

Akzeptanztests

Echtzeitsysteme 2 - Vorlesung/Übung

Fabian Scheler
Michael Stilkerich
Peter Ulbrich
Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl für Informatik IV
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

[http://www4.cs.fau.de/~{scheler,mike,wosch}](http://www4.cs.fau.de/~{scheler,mike,wosch}{scheler,mike,ulbrich,wosch}@cs.fau.de)
{scheler,mike,ulbrich,wosch}@cs.fau.de



Übersicht

- Grundlegende Techniken
- Szenariobasierte Akzeptanztests
- Testen von verteilten Echtzeitsystemen
- Zusammenfassung



Grundlegende Techniken

■ Verfolgbarkeit

- Beziehung von Testfällen und Anforderungen

■ Formale Methoden

- Generierung von Testfällen
- *Requirements Language Processor*

■ Prototypen

- Evaluation von Prototypen

■ andere Methoden

- statistische Methoden, Structured Analysis, Simulation

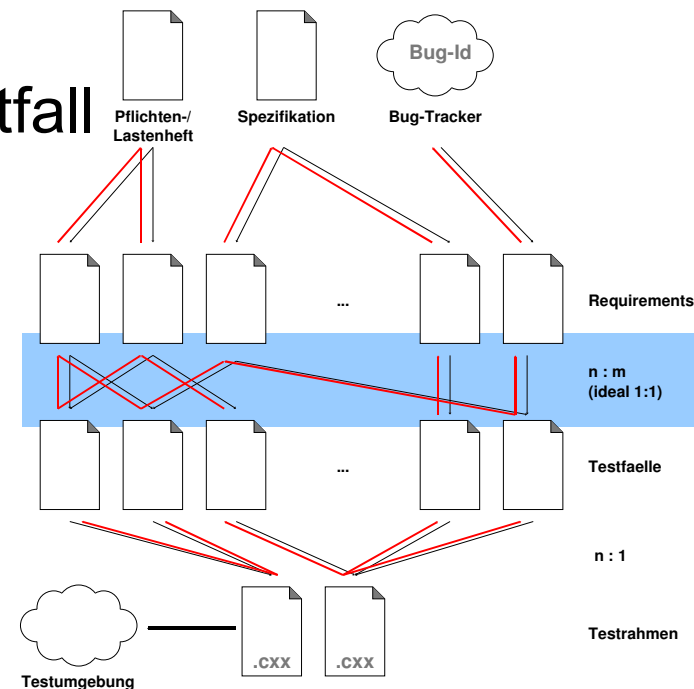


Verfolgbarkeit

- **verfolgbare** Software Requirements Specification (SRS)
 - eine Anforderung je Absatz
 - direkte Nummerierung der Anforderungen
 - Anforderungen werden z.B. mit „shall“ eingeleitet

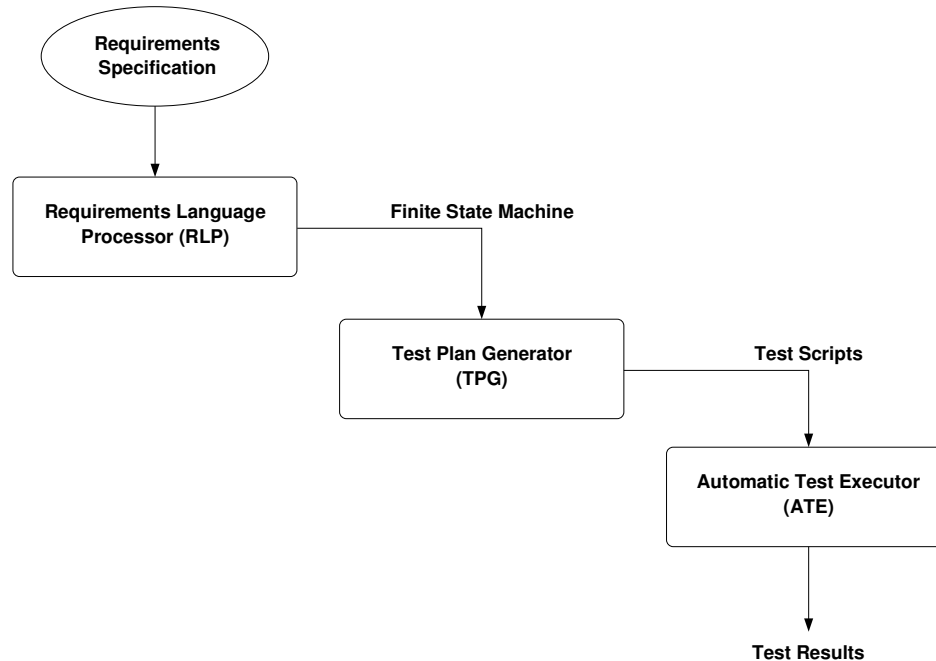
- Abbildung: Anforderungen $\leftrightarrow$ Testfall

- ✓ mind. 1 Test / Anforderung
- ✗ Abbildung ist nicht bijektiv
- ✗ Abbildung ist subjektiv



