

---

# Simulation von Logistik- und Materialfluss-Systemen

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt

---

# Simulationsstudien

Dr.-Ing. Frank Schulze  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anke Könze  
Dipl.-Ing. Karsten Turek



# Literatur

---

- Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson:  
*Discrete-Event System Simulation*
- Averill M. Law, W. David Kelton  
*Simulation Modeling and Analysis*
- VDI-Richtlinie 3633  
*Simulation von Logistik-, Materialfluss- und  
Produktionssystemen*
  - Blatt 1: *Grundlagen*
  - Blatt 11: *Simulation und Visualisierung*

# Simulation

## Definition

---

Simulation ist ein Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden.

[VDI Richtlinie 3633]



# Simulation

## Beispiele

---

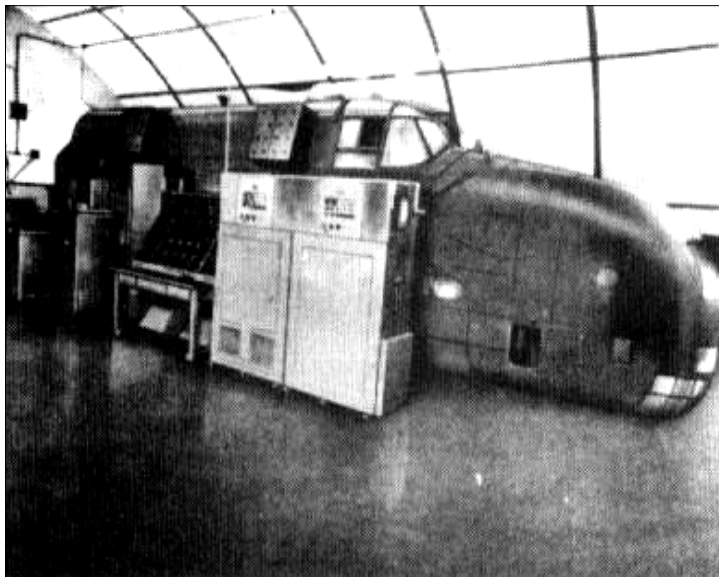
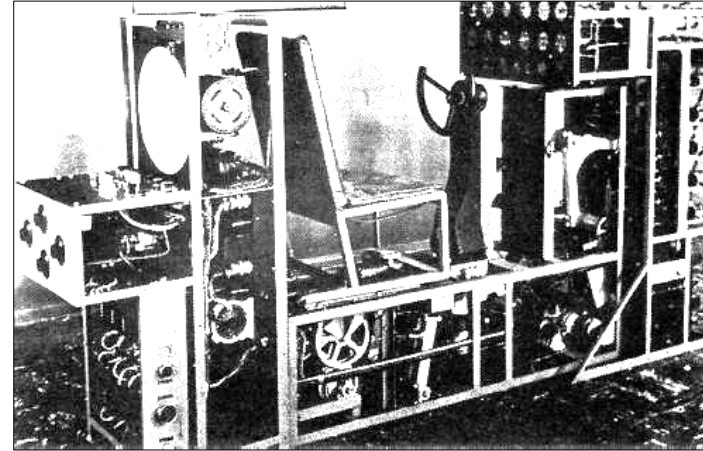
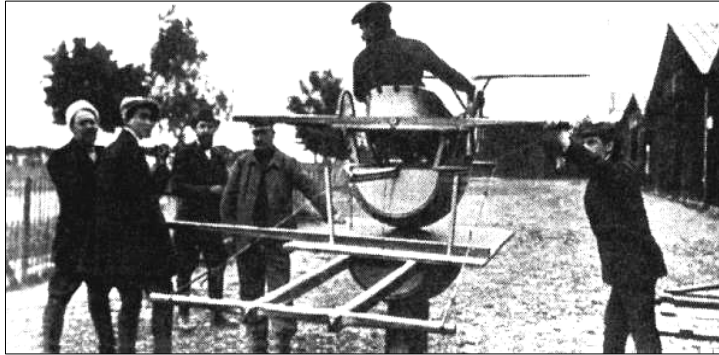


