssysteme

- hängt von den dynamischen Prozessen des zu modellierenden Systems ab
- Statische, d.h. unveränderliche Systemen sind laut Definition NICHT GEGENSTAND der Simulationstechnik



**ACHTUNG** : Aus dem Zeitverhalten eines realen Systems kann nicht zwingend auf den Charakter des Modells geschlossen werden. Je nach Untersuchungsziel, Beobachtungszeitraum und Systemabgrenzung kann der Charakter des Modells vom Charakter des Systems verschieden sein ! Die Modellart bestimmt allerdings eindeutig das Simulationssystem.

# Die zwei Haupttypen von Simulationsmodellen

## Kontinuierliches System (Modell)

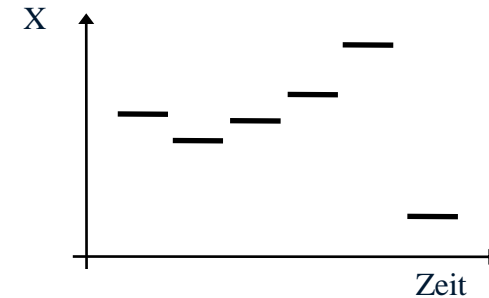


- Stetiger Wertverlauf der Parameter

### Typisch und relevant für :

- physikalisch - chemische Prozesse
- komplexe Systeme, bei denen einzelne diskrete Abläufe vernachlässigt werden können (z.B. Bevölkerungsentwicklung)
- Bankgeschäfte, Zinsentwicklungen in längerfristigen Zeitrahmen

## Diskretes (diskontinuierliches) System (Modell)



- Sprunghafte Werteveränderung nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten

### Typisch und relevant für :

- allgemeine Teilefertigung
- Lagerhaltung von abzählbaren Produkten
- Telekommunikation (Verbindungen)
- Warteschlangenprobleme (Bankschalter)
- Tagesgeschäft an Börsen mit Unterscheidung einzelner Transaktionen

# Historische Entwicklung der Simulationstechnik

<b>Zeitraum</b>	<b>Charakteristik</b>	<b>Sprachbasis oder Produkt</b>
0. Generation vor 1950	Realtime - Simulatoren aus militärischen Planspielen und Trainingsgeräten	Flugsimulatoren, Fahrtrainer (reine Hardware)
1. Generation ab 1950	Modellaufbau mit höheren Programmiersprachen, keine simulations-spezifische Unterstützung, sehr schnell	FORTRAN ALGOL ..
2. Generation ab 1960	Unterstützung in Ablaufkontrolle, Zufallszahlenerzeugung, Präsentation	SIMSCRIPT, GPSS SIMULA
3. Generation ab 1970	Kombinierte Hybridsimulation ( zeitdiskret und zeitkontinuierlich )	GASP IV, ACSL GPSS-FORTRAN 3
4. Generation ab 1980	Anwendungsspezifische Simulatoren, Animation	SEE WHY, TAYLOR SIMFACTORY,
5. Generation ab 1990	Modellbeschreibungssprachen, Experimentierumgebungen, Grafik, Datenbankanbindungen, Einsatz von Komponenten der KI	GEST, SYSMOD, SIMPLEX II

# Simulationssprachen

## **Universelle Programmiersprachen** (zu Beginn FORTRAN und ALGOL, heute C )

- eignen sich aufgrund der geringen Anschaffungskosten und sehr guten Laufzeiteigenschaften besonders zur Erstellung und Analyse relativ kleiner, aber sehr intensiv genutzter Modelle
- Erfordern jedoch sehr große Entwicklungsaufwand (alle simulationsrelevanten Algorithmen müssen implementiert werden)

