



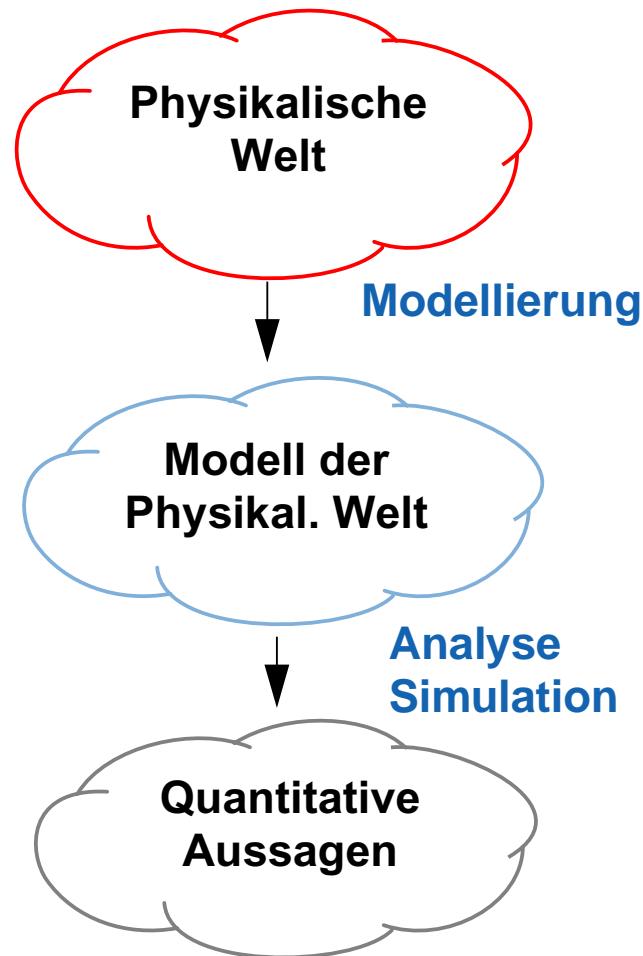
# Multiskalen-Simulation

Versuch einer Systematik der Methoden und Ansätze auf dem  
Gebiet der Verkehrssimulation

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Paul J. Kühn  
Institut für Kommunikationsnetze und Rechnersysteme  
Universität Stuttgart  
kuehn@ikr.uni-stuttgart.de

- 1. Multiskalen-Problematik**
- 2. Multiskalen-Aspekte in der Nachrichtenverkehrstheorie**
- 3. Versuch einer systematischen Klassifikation**
- 4. Methodische Ansätze**
- 5. Diskussion und Schlussfolgerungen**

## Wissenschaftliche Vorgehensweise:



- **Beobachtungen**
- **Phänomene**
- **Messungen, quantitative Beschreibung**

- **Ursachen und Wirkungen**
- **Funktionale Zusammenhänge**
- **Parametrierung, Metriken, ...**

- **Quantitative Zusammenhänge**
- **Vergleich mit Beobachtungen und Messungen**
- **Anwendungen, Optimierungen, ...**

## Beispiele:

- **"Komplexe" Materialien mit thermischer, elektrochemischer, ... Bindung**
- **Phasentransformationen zwischen Festkörper- und Flüssigkeitszuständen**
- **Molekulare Dynamik und makroskopisches Verhalten**
- **Systembiologische Vorgänge, klimatische Vorgänge**
- **Logistische Vorgänge in Produktion, Versorgung, ...**
- **Verkehrersphänomene im Transport von Gütern und Daten**
- **...**

## Uniskalare Betrachtung

- **Einschränkung der Betrachtung auf eine Aktivitätsebene**
- **Modellierung unter bestimmten Randbedingungen**
- **Beispiele:**
  - Flüssigkeitszustand
  - Verkehr auf Paketebene
  - ...

## Multiskalare Betrachtung

- **Kombinierte Erfassung mehrerer Aktivitätsebenen**
- **Modellierung der Zusammenhänge zwischen diesen Aktivitätsebenen**
- **Beispiele:**
  - Mehrphasenzustände einschl. Phasenübergänge
  - Räumliche und zeitliche Aktivitätsebenen
  - Lose und enggekoppelte Systeme
  - ...

