

Vorlesungsreihe Simulation betrieblicher Prozesse

# Systemanalyse bei der Entwicklung von Simulationsmodellen

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

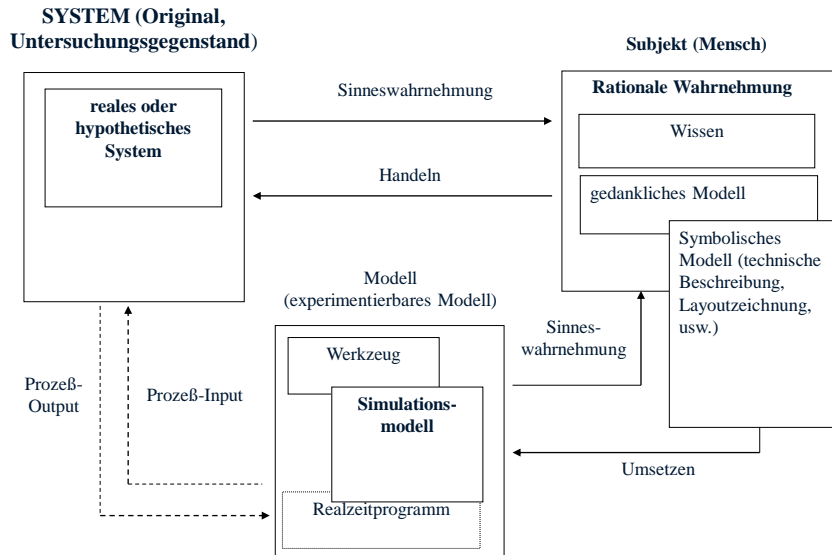


HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN (FH)  
Fachbereich Informatik/Mathematik

## Übersicht

- ◆ **Überblick zur Systemanalyse und Modellierung**
  - ◆ Systemdefinition aus Sicht der Simulationstechnik
  - ◆ Typische Merkmale von betrieblichen Systemen
- ◆ **Durchführung der Systemanalyse**
  - ◆ Arten der Systemanalyse
  - ◆ Beschreibungsmittel
- ◆ **Das "Strukturierungsmodell der Fabrik"**
  - ◆ Zerlegung betrieblicher Systeme
  - ◆ Objekthierarchie
  - ◆ Wechselwirkung mit anderen Informationssystemen
- ◆ **Weitere Referenzsysteme**
  - ◆ Modellierung von EDV-Systemen
  - ◆ Verkehrssysteme

## Der Modellierungsprozess nach VDI 3633 Blatt I



Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 3

## Systemdefinition aus Simulationsicht

**Systemdefinition nach [VDI3633-1] :**

„Ein System ist eine abgegrenzte Anordnung von Komponenten, die miteinander in Beziehung stehen (vgl. [DIN19226-1]). Es ist gekennzeichnet durch

- die Festlegung seiner Grenze gegenüber der Umwelt (Systemgrenze), mit der es über Schnittstellen Materie, Energie und Informationen austauschen kann,
- die Komponenten, die bei der Erhöhung der Auflösung selbst wiederum Systeme darstellen (Subsysteme) oder aber als nicht weiter zerlegbar angesehen werden (Systemelemente),
- die Ablaufstruktur in den Komponenten, die durch spezifische Regeln und konstante oder variable Attribute charakterisiert wird,
- die Relationen, die Systemkomponenten miteinander verbinden (Aufbaustruktur), so dass ein Prozess ablaufen kann,
- die Zustände der Komponenten, die jeweils durch Angabe der Werte aller konstanten und variablen Attribute (Zustandsgrößen) beschrieben werden, von denen im allgemeinen nur ein kleiner Teil untersuchungsrelevant ist,
- die Zustandsübergänge der Komponenten als kontinuierliche oder diskrete Änderungen mindestens einer Zustandsgröße auf Grund des in dem System ablaufenden Prozesses.

