



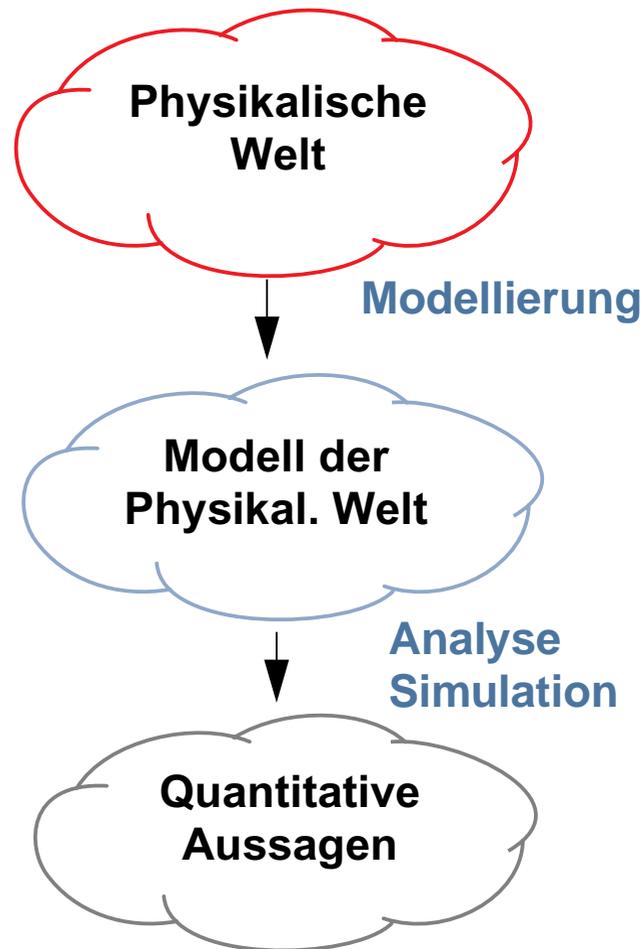
Multiskalen-Simulation

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** **μ s ... ms**
- **Operationsebene: Scheduling, Switching** **ns ... μ 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