## 2. Aspekte i. d. Nachrichtenverkehrstheorie (1)

### Quellenmodellierung

- Anwendungsebene: Benutzerverhalten s ... min ... h
- Verbindungsebene: Protokollverhalten ms ... s
- Transportebene: Pufferung, Übertragung  $\mu$ s ... ms
- Operationsebene: Scheduling, Switching ns ...  $\mu$ s

### Systemmodellierung

- Übertragungskanal mit zeitlich variablem Übertragungsverhalten
- Mobilität von Benutzergruppen
- Protokollmechanismen mit Datenflusssteuerung
- Verkehrslenkung (Routing) in globalem Internet
- Netzweite Speicherung und Suche (Peer-to-Peer Overlays)

## 2. Aspekte i. d. Nachrichtenverkehrstheorie (2)

### Problematik:

- Schwierigkeit der gleichzeitigen Erfassung von Mikro- und Makrodynamik
- Schwierigkeit der gemeinsamen Erfassung von Mikro- und Makrosystemen
- Abhängigkeit zwischen Quellenmodell und Systemmodell (z.B. Rückwirkungen wie bei Flow Control, Repeated Call Attempts, ...)
- Analytische Komplexität in der mathematischen Modellierung
- Organisations-Komplexität in der Simulation
- Parameter-Vielfalt

deshalb meistens angewandt, wie:

- ↳ Beschränkung auf eine (oder zwei) Aktivitätsebenen
- ↳ Beschränkung auf bestimmte Untersuchungsziele
- ↳ Beschränkung auf Teilsysteme

# 3. Versuch einer systematischen Klassifikation(1)

## Multiskalen-Dimensionalitäten

- **Zeit (Z)**      Ereignisse in der Dimension "Zeit"
- **Raum (R)**     Mobilität in der Dimension "Raum"
- **Kontext (K)**   Unterteilung hinsichtlich Dimension "Situation"
- **Funktion (F)**   Unterteilung hinsichtlich Dimension "Funktion"

## Kombinationen:

**ZZ**    grobgranulare u. feingranulare Ereignisskalen

z.B. Rare Event Simulation

Long Range Dependent Simulation

**RZ**    räumliche Mobilität u. zeitliche Ereignis-Skalen

z.B. Verkehrsquelle "Mobilkommunikations-Teilnehmer"

Location Aware Services

Mobile Ad Hoc Networks, Sensor Networks

**ZK**    zeitliche Ereignis- und situative Skalen

z.B. Ereignis-Generation unter situativen Randbedingungen wie  
"Geschäftsvorgang", "Tourist", "Freizeitgestaltung"

# 3. Versuch einer systematischen Klassifikation(2)

## Multiskalare Quellenmodelle

Beispiel: "Mobiler Sensor"

Ereignis-Generator abhängig von:

- Zeitpunkt:  $t$
- Ortskoordinaten zum Zeitpunkt  $t$ :  $\vec{s}(t)$
- Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$ :  $\frac{d}{dt}\vec{s}(t)$
- Beschleunigung zum Zeitpunkt  $t$ :  $\frac{d^2}{dt^2}\vec{s}(t)$
- Verfügbare Sendeleistung:  $p(s, t)$
- Temperatur:  $T$
- weitere Parameter, je nach Anwendung