Formale Methoden

- Voraussetzung: **formale Beschreibung** der Anforderungen

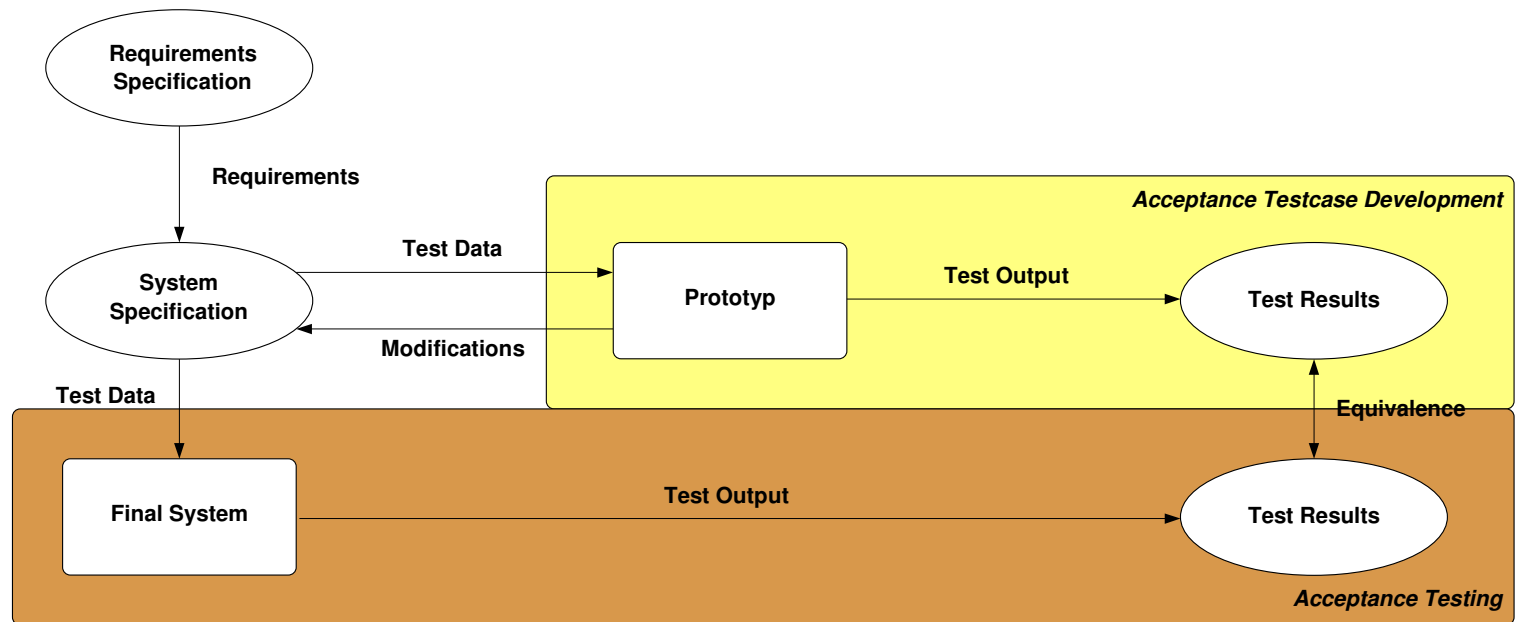


- Zustandsmaschine: verhält sich wie das reale System
- ✓ Anforderungen: **vollständig**, **konsistent** und **eindeutig**
- ✗ geringe Akzeptanz formaler Methoden



Prototypen

- Entwicklung der Testfälle gegen einen Prototypen
- Prototyp wird an das gewünschte Verhalten angepasst



- ✓ Erprobung neuer, riskanter Entwicklungsmethoden



andere Methoden

■ **Zuverlässigkeitsmaße** für Software

- Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fehlern (MTBF)
- Spezifikation von Benutzungsprofilen und Fehlern
- Testfälle werden anhand des Benutzungsprofils erstellt

■ **Structured Analysis**

- existierende Systeme ohne SRS
- Testfälle werden anhand des CFG und DFG erstellt
- reiner White-Box-Ansatz

■ **Simulation**

- für Systeme, deren reale Interaktion nicht getestet werden kann
- Simulation der Umwelt