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 4

## Typische Systemeigenschaften im Simulationsbereich

Ausgehend von den Einsatzkriterien der Simulation (kein Zugang mit üblichen analytischen Methoden / häufig zufällig Einflüsse) sind zu simulierende Systeme meist geprägt durch :

- **Komplizierte Systemstrukturen mit vielen unterschiedlichen Objekttypen und Wechselwirkungen**

- gegenständliche Ressourcen (Maschinen, Gebäude, Transportmittel usw.)
- Informationsflüsse (Analogien zur Geschäftsprozeßmodellierung)
- Stoff- und Energiekreisläufe
- Menschliche Einflußfaktoren (Personalstruktur, Entscheidungsverhalten)

- **Hohe Komplexität des dynamischen Verhaltens**

- starke Rückkopplungen zwischen den Systemobjekten
- meist dynamisch agierende Objektgruppen oder Systemteile
- Hierarchien von Objekttypen

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 5

## Arten der Systemanalyse

- **Die Systemanalyse dient der Modellbildung**

**Zwei prinzipielle Arten der Systemanalyse** (vgl. [Müller 2000])

- Theoretische Systemanalyse
  - auf der Basis von a priori-Informationen
  - erzeugt erklärende, strukturtreue Modelle zur Beschreibung der verhaltensbestimmenden Struktur des Systems
  - setzt relativ tiefgehendes, theoretisches Verständnis des Systems voraus, welches in der Praxis betrieblicher System selten möglich ist
- Experimentelle Systemanalyse
  - auf der Basis von empirischen Informationen
  - in der Regel durch Beobachtungen und Messungen
  - erzeugt statistische Modelle zur Beschreibung des Systeminputs und der Systemreaktion
  - meist in Form mathematischer Beschreibungen oder strukturierter Daten
  - Bezug zur tatsächlichen, inneren Modellstruktur nicht immer gegeben

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 6

## Allgemeine Vorgehensweise

- **Die Systemanalyse gliedert sich in zwei Abschnitte**
- **Analyse** des Systems
  - Auflösung und Zergliederung der Systemstrukturen
  - Bestimmung der Systemobjekte (engl. Entities) und Objektattribute
  - Unterscheidung von internen und externen Aktivitäten und Ereignisse
  - Untersuchung auf einzelne Merkmale
  - Bestimmung wichtiger Kenngrößen und deren Zielorientierung
- **Abstraktion** der wesentlichen Systemeigenschaften
  - Verallgemeinerung von Eigenschaften durch Idealisierung
  - Ableitung von Gesetzmäßigkeiten
  - Vernachlässigung unbedeutender Größen (kritisch -> teilweise Sensitivitätsanalyse notwendig )
  - Reduktion der Systemkomplexität durch unterschiedliche Abstraktionsstufen auf verschiedenen Hierarchieebenen

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 7

## Definition eines Zielsystems

### Anpassung der Systembeschreibung an die Problemstellung :

- Enthält nur die problemrelevanten Systemgrößen
- Neben Gesamtziel existieren meist oft widersprüchliche Teilziele
  - z.B. Teilziele der Produktionsplanung :
    - **Minimierung der Durchlaufzeiten**
    - **Minimierung der Terminabweichungen**
    - **Maximierung der Auslastung**
    - **Bestandsminimierung**
  - Mit den weiteren Subzielen
    - Optimierung der Anlagekosten, Lagerhaltungskosten, Kapitalbindung, Lieferbereitschaft, Rüstkosten
- Im Rahmen von Optimierungsläufen mit Simulationsmodellen können Kompromissmengen mit einem Gesamtoptimum gesucht werden.

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 8

## Systemabgrenzung

### • 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 und bestimmt den Aufwand !

### 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

## TOP-Down-Systemanalyse

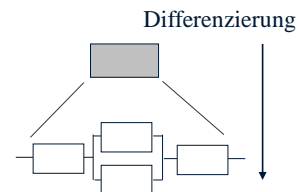
- TOP-Down-Ansatz geht von der höchsten Hierarchieebene aus (z.B. gesamtes Unternehmen oder ganze Volkswirtschaft)
- sukzessive Verfeinerung der Strukturen in der näher zu untersuchenden Bereichen

### Vorteile des Ansatzes

- Sichere Problemerkennung durch ganzheitliche Sicht
- Besseres Verständnis der gesamten Systemstruktur
- Begrenzung des Aufwandes auf problemadäquaten Abstraktionsgrad

### Nachteile

- Hohe Anforderungen an das Abstraktionsvermögen
- Gefahr der Ablenkung von der eigentlichen Aufgabenstellung durch andere Probleme
- Potentieller Mehraufwand bei zu weit gefassten Systemgrenzen

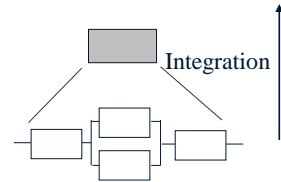


## Bottom-Up-Systemanalyse

- Bottom-Up-Ansatz geht von Details aus und synthetisiert daraus höhere Ebenen

### Vorteile des Ansatzes

- Einfaches Systemverständnis durch geringen Abstraktionsgrad der Detailelemente
- Möglichkeit der schnellen Detailanalyse
- Einsatz vorgefertigter Strukturen möglich (Standardfertigungstypen: flexible Fertigung, Fließfertigung ...-> Einflüsse auf Modellierung ??  
-> strukturbedingter / informationsbedingter Objektfluss !!