# 3. Versuch einer systematischen Klassifikation(3)

## Multiskalare Systemmodelle

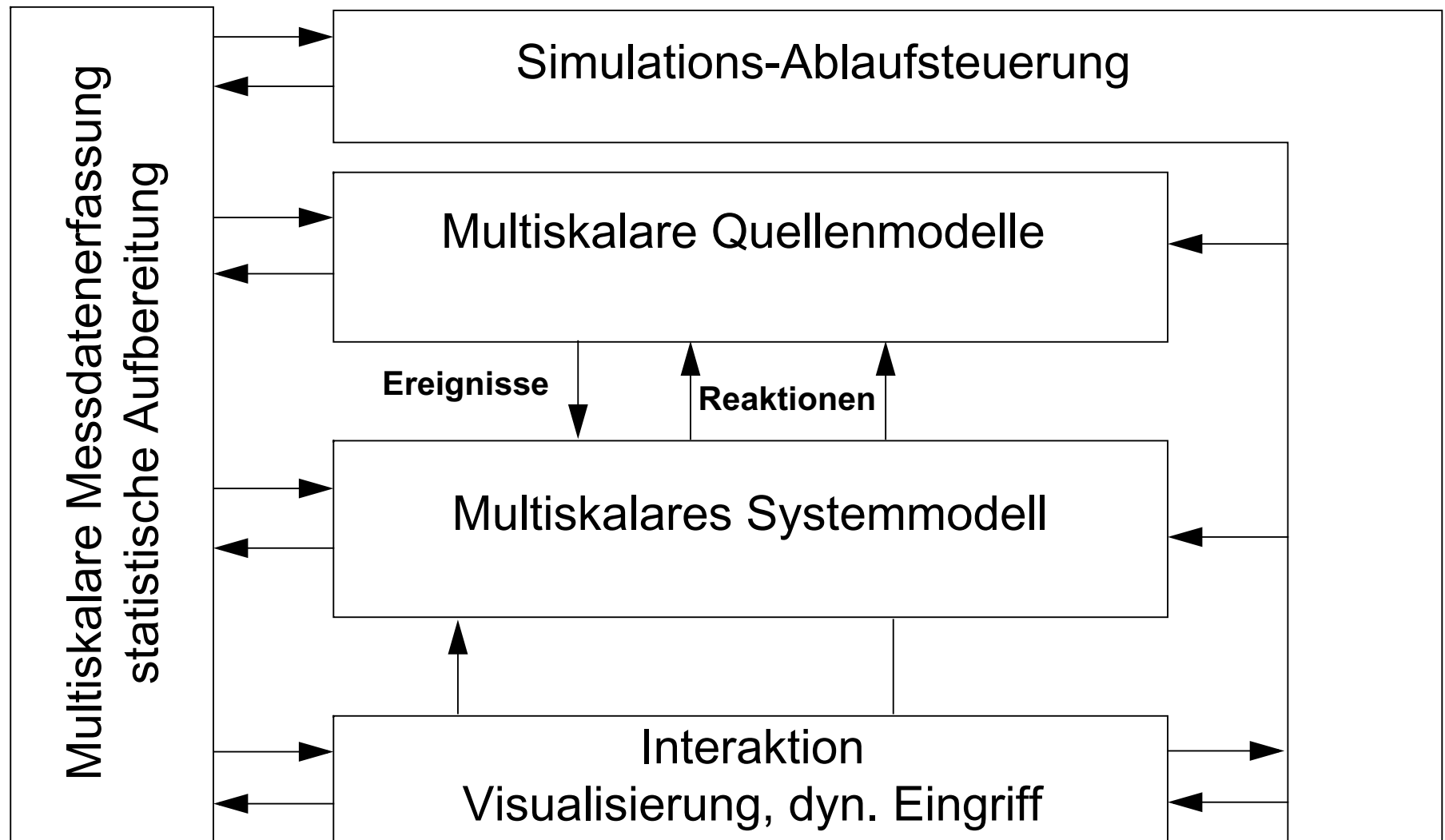
**"System":**    **Aktive Ressourcen (Server wie "Prozessor", "Kanal", ...)**  
                  **Passive Ressourcen (Speicher, Warteschlange, ...)**  
                  **Betriebsorganisation (Abf.-Strategien, Routing, ...)**  
                  **Struktur**

**Multiskalen-Dimensionalitäten:**

- ➔ **Raum -    Örtliche Verteilung der Ressourcen**
- ➔ **Zeit -     Zeitliche Veränderung (mobile Ressourcen)**
- ➔ **Funktion - Veränderung der Betriebsorganisation in Raum und Zeit**
- ➔ **Kontext - Adaptive Systemstrukturen, Systemdienste, ...**