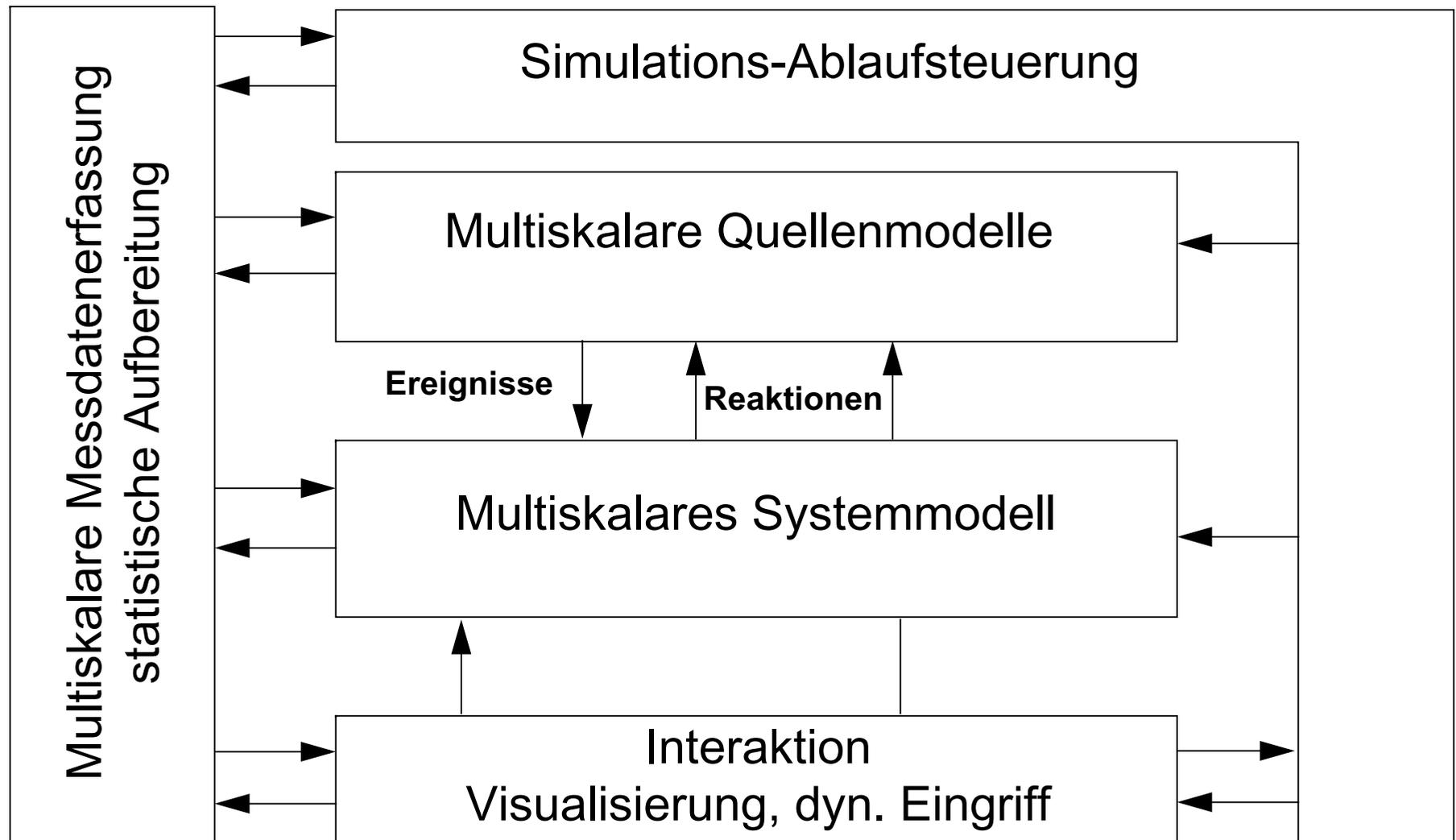
"System": **Aktive Ressourcen (Server wie "Prozessor", "Kanal", ...)**
 Passive Ressourcen (Speicher, Warteschlange, ...)
 Betriebsorganisation (Abf.-Strategien, Routing, ...)
 Struktur

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

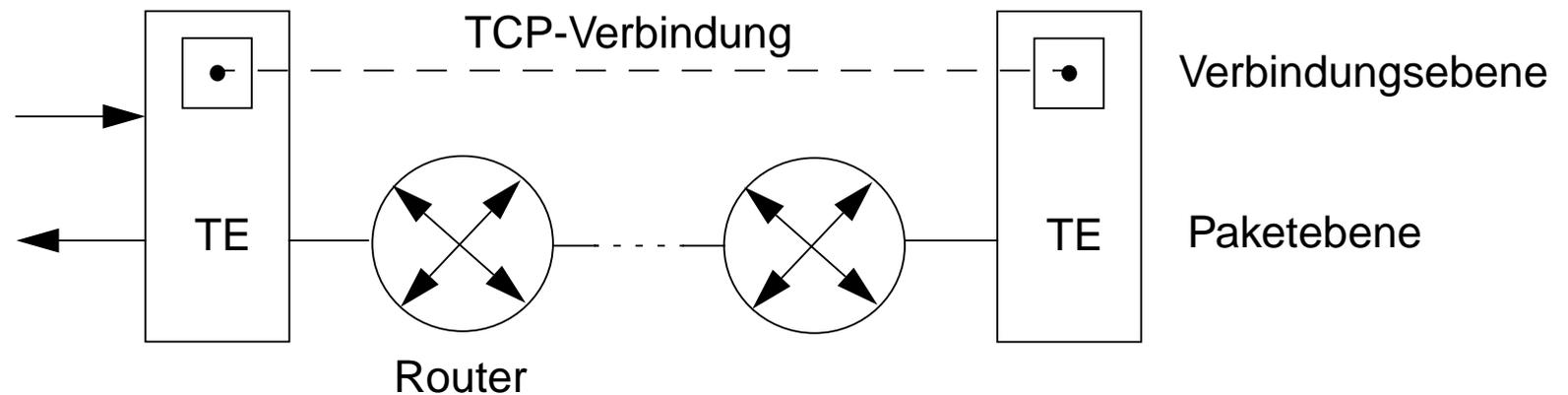
Skalen:

- ↳ **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**

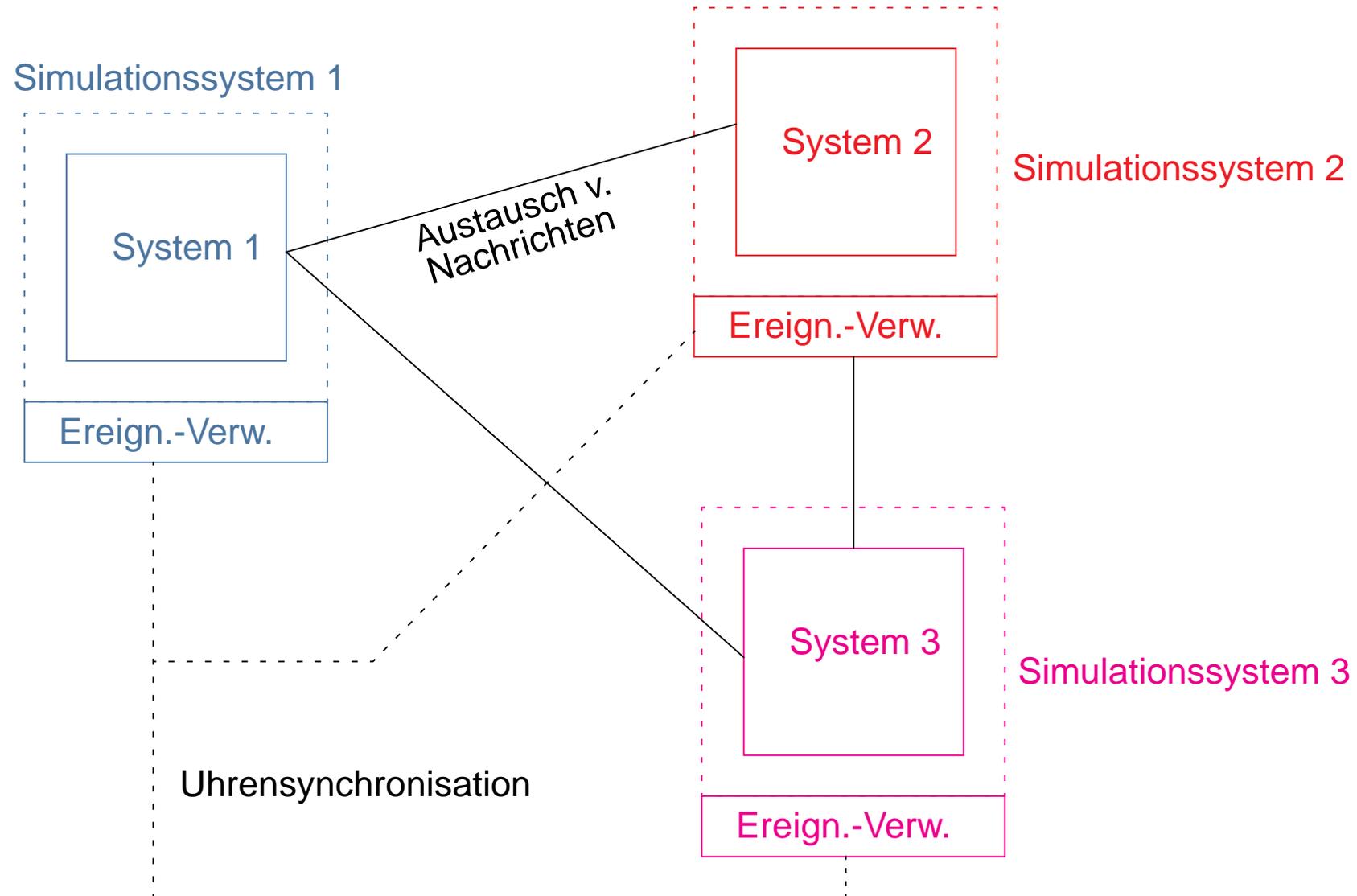
1. ZZ: Rare Event Simulation



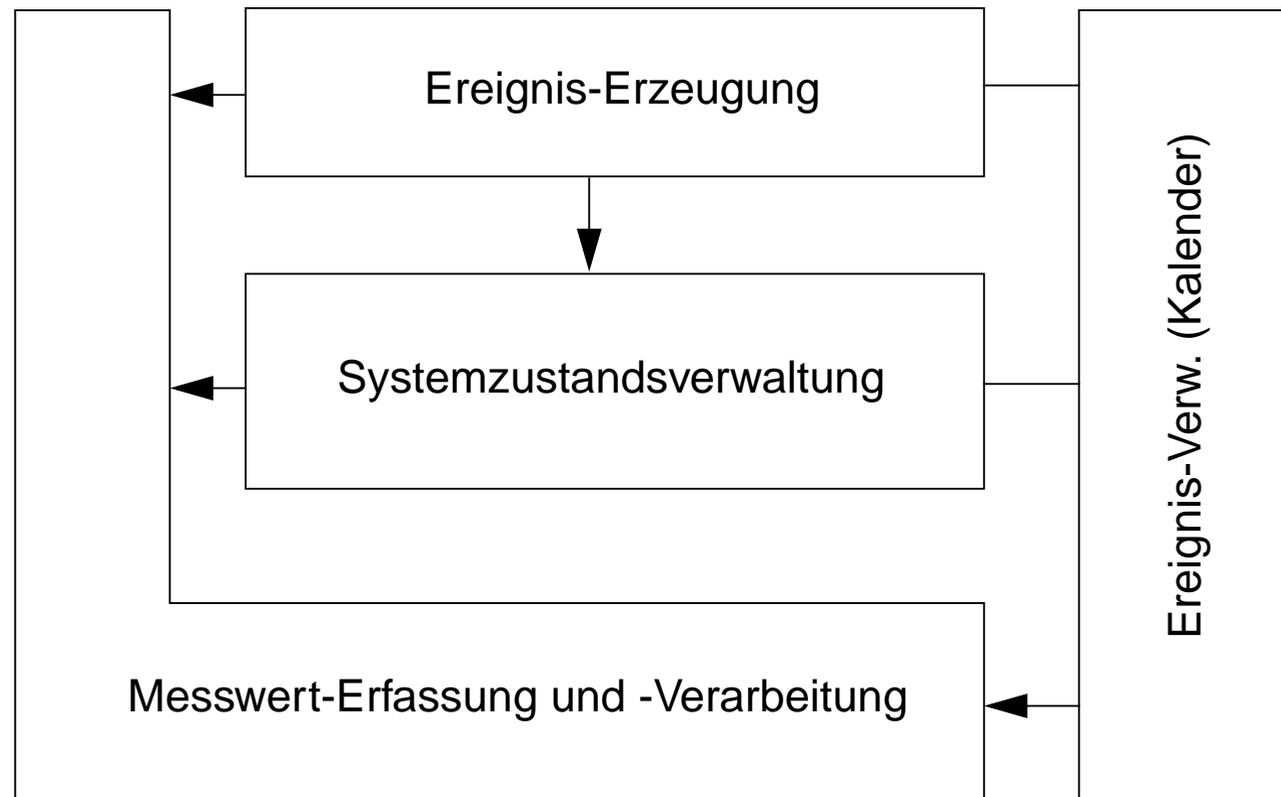