## **Simulationssprachen**

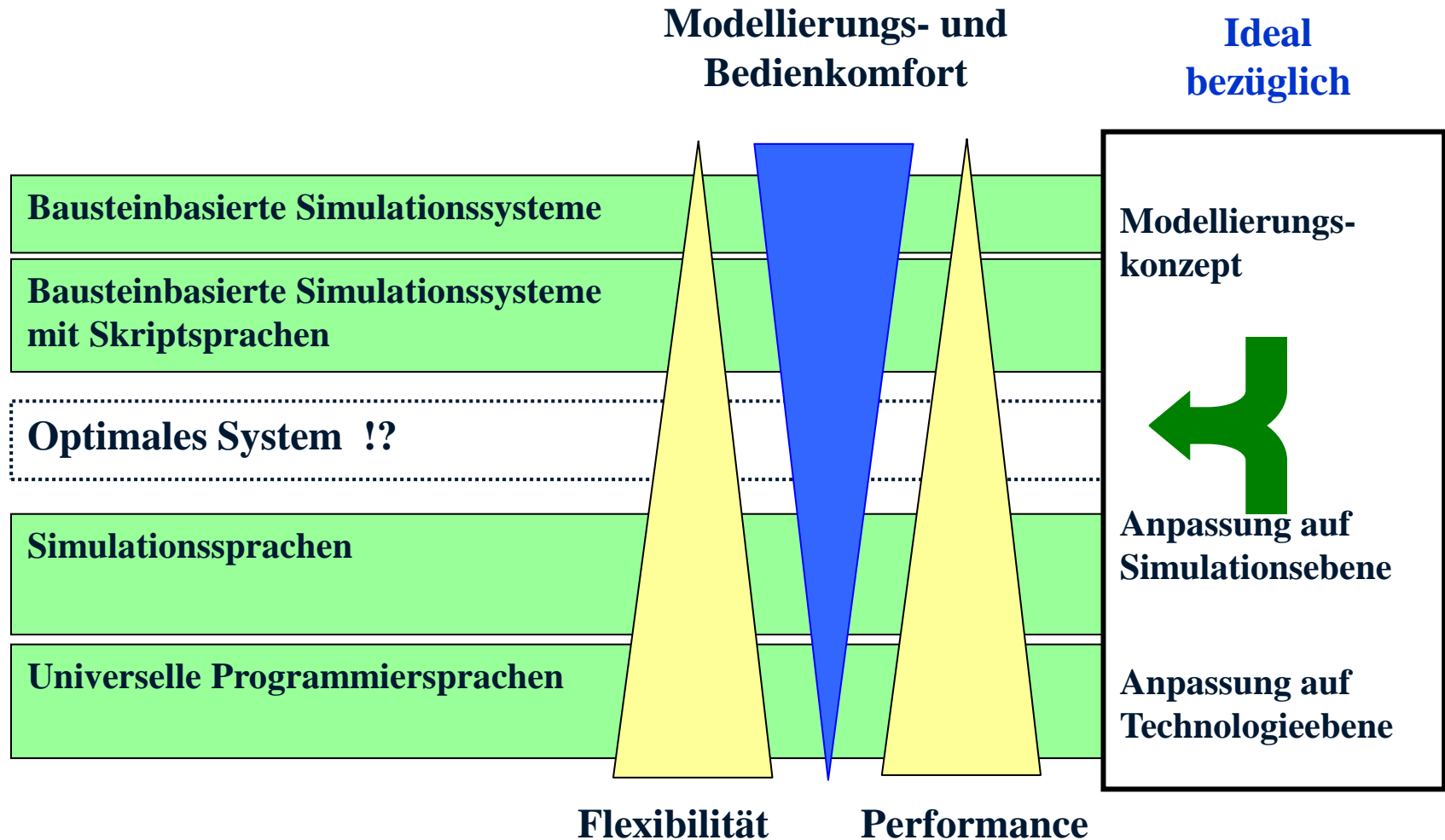
- sind in semantischer Hinsicht bereits für Simulationsaufgaben vorbereitet.
- Häufig wiederkehrende Programmbausteine zur Simulationsdurchführung und -organisation sind bei diesen Sprachen bereits als Grundbefehle oder Module enthalten.
- eine hohe Flexibilität bei gleichzeitig guten Modellierungs- und Laufzeiteigenschaften sind universelle Simulationssprachen das ideale Werkzeug des Simulationsexperten
- Noch relativ moderate Preise – von Freeware bis etwa 5000 Euro

## Anwendungsorientierte Simulationssysteme

- modellieren mit einer der Problemwelt sehr nahestehende Fachsprachen oder durch Verknüpfung von fertigen Modellierungsbausteinen (z.B. bei den Simulationssystemen TAYLOR (vgl. [Taylor]) oder FACTOR der Fa. Pritzker)
- kommen mit einem Minimum oder gänzlich ohne Programmierung aus und eignen sich für Anwender ohne tiefgehende Informatikkenntnisse,
- sehr gute Unterstützung der Simulations- und Auswertungsphase durch komplexe Experimentierumgebungen,
- eine häufig nur geringe Flexibilität und damit auch kleinere Einsatzbreite,
- beachtlicher Entwicklungsaufwand und meist erhebliche Preise – bis zu 100.000 €
  
- Sinnvoll für den Einsatz durch Fachexperten ohne Zeit oder tiefergehende Programmierkenntnisse (Multitasking / effiziente Verwaltung großer Datenmengen )

# Die Arten von Simulationssystemen im Vergleich

Gegenwärtig existiert kein in allen Belangen optimales System





# Regeln zur Simulationsdurchführung (Zusammenfassung)

Simulationsstudien sind komplexe Projekte. Nach [Liebl95] drohen dabei eine Reihe von Gefahren, sehr prägnant dargestellt als die

## Die sieben Todsünden der Simulation

- 1. Falsche Definition des Studienziels**
- 2. Ungenügende Partizipation des Auftraggebers**
- 3. Unausgewogene Mischung von Kernkompetenzen**
- 4. Ungeeigneter Detaillierungsgrad**
- 5. Wahl des falschen Modellierungswerkzeuges**
- 6. Unzureichende Validierung**
- 7. Klägliche Präsentation**

Simulationsuntersuchungen müssen mehr noch als analytische Untersuchungen unter dem Aspekt eines optimalen Projektmanagements organisiert und gemeinsam mit dem Auftraggeber durchgeführt werden.

# Literatur

- [Banks99] Banks, Jerry : Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Application & Practice. New York John Wiley Inc. 1999
- [Liebl95] Liebl, Franz: Simulation: Problemorientierte Einführung. 2. überarb. Auflage. R. Oldenbourg Verlag München; Wien Oldenbourg, 1995
- [VDI3633] VDI (Hrsg.): Richtlinie VDI 3633, Blatt 1: Simulation von Logistik-Materialfluß- und Produktionssystemen: Grundlagen. Düsseldorf 1993
- [HLA1] Defense Modeling and Simulation Office, HLA compliance rules <http://www.dmsso.mil/docslib/>

# Diskussion