# 3. Versuch einer systematischen Klassifikation(4)

## Simulationsmodell



## **Grundprinzip: Strukturierung, Dekomposition und Aggregation**

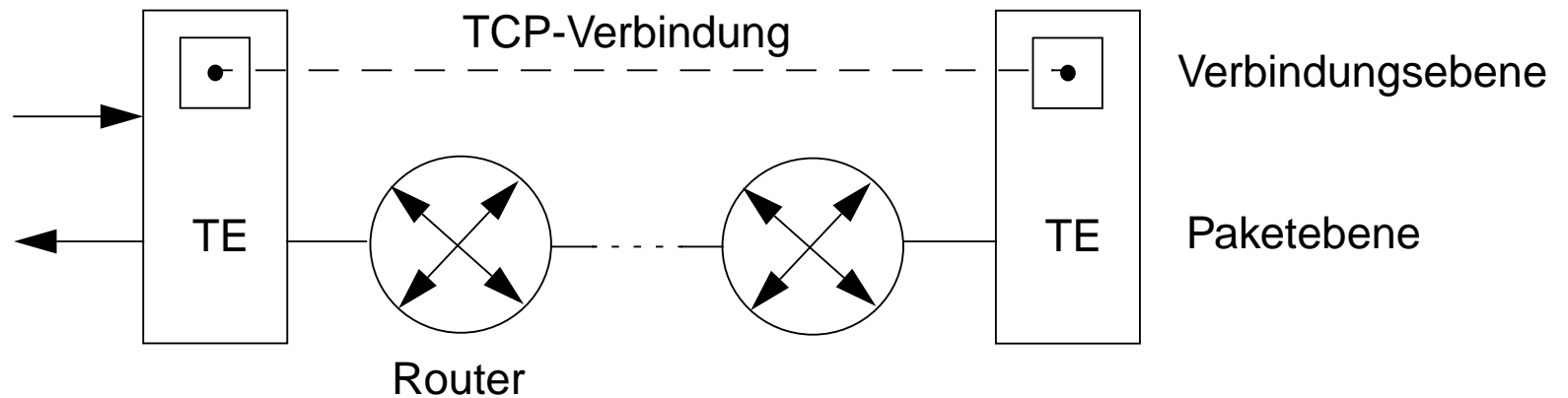
### **Skalen:**

- ↳ **Zeit - Konzentration auf eine oder wenige, benachbarte Aktivitätsebenen bzw. in grob-/feingranulare Ereignisphasen**
- ↳ **Raum - Zerlegung in (räumliche) Teilmodelle**
- ↳ **Funktion - Zerlegung in funktionspezifische Teilmodelle**
- ↳ **Kontext - Konzentration auf kontextspezifische Umgebungen**