2. ZF: Zwei Aktivitätsebenen



3. RZ: Ereignis-Parallele Simulation

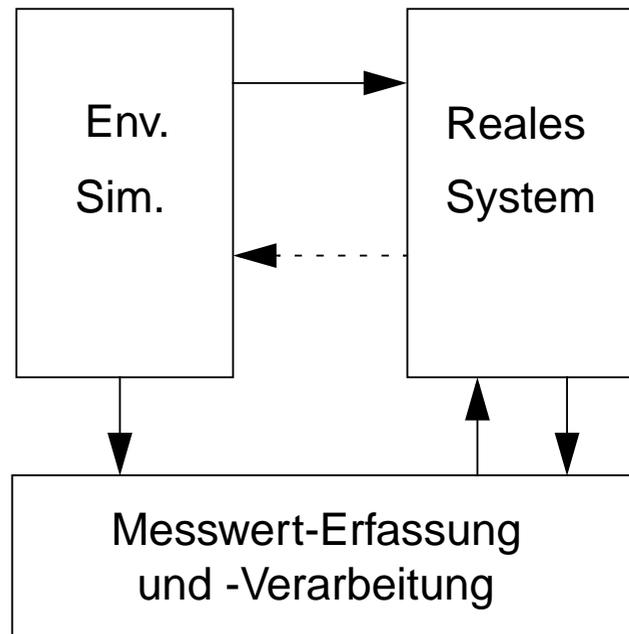


4. F: Funktionell-Parallele Simulation

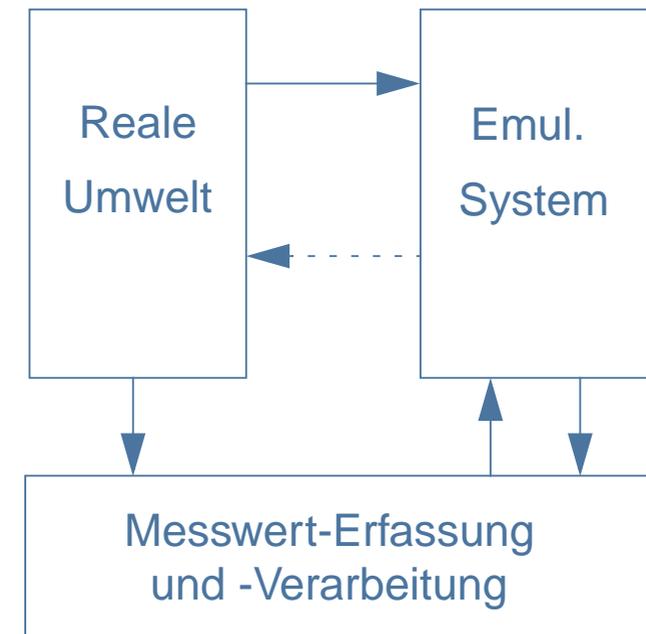