Durchführung eines gezielten Experiments am Simulationsmodell

# Simulation

## Beispiele

---



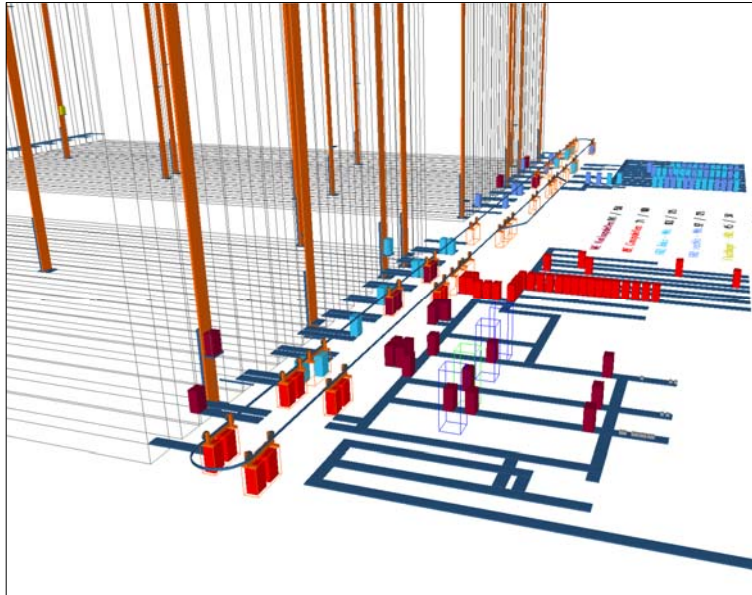
# Simulation Beispiele

---

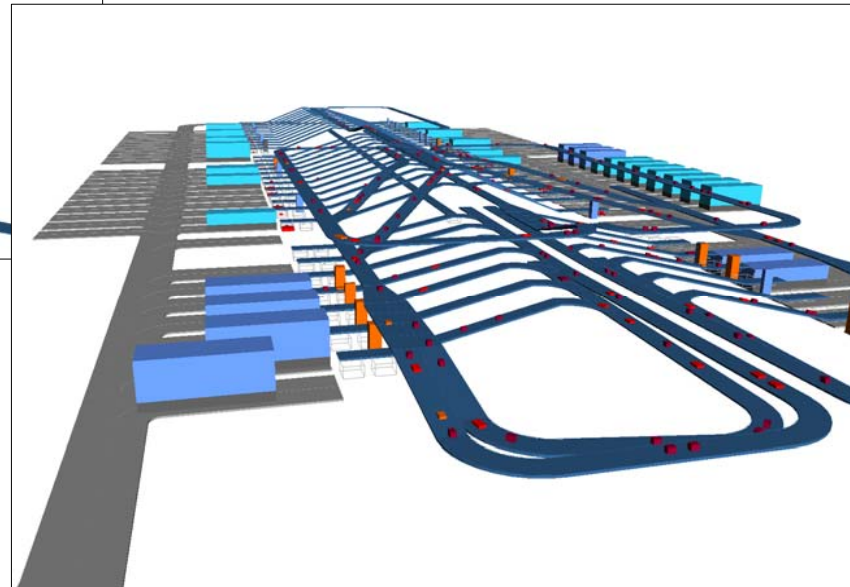


# Simulation Beispiele

---



Hochregallager  
(Tchibo/BLG, Bremen)



Paketsortieranlage  
(PostExpress, Kassel)



# Simulation

## Einsatzfelder

---

**Prozess:** Bei den zu untersuchenden Vorgängen handelt es sich um ...

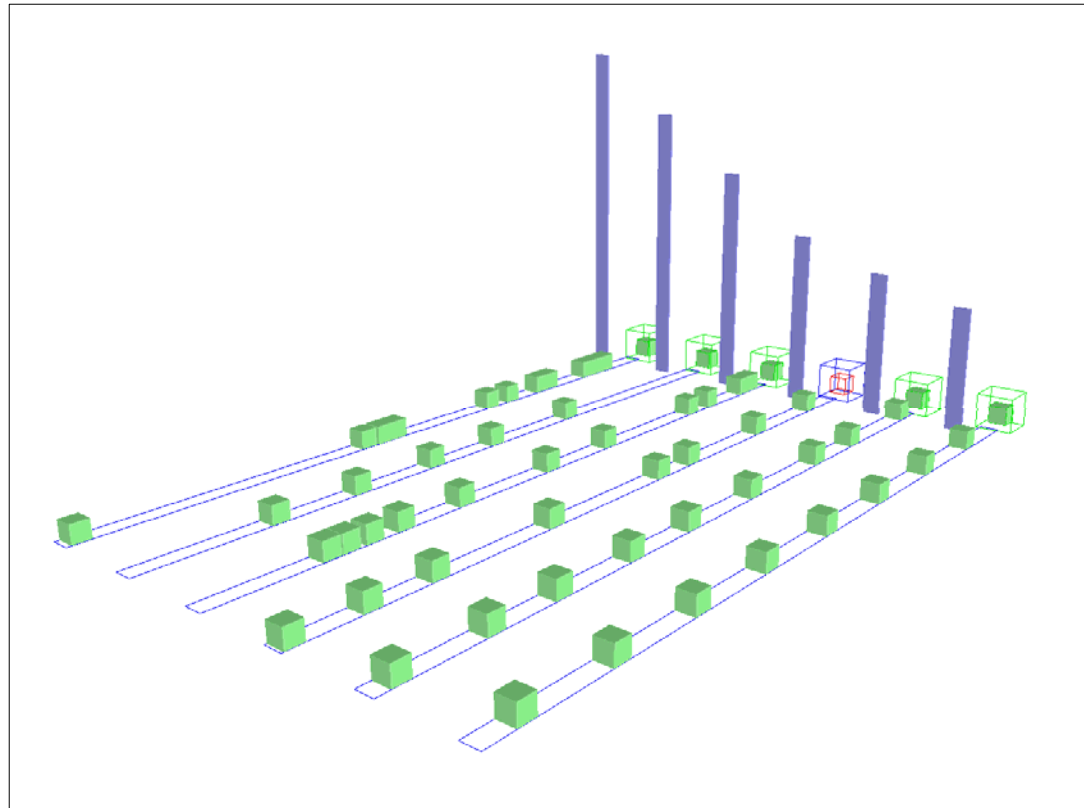
- zufallsbehaftete Prozesse
  - Auftragseinlastung
  - Reihenfolge und Zuordnung
  - Verfügbarkeit, Ausfälle von Komponenten
- eng gekoppelte, komplexe Systeme mit Rückstaus und Blockierungen

**System:** Untersuchungen am Realsystem sind ...

- unmöglich
  - System existiert noch nicht
  - Beschädigung od. Zerstörung des Systems wahrscheinlich
- unwirtschaftlich
  - Untersuchungszeitraum ist zu lang
  - regulärer Betrieb wird beeinträchtigt

# Simulation Einsatzfelder

---



# Simulation

## Einsatzfelder

---

### Neubau

- Machbarkeits- und Funktionsnachweis
- Entwurf und Optimierung von Layout und Steuerung
- Leistungsbestimmung und Kostenminimierung hinsichtlich Anlagendimensionierung, Steuerungs- und Betriebsstrategien, Durchlaufzeiten, Bestandsbildung

### Umbau

- Ermittlung von Kapazitätsgrenzen
- Schwachstellen- und Engpassanalyse
- Beurteilung der Auswirkung von Veränderungen hinsichtlich Kapazitäten, Produkten, Produktionsplänen, Organisation, Betriebsstrategien

# Simulation

## Einsatzfelder

---

### Realisierung

- Leistungstest bei schrittweiser Inbetriebnahme
- Überprüfung der Auswirkung von Anforderungs-Änderungen
- Erprobung und Test der Steuerungssoftware
- Mitarbeiterschulung

### Betrieb

- operative Steuerung/Disposition  
Maschinenbelegung, Auftragsreihenfolgen, Losgröße, Personaleinsatz
- optimierte Steuerung/Disposition  
Leistungsreserven erschließen

### Vertrieb

- Systemlösungen visualisieren
- Kommunikation unterstützen

# Simulations-Studien

## Beteiligte Personen

---

- Eine gute Zusammenarbeit aller Beteiligten ist in allen Schritten der Simulationsstudie von Bedeutung.
  