Gemeinsame Nachteile

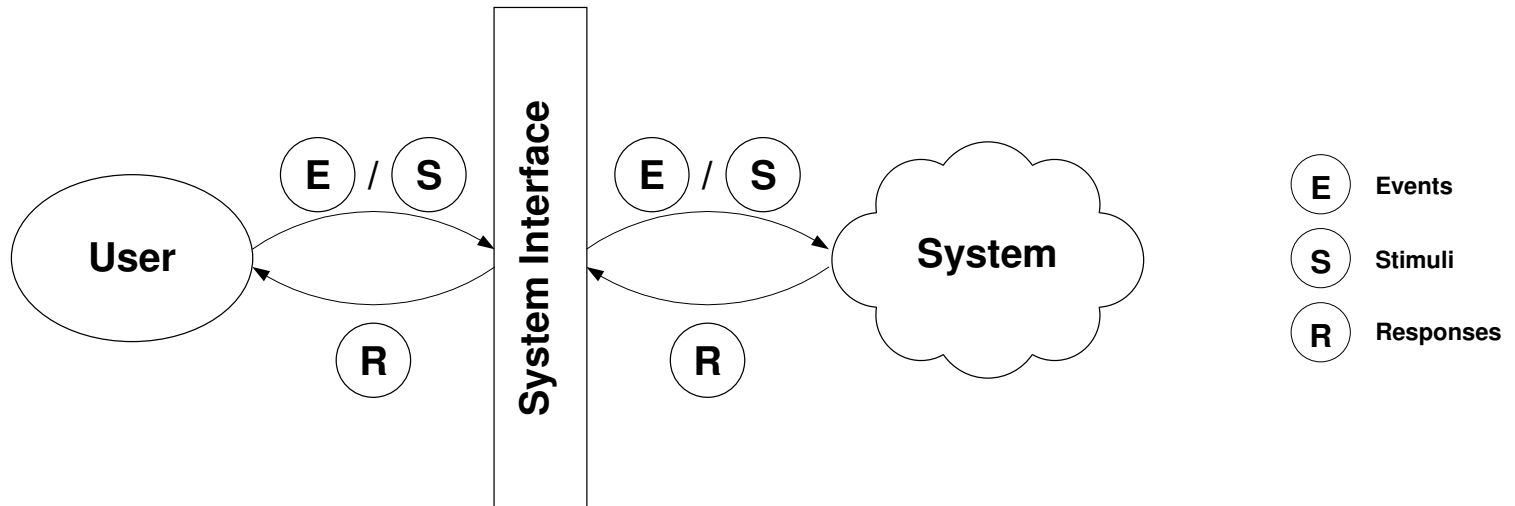
- x der spätere Benutzer wird nicht einbezogen
 - Testfälle aus Sicht des Entwicklers
 - Subjektivität: Testfälle niedriger Qualität
 - **PEBCAK**: **p**roblem **e**xists **b**etween **c**hair and **k**eyboard

- x Testfallentwicklung: separater Prozess
 - höherer Aufwand (Personal, Zeit und Geld)



Szenarioanalyse

■ Systemstruktur

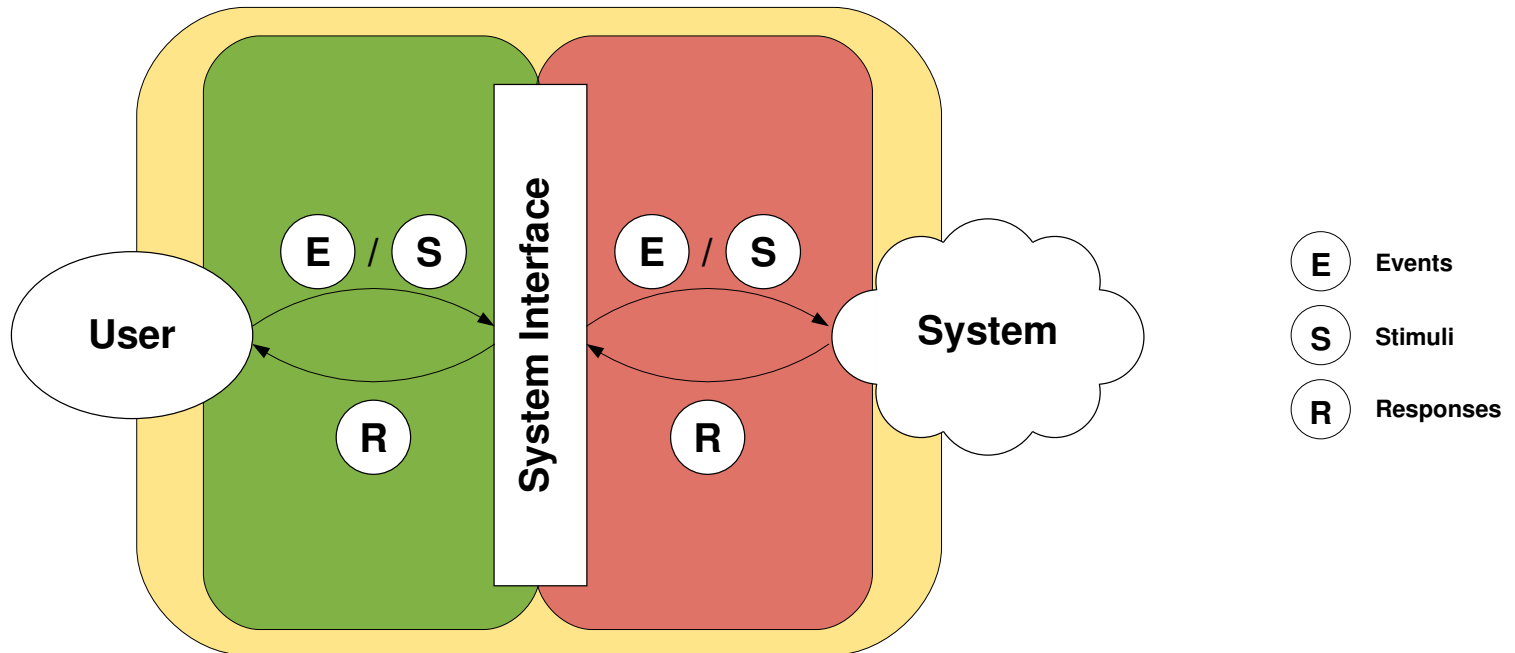


- Benutzer kommuniziert durch **Ereignisse / Stimuli**
- System reagiert mit **Antwort** bzw. **Zustandsänderung**
- gültige Folge von Eingaben: **Szenario**