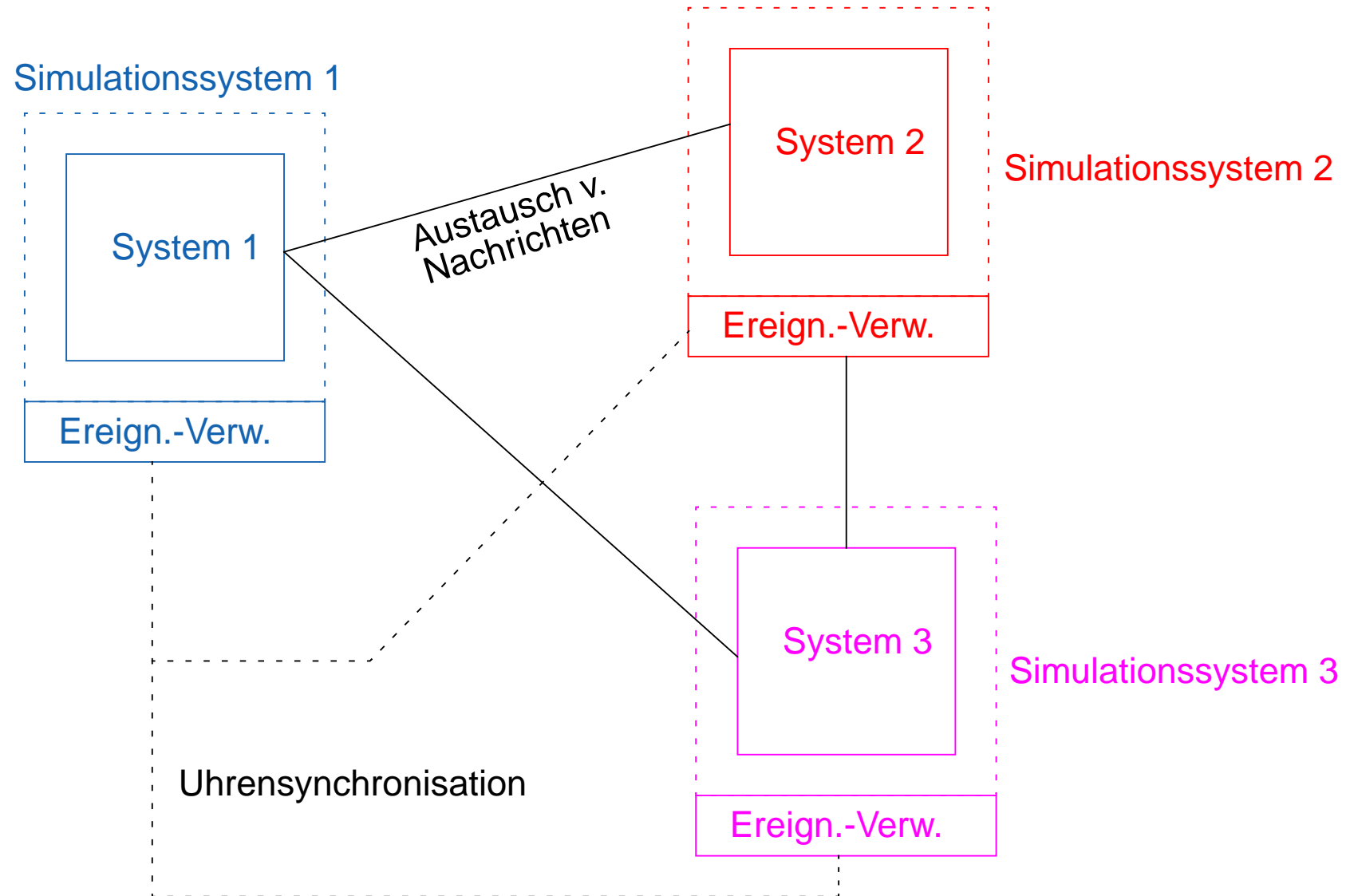
## 1. ZZ: Rare Event Simulation



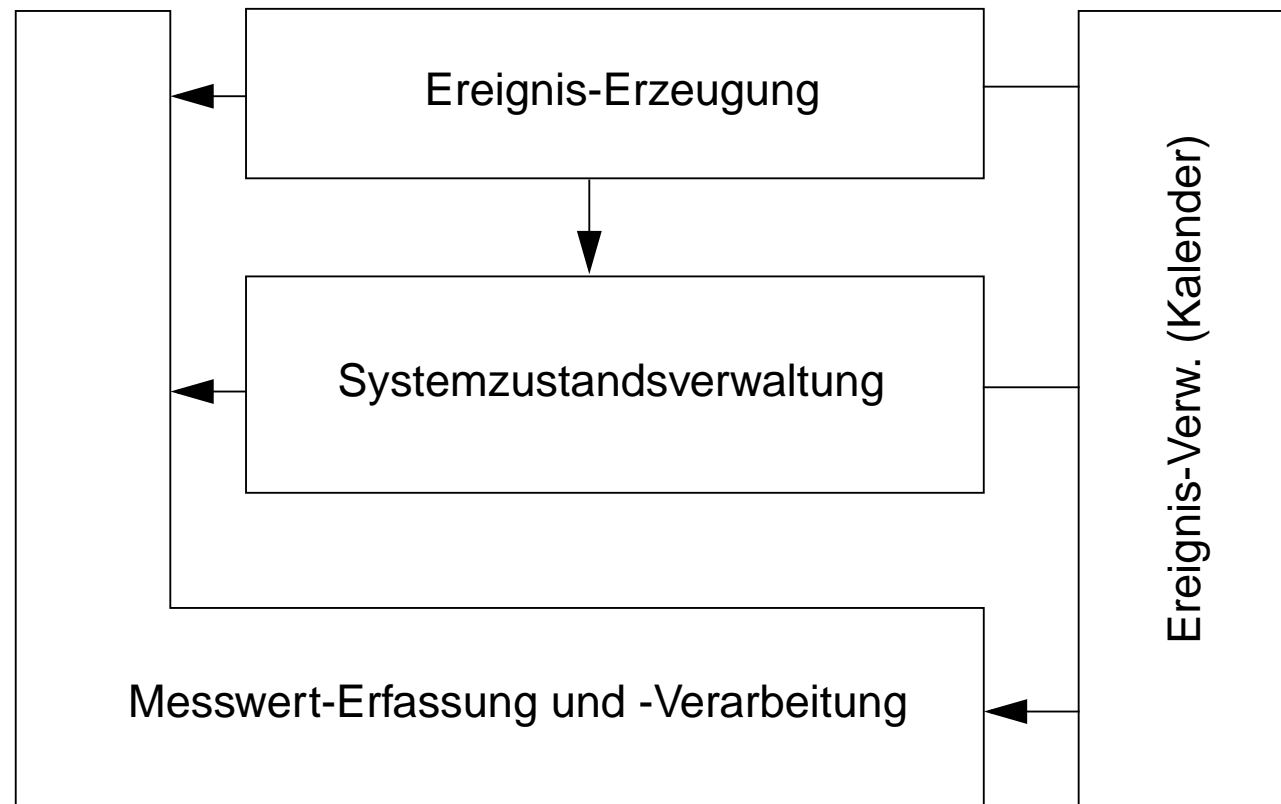
## 2. ZF: Zwei Aktivitätsebenen



## 3. RZ: Ereignis-Parallele Simulation

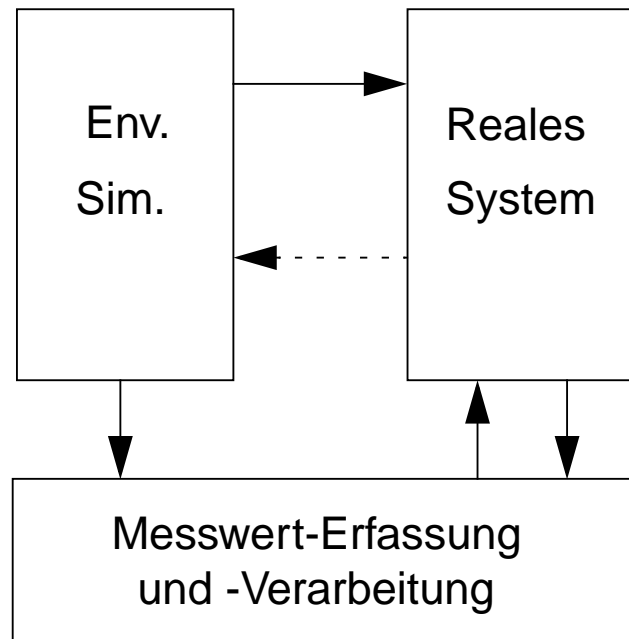


## 4. F: Funktionell-Parallele Simulation

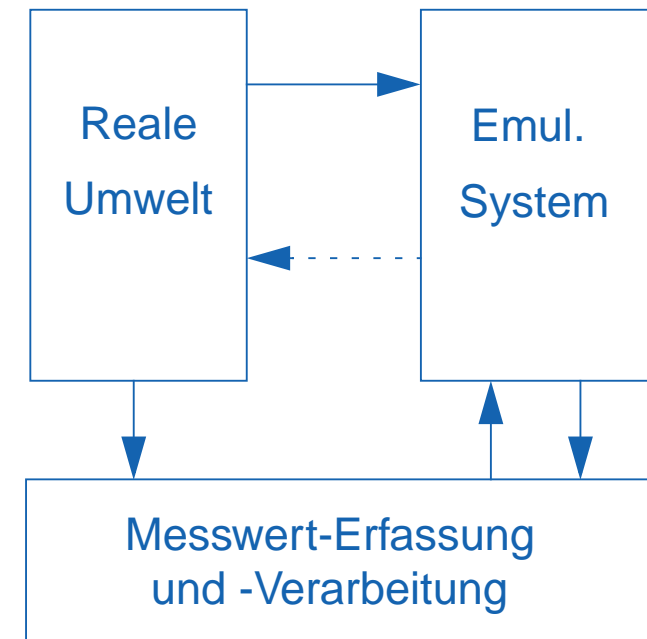


## 5. FF: Hybride Simulation

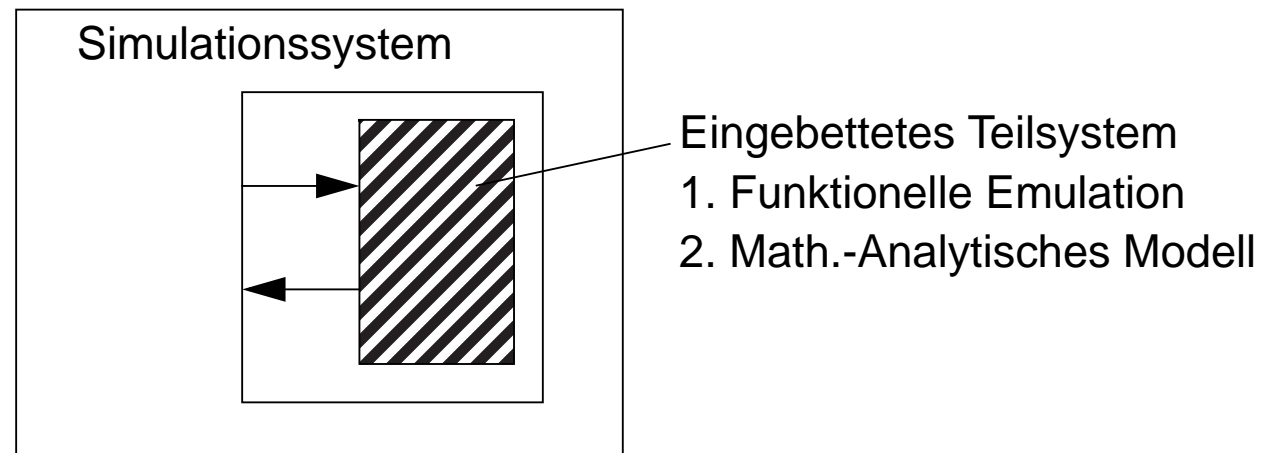
### Beispiel 1: Environment Simulation



### Beispiel 2: Emulation



## Beispiel 3: Eingebettete Teilsysteme



- **Eingebettetes Teilsystem verhält sich an