  - Kreis der Beteiligten:
    - Betreiber des Logistik-Systems
    - Planer des Materialfluss-Systems
    - Hersteller der Materialfluss-Technik
    - Steuerungsfachleute
    - Simulationsexperten
    - weitere Fachspezialisten
- } Kunden

# Simulations-Studien

## Ablauf

---

0. Problemanalyse und Kostenschätzung
1. Aufgaben- und Zieldefinition
2. Datenerhebung und -analyse
3. Modellerstellung und -verifikation
4. Experimente und Systemanalyse
5. Dokumentation und Präsentation

# Simulations-Studien

## Problemanalyse und Kostenschätzung

---

### **Kunde**

- ① formuliert wirtschaftliche und technische Ziele für die Gestaltung oder Veränderung seines Logistiksystems (Lastenheft)

### **Simulationsdienstleister**

- ② überprüft, ob die Problemstellung sinnvoll und wirtschaftlich zu bearbeiten ist
- ③ kalkuliert den Arbeitsaufwand und unterbreitet ein Angebot für die Simulationsstudie

# Simulations-Studien

## Aufgaben- und Zieldefinition

---

### **Kunde**

- ① gibt Zielstellung und Gestaltungsrahmen für mögliche Lösungsvarianten vor
- ① benennt Ansprechpartner und klärt Zuständigkeiten
- ③ legt Terminrahmen fest

### **Simulationsdienstleister**

- ② entwirft ein Pflichtenheft
- ② beschreibt Ausgangssituation der Simulationsstudie
- ② formuliert messbare Kriterien für die Bewertung der Lösungsvarianten



# Simulations-Studien

## Aufgaben- und Zieldefinition

---

### Zielstellungen

- Verbesserung der Systemkenntnis und Erkennen von Wirkungszusammenhängen
- Analysen
  - Schwachstellenanalyse
  - Was-wäre-wenn Analyse
  - Sensitivitätsanalyse
- Auslegung und Optimierung
- Erstellung von Handlungs- und Betriebsanweisungen, Ausbildung von (Bedien-) Personal, Schulungszwecke

*Wichtig:* Das Ergebnis der Simulationsstudie wird anhand der Zielformulierung gemessen.

# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse

---

### **Kunde**

- ① stellt Prozessbeschreibungen, technische Unterlagen und weitere relevante Daten des Logistiksystems zur Verfügung
- ③ prüft die Dokumentation der Datenbasis und gibt sie frei