Benutzersicht und Schnittstellensicht

■ Systemstruktur



■ Benutzersicht

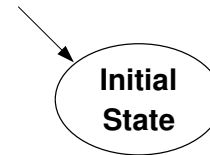
■ Schnittstellensicht

■ externe Systemsicht



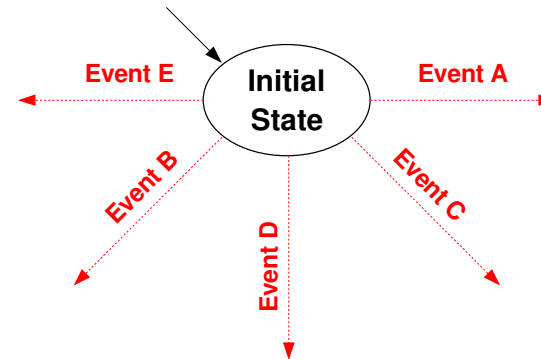
Szenariobäume

1. initialer Systemzustand



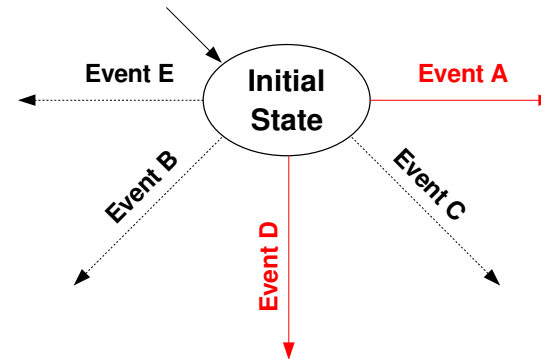
Szenariobäume

1. initialer Systemzustand
2. **Domänenexperte:**
mögliche Ereignistypen



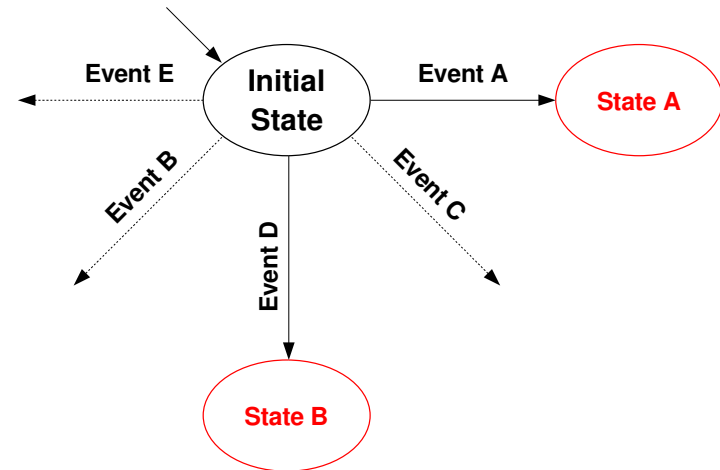
Szenariobäume

1. initialer Systemzustand
2. **Domänenexperte**:
mögliche Ereignistypen
3. **Benutzer**: Eingabeereignisse



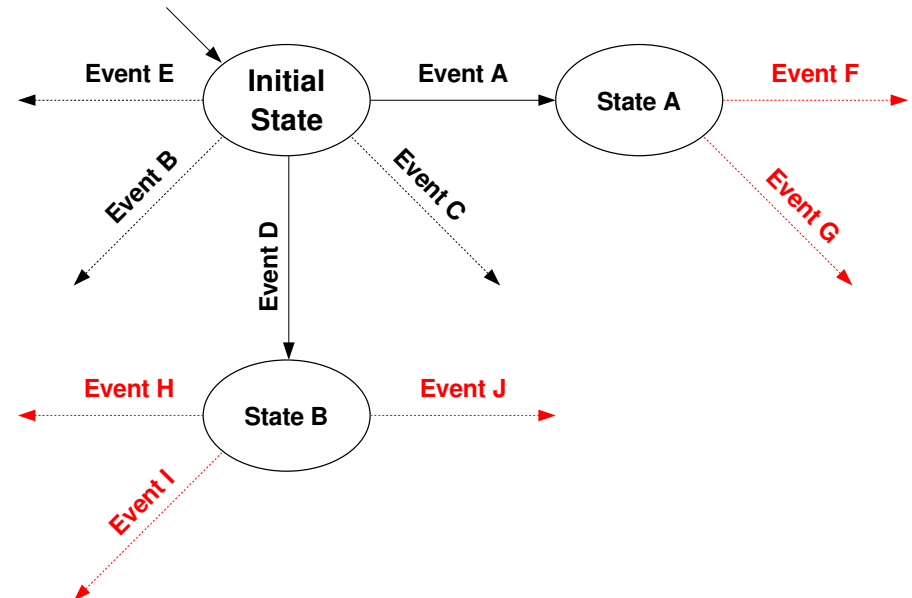
Szenariobäume

1. initialer Systemzustand
2. **Domänenexperte**:
mögliche Ereignistypen
3. **Benutzer**: Eingabeereignisse
4. neue Zustände