seinen Schnittstellen zum übergeordneten Simulationssystem funktionell und ggf. auch zeitlich gleich dem realen Teilsystem**

## Weitere Ansätze

- **Simulationsbibliotheken mit funktionellen Modulen**
- **Simulationstools**
- **Simulation von stationären / instationären (transienten) Abläufen**
- **Ereignisgesteuerte Simulation**
- **Zeitdiskrete / zeitkontinuierliche Simulation**
- **Monte Carlo-Simulation**
- **Zustandsdiskrete / Zustandskontinuierliche ("Fluid Flow") Simulation**
- **Mathematische Verfahren (Markoff-Theorie, Warteschlangentheorie)**
- **Prototyping und Benchmarking**

# 5. Diskussion und Schlussfolgerungen

- **Ubiquitäre Systeme, kontextabhängige Dienste, selbstorganisierende und selbstadaptierende Systeme stellen neue Herausforderungen an die Simulationstechnik**
- **Probleme der System-/Ereigniskomplexität zeigen Grenzen der gegenwärtigen Simulationstechnik auf**
- **Bisherige Ansätze sind nicht ausreichend, da i.d.R. zu stark fallabhängig**
- **Neuer Anlauf erforderlich in Richtung "Paralleler Simulation" zur Nutzung des Potenzials verteilter / multipler Prozessorsysteme**