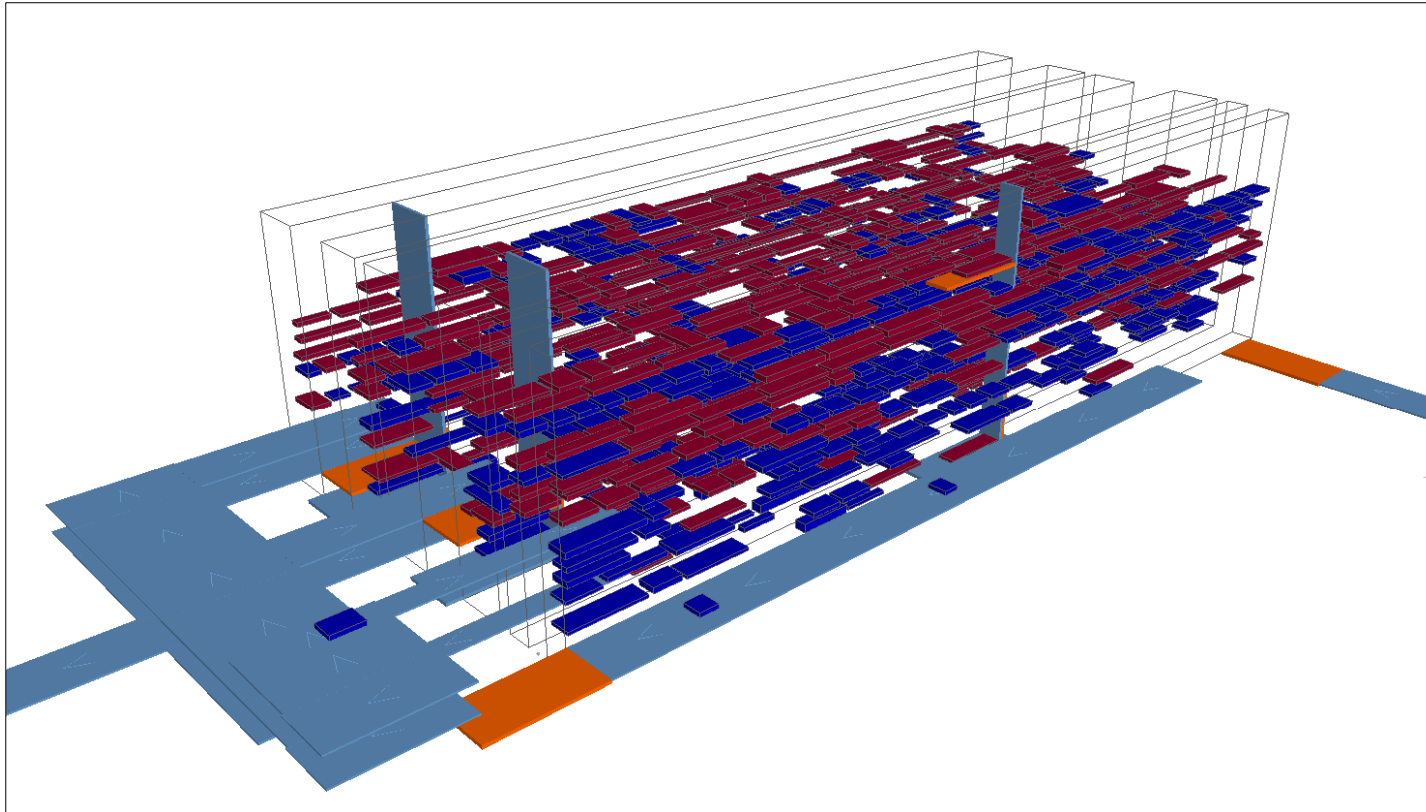
### **Simulationsdienstleister**

- ② recherchiert die relevanten Daten, bereitet sie auf, überprüft sie auf Vollständigkeit und Konsistenz
- ② dokumentiert die Datenbasis der Simulationsstudie
- ② besitzt das Recht zu fragen und die Pflicht zu fragen

# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse

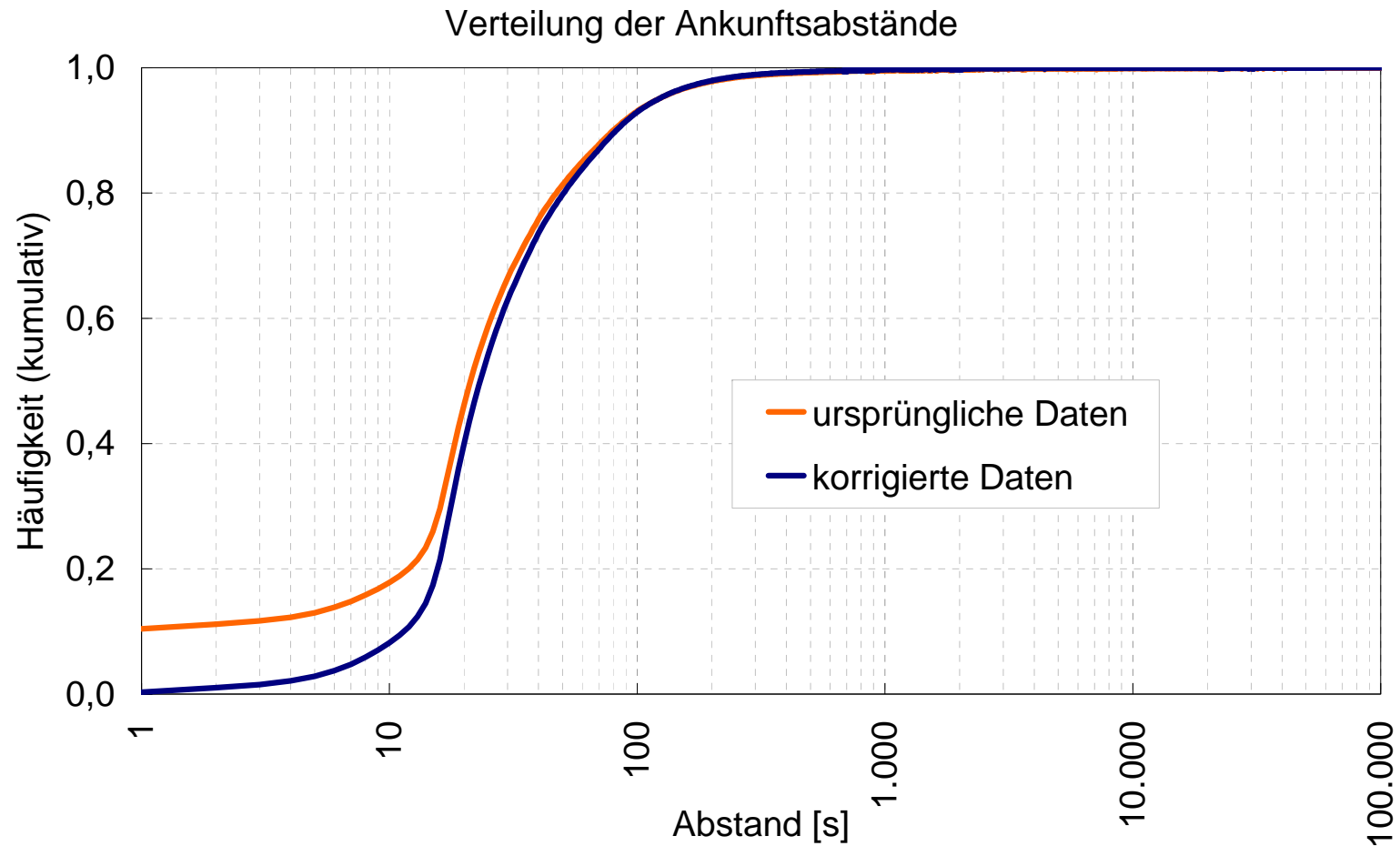
---



Heizkörperlager (Kermi, Stribro)