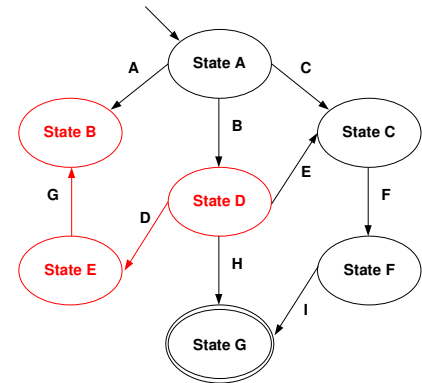
Szenariobäume

1. initialer Systemzustand
 2. **Domänenexperte**: mögliche Ereignistypen
 3. **Benutzer**: Eingabeereignisse
 4. neue Zustände
 5. zurück zu Schritt 2
- eher DFA als Baum
 - bis zu einem Fixpunkt
 - Zustände sind durch den Benutzer beobachtbar
 - Tracing von Benutzereingaben
 - Pfad des DFA $\leftrightarrow$ Szenario

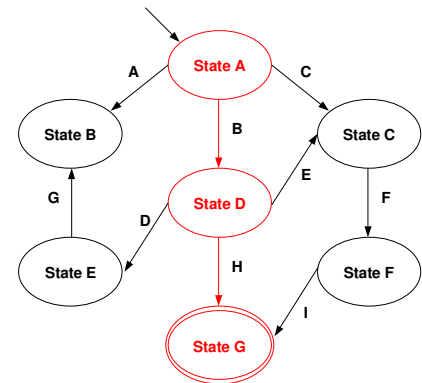


Basispfade

- Pfad über mind. 1 Kante
- gültige Szenarien
 - bestehen aus Basispfaden
 - beginnen an einem Startzustand
 - enden an einem Endzustand
- Testfallgenerierung
 - für jedes gültige Szenario
 - mit Hilfe der Basispfade



Basispfad



gültiges Szenario

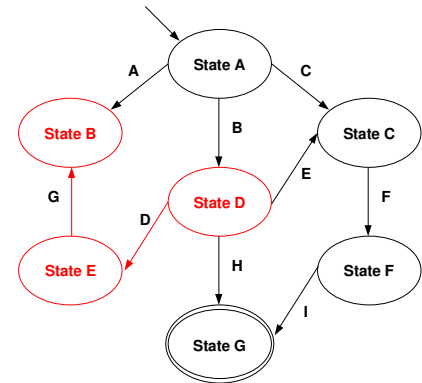


Basispfade

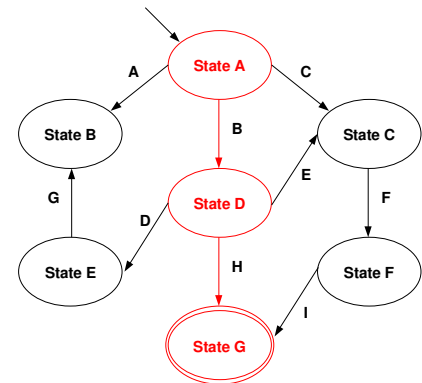
- Pfad über mind. 1 Kante
- gültige Szenarien
 - bestehen aus Basispfaden
 - beginnen an einem Startzustand
 - enden an einem Endzustand

- Testfallgenerierung
 - für jedes gültige Szenario
 - mit Hilfe der Basispfade

- ✓ Vorteil
 - Einbeziehung des Benutzer
 - Entwickler/Tester müssen keine Domänenexperten sein