5. FF: Hybride Simulation

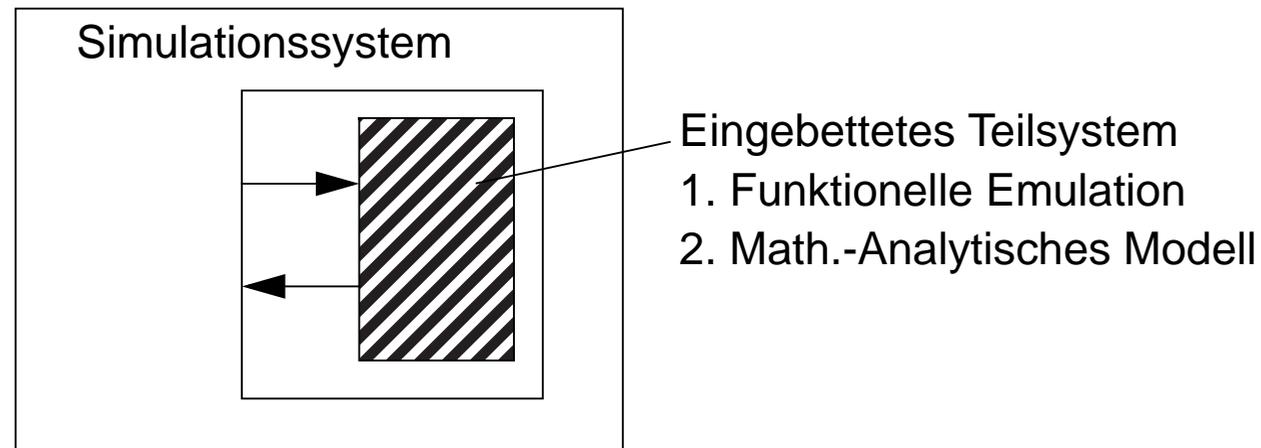
Beispiel 1: Environment Simulation



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**