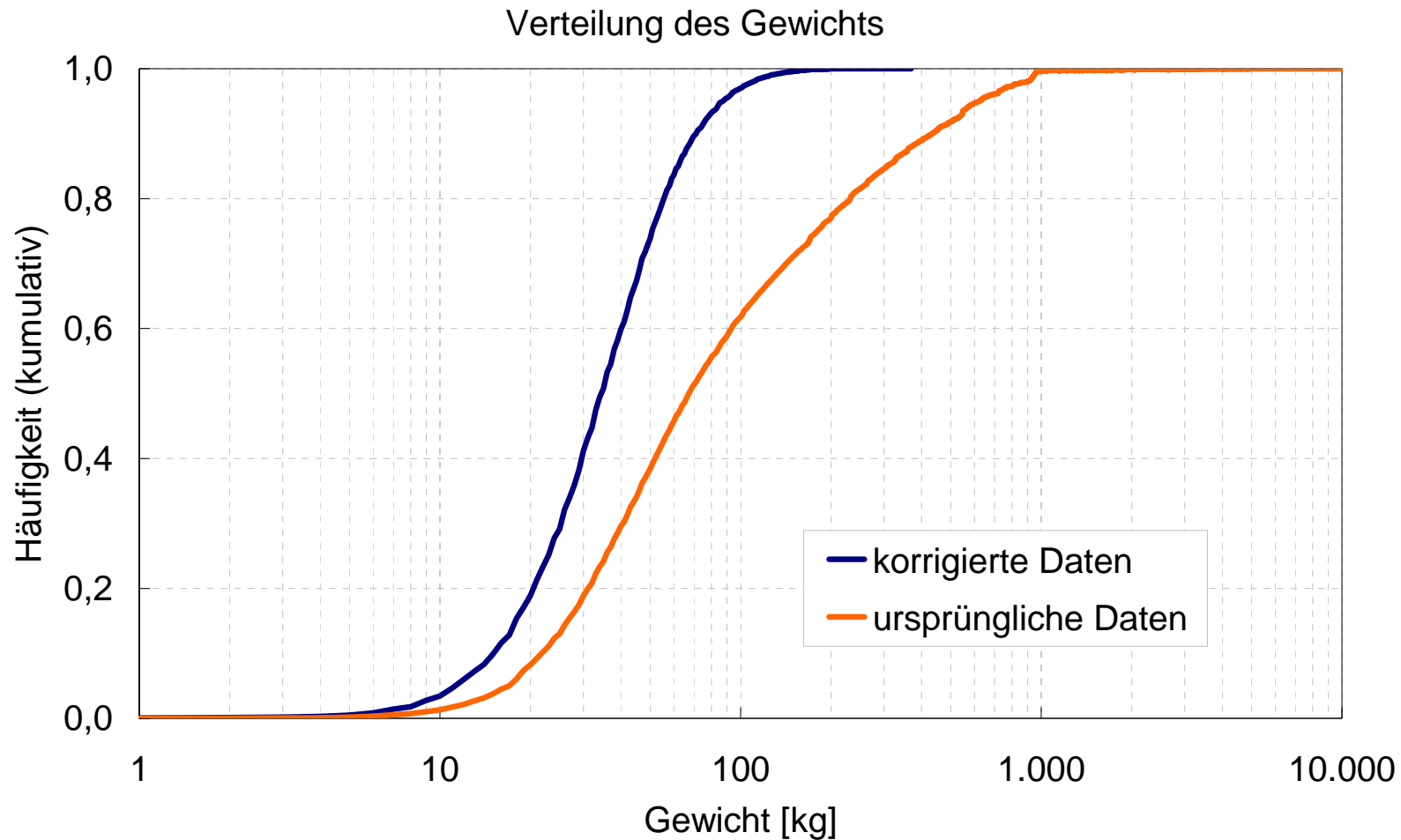
# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse



# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse



# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse

---

### Ermittlung relevanter Daten

- Eingangsgrößen
- Systemobjekte, ihre Eigenschaften und Beziehungen
- Zustandsänderungen des Systems
- auf das System einwirkende Umwelteinflüsse
- variable und konstante Größen des Systems
- regelbare (beeinflussbare) und unbeeinflussbare Größen des Systems
- Ausgangsgrößen

### Festlegung der Systemgrenzen

# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse

---

### Technische Daten

- zur Struktur  
(z.B. Fabriklayout, Verkehrswege, Standorte)
- zur Produktion  
(z.B. Maschinen, Leistung, Ausfallrate, Nutzungszeit)
- zum Materialfluss  
(z.B. Fördermittel, Wege, Geschwindigkeit, Kapazität, Taktzeit)
- zum Informationsfluss  
(z.B. Übertragungszeiten, Reaktionszeiten, Verfügbarkeit von Prozessinformationen)

# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse

---

### Systemlastdaten

- der Aufträge  
(z.B. Produktions-, Transportaufträge, Bestellungen, Mengen, Termine, Reihenfolgen)
- der Produkte  
(z.B. Arbeitspläne, Stücklisten, Eigenschaften)

### Organisationsdaten

- zur Arbeitszeit  
(z.B. Arbeitstage, Schichten, Pausenregelungen)
- zur Ressourcenzuordnung und -verfügbarkeit  
(z.B. Personen, Maschinen, Fördermittel, Förderhilfsmittel)
- zur Ablauforganisation  
(z.B. Strategien, Regeln, Restriktionen, Verantwortlichkeiten)



# Simulations-Studien

## Datenerhebung und -analyse

---

<b>geplantes System</b>	<b>existierendes System</b>
<i>Datengewinnung</i>	
hypothetisch auf Basis von Erfahrungen bzw. Erkenntnissen über ähnliche Systeme	am Original
<i>benötigtes Expertenwissen</i>	
fundiertes Wissen und reichhaltige Erfahrung im Fachgebiet	detaillierte System- und Prozesskenntnis
<i>Methoden</i>	
Refa, MTM, Vorgabezeiten	direkt durch Messungen oder indirekt durch Rückgriff auf Betriebs- bzw. Projektdaten (Zeiterfassungen, BDE)

# Simulations-Studien

## Modellerstellung und -verifikation

---

### **Kunde**

- ③ überprüft die Plausibilität des Modellverhaltens

### **Simulationsdienstleister**

- ① entwickelt das Simulationsmodell
- ② verifiziert und validiert das Simulationsmodell anhand von Referenzdaten und Erfahrung