### Nachteile

- Erkennung des Gesamtzusammenhangs schwierig
- hoher Modellierungsaufwand bei sehr komplexen Originalsystemen (da immer von Details ausgegangen wird)

**Bei praktischen Aufgabenstellung hat sich eine Mischform bewährt: Erste Analyse mit Top-Down und dann Bottom-Up von Problemzonen.**

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 11

## Beschreibungsmittel der Systemanalyse

**Ergebnisse der Systemanalyse müssen dokumentiert und mit den Systemverantwortlichen (Auftraggeber) diskutiert werden.**

### Optionen der Systembeschreibung

#### • **Textuelle Beschreibung**

- geringer Aufwand, aber nicht immer sehr übersichtlich
- günstig im Fall von Simulationssprachen mit fast natursprachlicher Beschreibung (SIMSCRIPT)

#### • **Grafische Beschreibungen**

- Ursache-Wirkungsdiagramme (Forrester) 

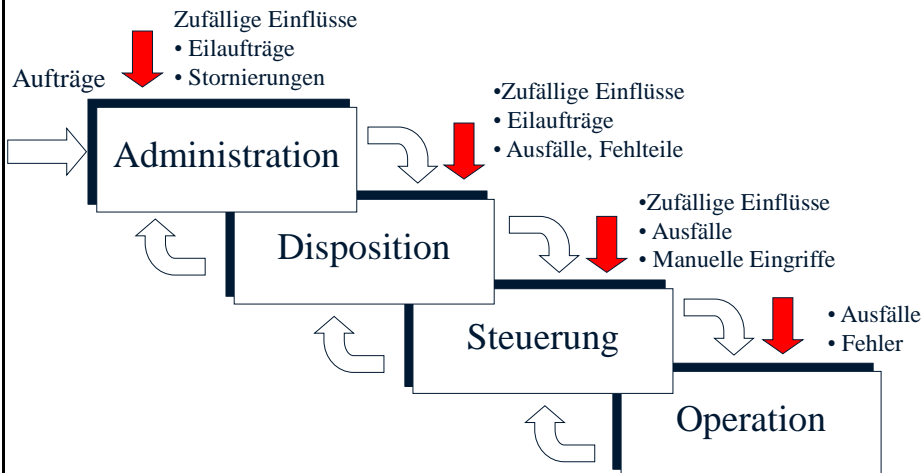
Ursache	→	Wirkung
---------	---	---------
- Datenflußdiagramme (z.B. Structured Analysis und Design Method SADT)
- Geschäftsprozeßmodelle (ARIS), Organigramme
- Zustandsdiagramme (sehr günstig für Funktionsbeschreibungen und starke Ähnlichkeit mit der Modellierungsweise einiger Simulatoren)
- Entity-Relationship-Modelle der Basisdaten (nur als Datenlieferant, da keine Ablaufinformationen, ggf. indirekt über Daten der Arbeitspläne ableitbar !)

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 12

## Das Strukturierungsmodell der Fabrik

Das "Strukturierungsmodell der Fabrik" ist eine spezifische Form zur Modellierung der relativ ähnlichen Strukturen betrieblicher Prozesse:

- Abbildung des Systems "Fabrik" als vier vermaschte Regelkreise



Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 13

## Administration & Disposition

### Die Administration

- stellt die höchste Ebene des Fabrikmanagements dar
- definiert die Systemgrenzen zu Systemen außerhalb der Fabrik (Kunden, Lieferanten)
- erzeugt die Systemlast (eingehende Aufträge)
- gibt grundlegende Handlungsoptionen vor (Normal/Sonderschicht)
- überwacht die Abläufe auf der Basis von Statistiken

### Die Disposition

- verwaltet die Aufträge und Betriebsmittel
- dient der Zuordnung von Aufträgen zu Betriebsmitteln auf der Basis von Optimierungskriterien (z.B. maximale Auslastung)
  - entweder per Vorplanung bereits vor der eigentlichen Durchführung
  - oder im Moment der Durchführung (situationsabhängiges Entscheiden)

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 14

## Steuerung & Operation

### Die Steuerung

- organisiert die Abläufe innerhalb der Komponenten der eigentlichen Operation
- wertet Zustände von Systemobjekten aus
- versucht Konflikte bei der Ressourcenbelegung zu lösen