Basispfad



gültiges Szenario

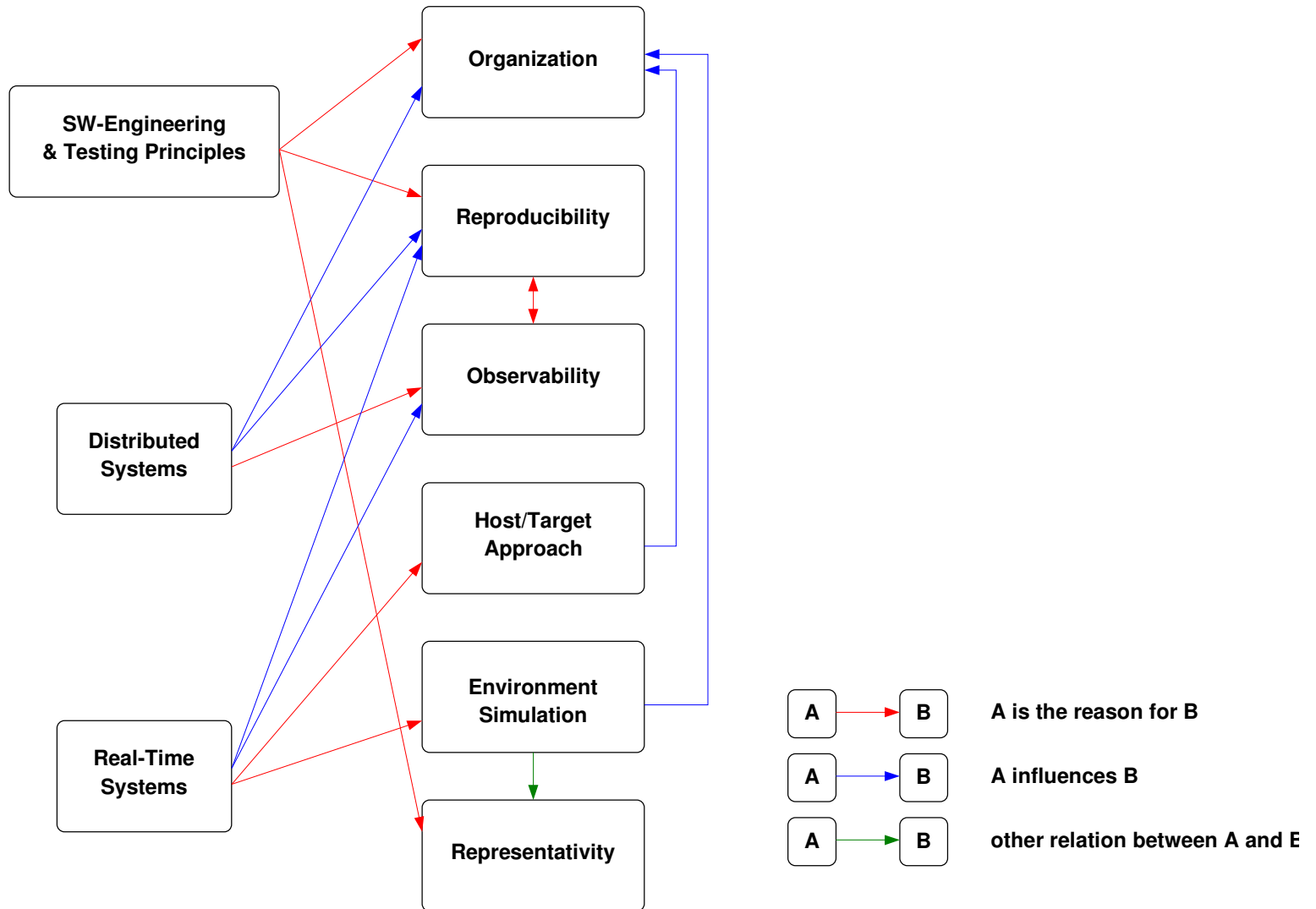


Testen von verteilten Echtzeitsystemen

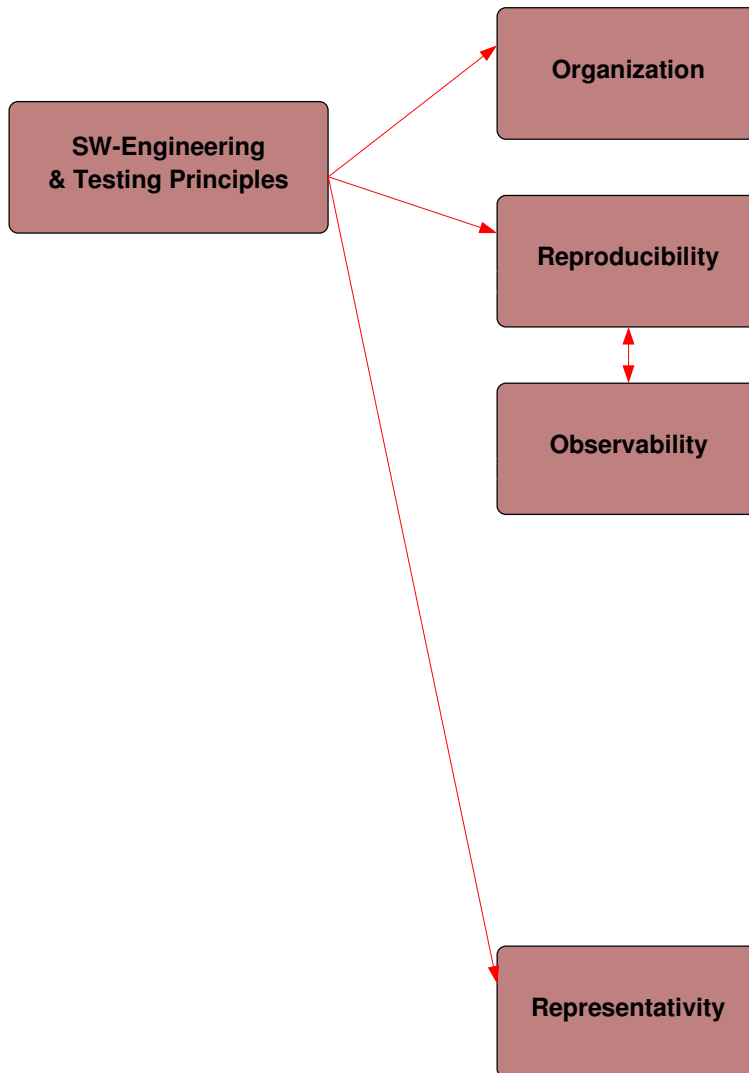
- Herausforderungen beim Testen von
 - **Echtzeitsystemen**
 - starke Kopplung zur Umgebung
 - voranschreiten der realen Zeit ist nicht vernachlässigbar
 - die Umgebung kann nicht gezielt gesteuert werden
 - **verteilten Systemen**
 - hohe Komplexität
 - Beobachtung des Systems ist schwierig
 - Reproduzierbarkeit des Systemverhaltens
 - fehlende globale Zeit: kein eindeutiger globaler Zustand