# Simulations-Studien

## Modellerstellung und -verifikation

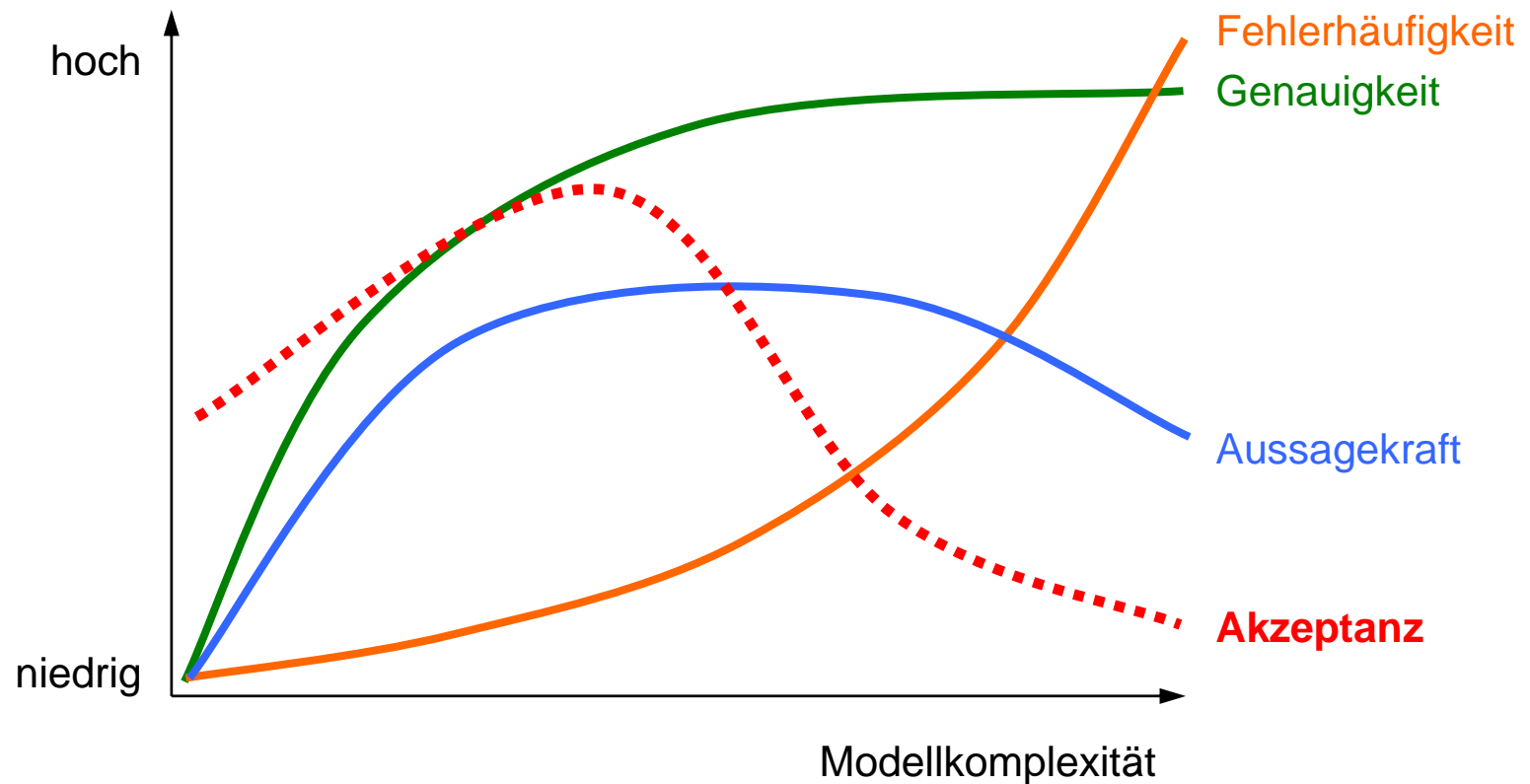
---

### Bestimmen der relevanten Modellaspekte

- Entscheidung über mögliche Vereinfachungen im Modell
- durch die Aufgabenstellung bzw. die Zielsetzung gesteuert
- subjektiv aus Sicht und Erfahrung des Modellerstellers
- Abstimmung durch Kommunikation aller Beteiligten wichtig
- Dokumentation der Vereinfachungen und der sich ergebenden Einschränkungen in der Aussagekraft des Modells

# Simulations-Studien

## Modellerstellung und -verifikation



# Simulations-Studien

## Experimente und Systemanalyse

---

### **Kunde**

- ② beteiligt sich an der Entwicklung und Bewertung von Testszenarien und Lösungsalternativen

### **Simulationsdienstleister**

- ① klärt die in der Aufgabenstellung definierten Fragen durch Analyse des Simulationsmodells
- ③ optimiert das Systemverhalten durch Parametervariation und Veränderung der Steuerungsalgorithmen