### Die Operation

- bildet die physische Struktur des Material- und Stoffflusses ab  
verwaltet die Aufträge und Betriebsmittel
- Modelliert die Fertigungsprozesse durch zeitverbrauchende  
Aktivitäten und ändert Objektparameter (z.B. Position, Gewicht)
- Optional können auch Kostenrechnungen (Kostensimulation) oder  
Stoffmengenkalkulationen stattfinden
- Generierung von Statusinformationen für die anderen Module

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 15

## Abstraktionsgrad der Module

Je nach Aufgabenstellung sind die Detaillierungsgrade der einzelnen Module unterschiedlich:

### **Zur Optimierung der primären Fertigungsprozesse**

- Administration, Disposition als Black-Box mit nur sehr einfachen Verhaltensmuster (Standardeinlastung)
- Steuerung und Operation sehr detailliert mit Modellierung von Störungen und Optimierungsstrategien

### **Zur Optimierung des Fabrikmanagements**

- Steuerung und Operation jeweils als Black-Box mit weitgehend störungsfreien Verhalten
- Administration und Disposition sehr detailliert mit einer Vielzahl von Handlungsalternativen

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 16



## Modellierung von betrieblichen Systemobjekten

Bei der Umsetzung der in der Systemanalyse gewonnenen Erkenntnisse werden die Systemobjekte in zwei Gruppen geteilt:

### Aktive Systemobjekte

- haben eine eigene, interne Ablauflogik und wirken auf andere Systemobjekte ein
- Die Modellierung erfolgt mit aktiven Modellbausteinen.

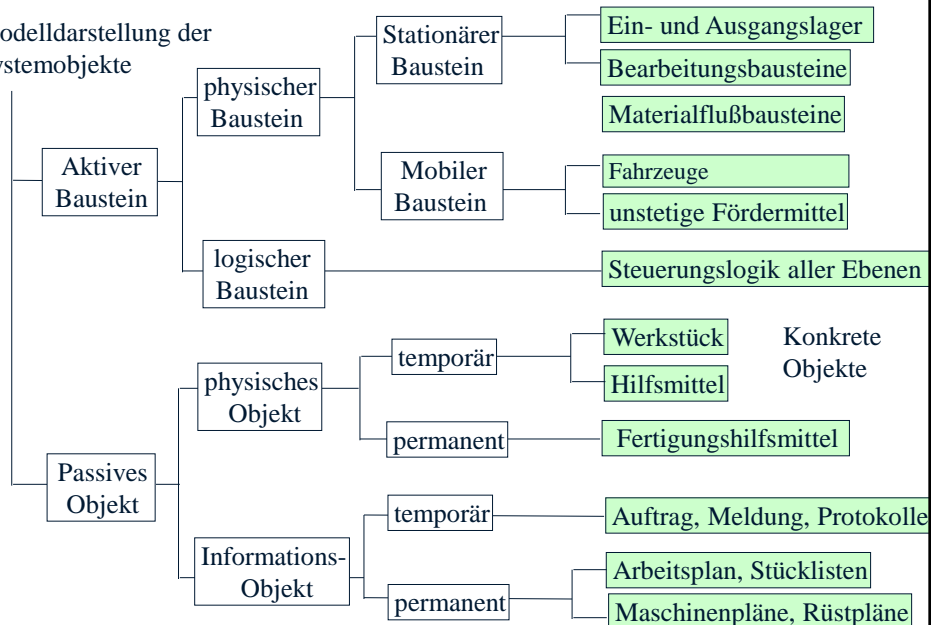
### Passive Systemobjekte

- haben keine eigene Ablauflogik und werden nur durch aktive Modellobjekte beeinflußt oder in den Eigenschaften verändert
- Die Modellierung erfolgt durch Modellobjekte in der Form von Datenstrukturen oder Vektoren.
- Je nach Aufgabenstellung sind die Zuordnungen fließend.
- Fahrzeuge oder Personen können sowohl als aktiv wie passive Komponenten modelliert werden.