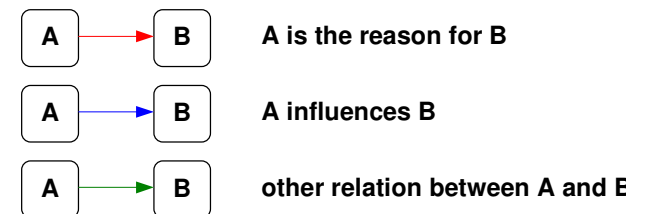
Problemfeld Testen



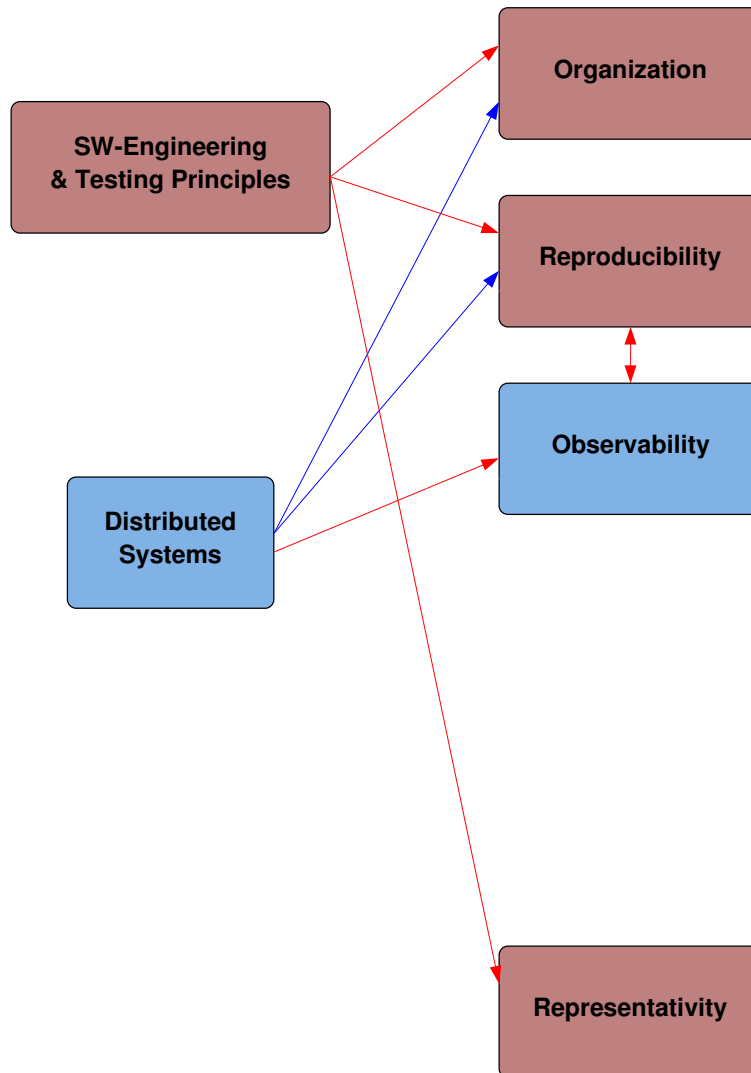
Problemfeld Testen



■ Fokus:
SW-Engineering



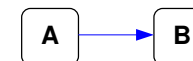
Problemfeld Testen



- Fokus:
verteilte Systeme



A is the reason for B



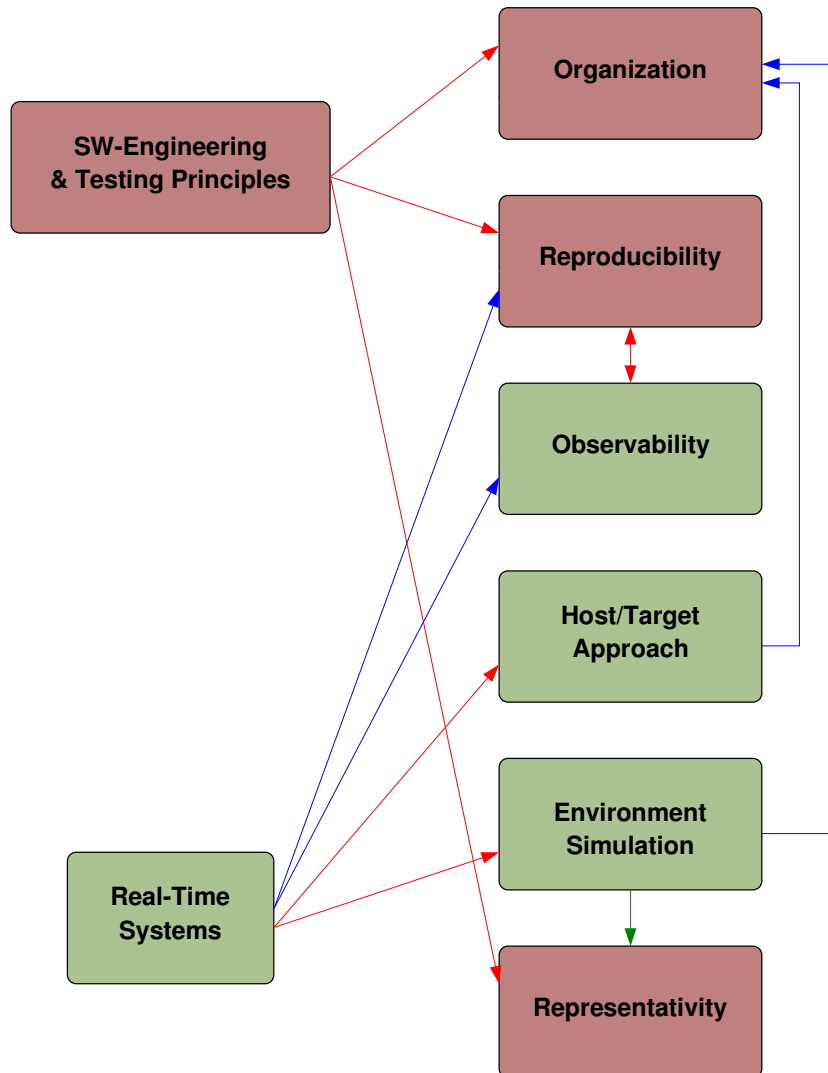
A influences B



other relation between A and B



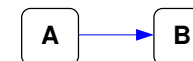
Problemfeld Testen



■ Fokus:
Echtzeitsysteme



A is the reason for B



A influences B



other relation between A and B



Organisation

■ Entwicklungsmethodologie

- Entwicklungsphasen
- Zwischenprodukte
 - Evaluation
 - Eingabe für die nächste Entwicklungsphase

■ Testen

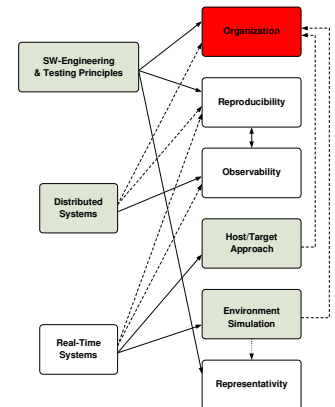
- folgt den Entwicklungsphasen
- z.B. Modul-, Integrations- und Systemtest

■ Echtzeitsysteme

- Entwicklungsmethodologie aber keine Testmethodologie

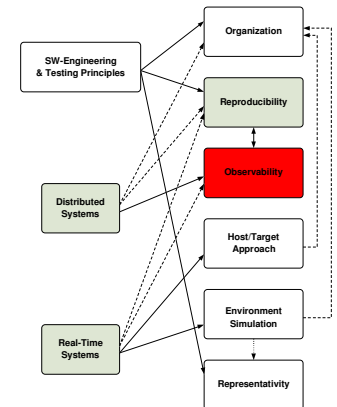
■ verteilte System

- höhere Komplexität