# Simulations-Studien

## Experimente und Systemanalyse

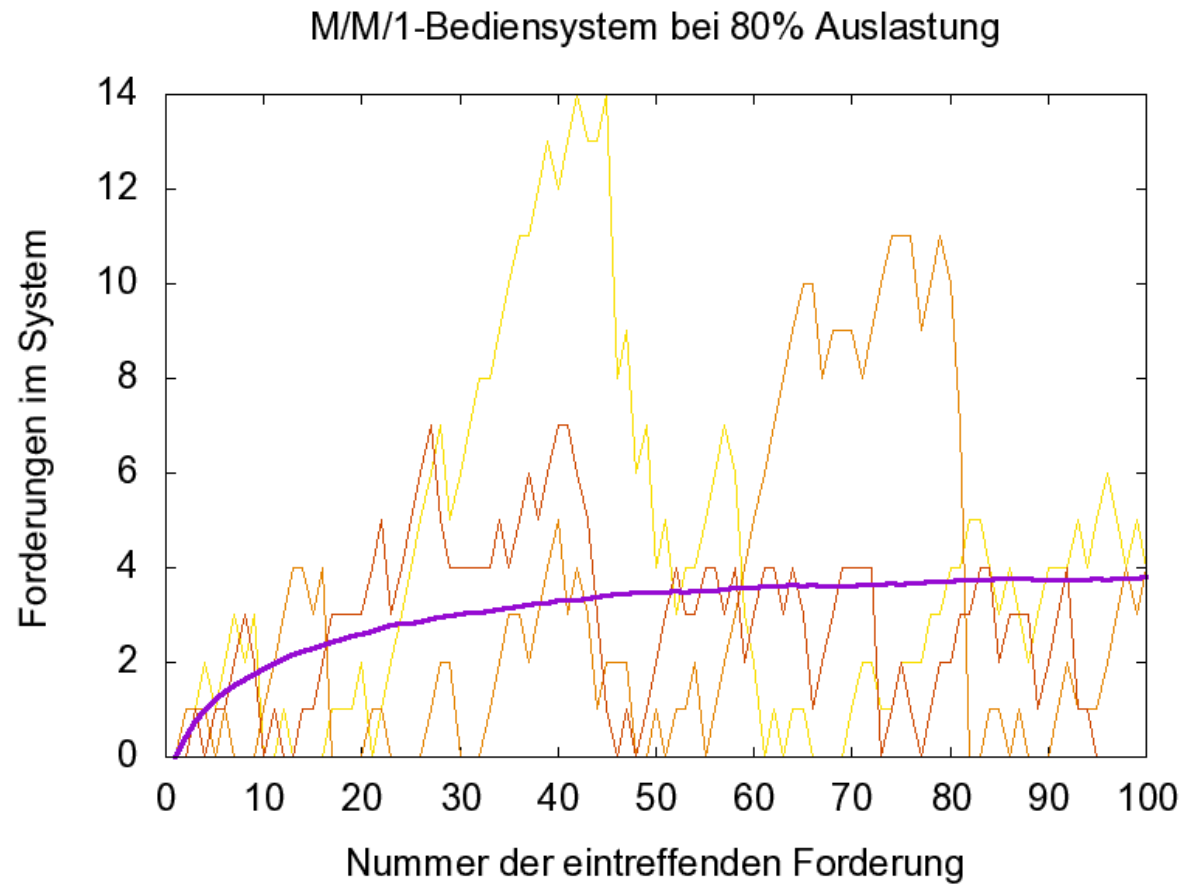
---

- Einschwingphase des Systems beachten
- stochastisches Simulationsmodell mit zufälligen Verteilungen als Eingangsgrößen
  - Sammlung von statistischen Daten beim Lauf des Simulationsmodells
  - beachten: *ein* Simulationslauf bringt das zufallsbehaftete Ergebnis *eines* Experimentes als Output – daher mehrere Simulationsläufe mit veränderten Zufallszahlenströmen auswerten
- Experimente mit gleicher Zufallsinitialisierung liefern identische Ergebnisse – Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

# Simulations-Studien

## Experimente und Systemanalyse

---



# Simulations-Studien

## Dokumentation und Präsentation

---

### **Kunde**

- ③ prüft das Erreichen der Ziele und nimmt den Simulationsbericht ab

### **Simulationsdienstleister**

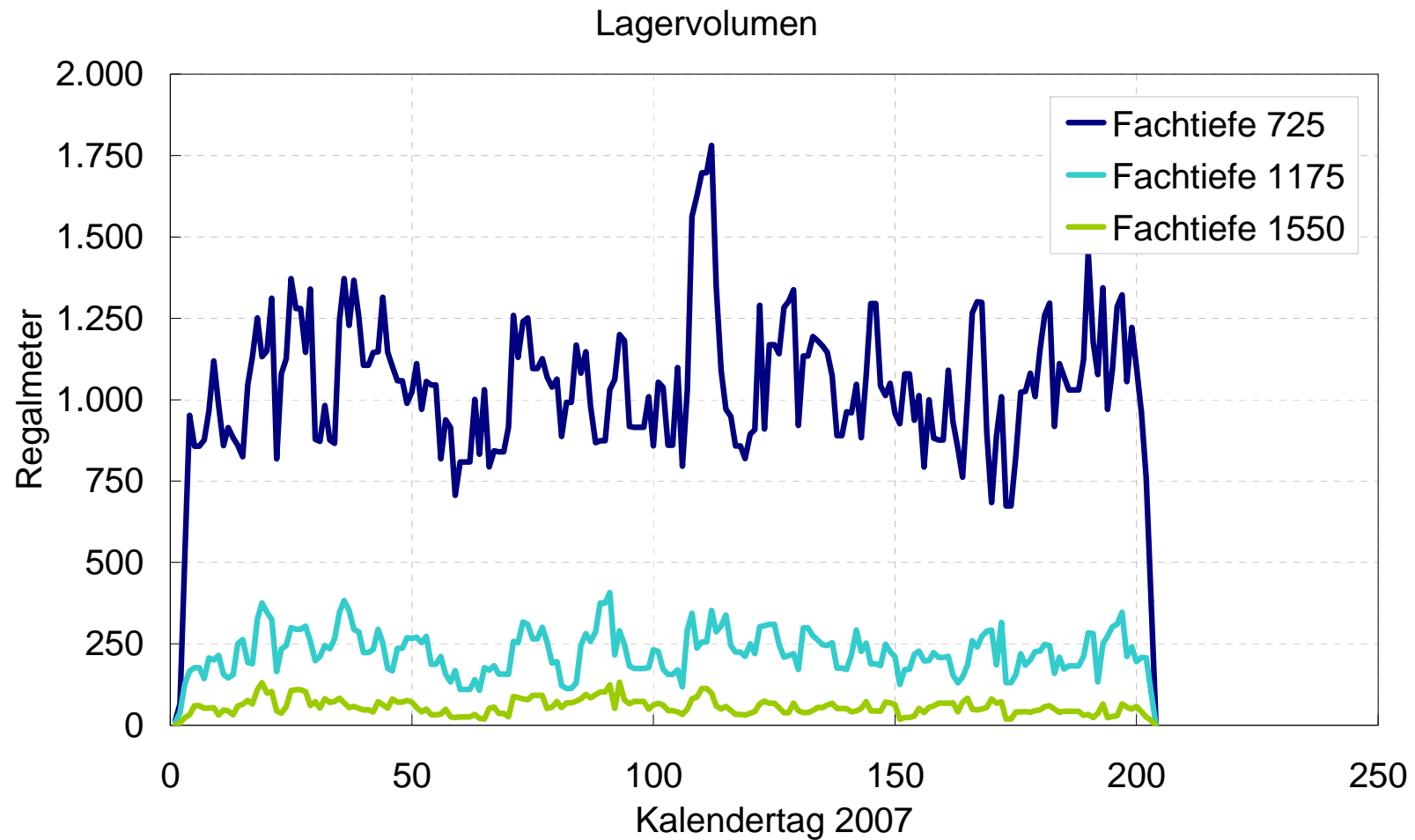
- ① dokumentiert die Lösung der Aufgabenstellung und die Ergebnisse der Studie in einem Simulationsbericht
- ② Präsentation der Simulationsergebnisse
- ④ ggf. Übergabe des Simulationsmodells