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 17

## Eine Objekthierarchie für betriebliche Systemobjekte

Modelldarstellung der Systemobjekte



Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 18

## Wechselwirkungen mit anderen Informationssystemen

### Einbeziehung vorhandener EDV-Daten in die Simulation :

- **Topologie** (räumliche Struktur und Anordnung)
  - CAD-Daten oder sonstige Grafiken des Anlagenlayouts (einige Simulatoren können diese direkt laden)
  - GIS-Daten von Regionen oder Verkehrswegen
  - Koordinatenlisten von Ressourcenanordnungen, Fahrwege als Punkteliste
- **Dispositions- und Steuerdaten**
  - alle Stammdaten aus der PPS (Auftragsbestand, Stücklisten, Fertigungsaufträge, Auftragsstücklisten)
  - Falls möglich, auch operative Daten aus Fertigungsleitständen o.ä
- **Daten der Fertigungsobjekte**
  - Verwendung von Maschinenstammdaten (technische Daten zu Durchsatz, Verfügbarkeit (max. 1 Ausfall pro Monat), Wartungsintervalle)
  - Kapazitätslisten und Wartungspläne (Verfügbarkeit / Schichten)

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 19

## Einfluß der Fragestellung auf die Modellierung

### Analyse und Suche nach dem Optimum

- **von numerischen Parametern (z.B. Kapazitäten / Zeiten / Ressourcenzahlen )**
  - Einstellung als Anfangswerte im Modelle
  - Experimente mit anderen Werten ... Optimierung bis zum Erreichen der gewünschten Ergebniswerte
  - Grundstruktur des Modell kann unverändert bleiben – Änderungen beschränken sich auf das Setzen von Zahlenwerten und Steuerparametern
- **von strukturellen Eigenschaften (räumliche Struktur und Anordnung der Maschinen und Anlagen)**
  - sehr viel aufwändiger, da entweder größere Änderungen im Modell notwendig oder entsprechende Änderungen müssen vorab berücksichtigt werden
  - es müssen komplexe Steuerinformationen / Wege modifiziert werden.
  - sehr günstig ist die Verwendung des Prinzips „flexibler Fertigungssysteme“ auch bei starren Systemen, da durch die Änderung der Steuerinformationen entsprechende Strukturänderungen leicht nachgebildet werden können

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 20

## Modellierung von EDV-Systemen

### Motivation

- stark anwachsende Stochastik durch zufällig abrufende Internetnutzer (Probleme mit Traffic-Kosten und Serverkapazitäten -> Bestimmung der Preissegmente und Tarifgrenzen)
- Komplexität der EDV-Netze erfordert neue Strategien bei der Havarieplanung (Blackout in den US-Ostküstenstaaten durch Zusammenbruch eines an sich unkritischen Überwachungsnetzwerks)

### Realisierung mit einer großen Bandbreite von Modellen

- stark Hardware-bezogene Simulation (mit VHDL als HW-Description) für Analyse von Netzwerkkartenprotokollen auf den unteren Ebenen (OSI 0-2)
- grobe Nachbildungen der Ethernet- und TCP/IP-Protokolle für Kapazitätsbestimmungen und Lastnachbildungen auf einer 2. Ebene mit genauer zeitlicher Charakteristik
- an hydraulische Systeme angelehnte Modellierung großer Netze (keine Einzelpakete mehr, sondern Ströme von Informationen)
- die Spezifik der Netzwerkprotokolle erfordert meist auch sehr spezielle Simulatoren oder spezielle Erweiterungsmodule bei den Standardsimulatoren

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 21

## Modellierung von Verkehrssystemen

### Motivation

- stark anwachsender Verkehr weltweit steht vor dem Kollaps
- Investitionen bringen nicht immer positive Effekte

### Verschiedene Modellierungsoptionen

- Mikroskopische Modelle :
  - Sehr genaue Modellierung der Verkehrsobjekt mit allen Details (z.B. auch Fahrzeug- und Fahrereigenschaften, genaue Verkehrsführung mit Spuren, Ampelen etc.)
- Makroskopische Modelle
  - In Anlehnung an hydraulische Systeme Nachbildung mit Flüssen (Druck = Verkehrsaufkommen, Flussgeschwindigkeit = Verkehrsgeschwindigkeit)
- teilweise auch Mischsysteme

Diskrete Simulation (Masterkurs) – Systemanalyse - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 22

## Zusammenfassung

### Systemanalyse bei der Modellierung betrieblicher Systeme

- **generell hohe Anforderungen an den Modellierer**
  - Analysefähigkeiten
  - Abstraktionsvermögen
  - Synthese -Daten von Regionen oder Verkehrswegen
  - Koordinatenlisten von Ressourcenanordnungen, Fahrwege als Punkteliste
- **Unterstützung durch**
  - Referenzmodelle zu typischen Fertigungsarten
  - vorgefertigte Modellbausteine
  - Einbindung oder Übernahme vorhandener Daten (gegenwärtig besonders aktuell zur Verringerung der Kosten von Simulationsstudien)