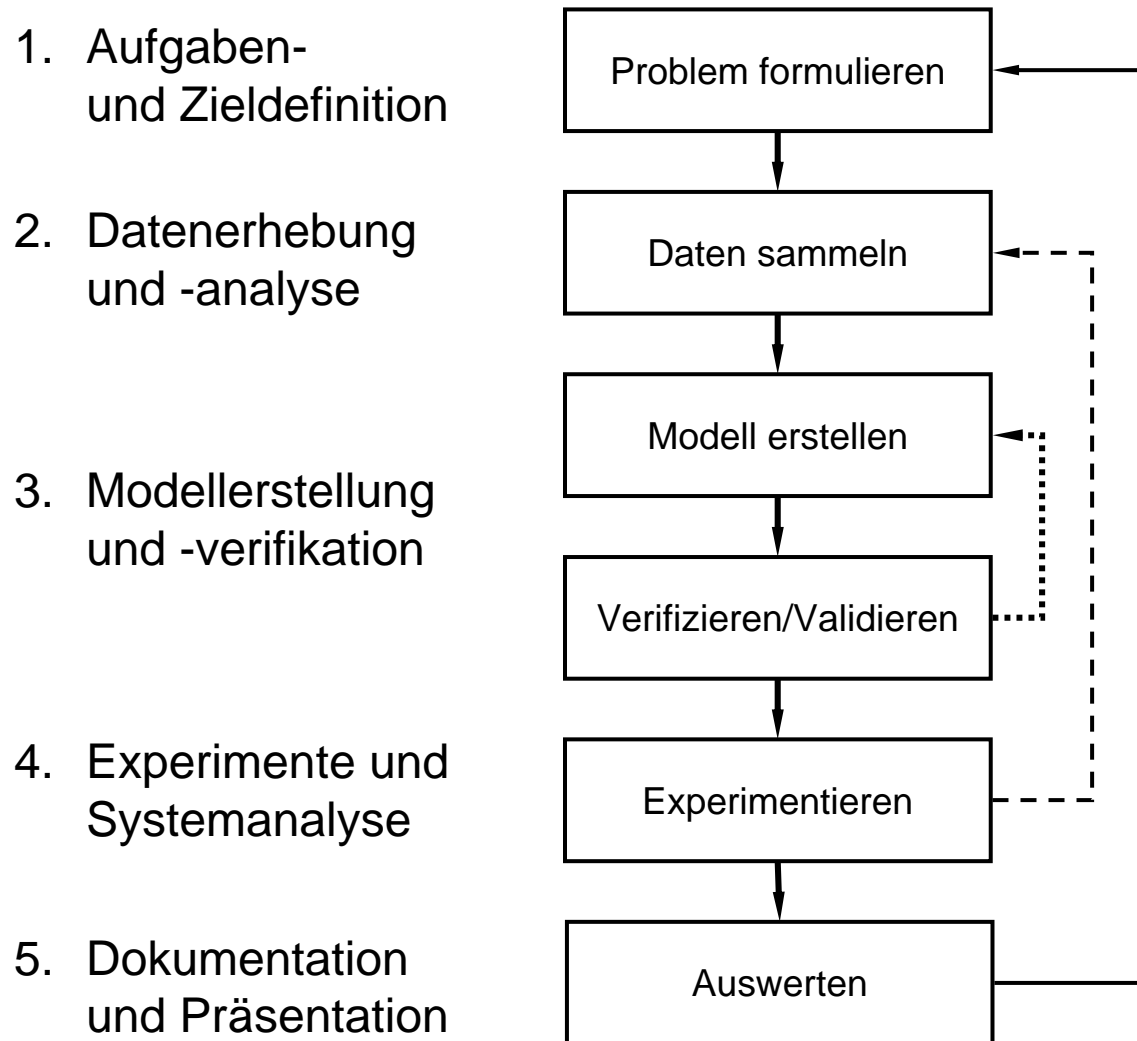


# Simulations-Studien

## Dokumentation und Präsentation



# Simulations-Studien Ablauf



# Simulation

## Grenzen und Leitsätze

---

- Simulation stets vor Investition.
- Simulation setzt klare Zieldefinition und  
Aufwandsabschätzung voraus.
- Vor der Simulation sind analytische Methoden  
auszuschöpfen.
- Simulation ist kein Ersatz für Planung –  
Simulation ist ein Werkzeug, keine Lösung.
- Simulation ist keine Optimierung.
- Die Ergebnisqualität der Simulation kann nicht  
besser sein als die der Simulation zugrunde-  
liegenden Daten – GIGO: garbage in, garbage out
- Die Simulation ist nur so gut wie die  
Zusammenarbeit zwischen den an der Studie  
beteiligten Personen.

---

# Simulation von Logistik- und Materialfluss-Systemen

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt

## **Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Frank Schulze

Telefon: (0351) 463-34861

Internet: <http://tu-dresden.de/mw/logistik>

E-Mail: Frank.Schulze@**mailbox**.tu-dresden.de