- ➔ Verteilung beeinflusst Organisation und Anzahl der Testphasen



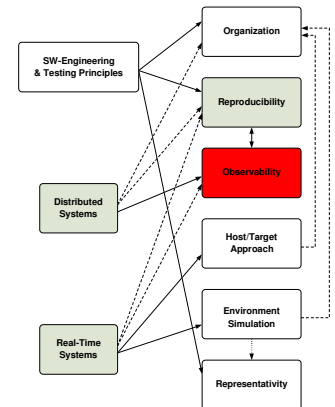
Beobachtbarkeit

- Verhalten des Systems und der Umwelt muss erfasst werden können
- Möglichkeiten der Beobachtung
 - Ausgaben bzw. Ergebnisse
 - Zwischenzustände und -ergebnisse
- Zwischenzustände über
 - zusätzliche Ausgaben (→ häufiges Übersetzen)
 - Debugger



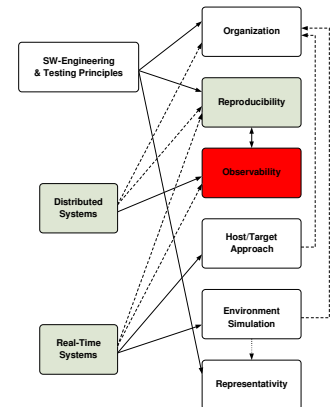
Probleme in verteilten Systemen

- Ausgaben beeinflussen das System
 - Ausgaben verzögern evtl. Prozesse
 - ➔ Nachrichtenreihenfolgen ändern sich
 - ➔ Timeout
 - ➔ ...
- Debuggen: globale Breakpoints unmöglich
 - perfekt synchronisierte, globale Uhr existiert nicht
 - ➔ wie soll man Prozesse gleichzeitig anhalten?
- bekanntes Phänomen: **Probe Effect**
 - ➔ muss vermieden oder kompensiert werden



Probleme in Echtzeitsystemen

- neben den Ereignissen selbst muss auch der Zeitpunkt ihres Auftretens vermerkt sein
→ Verschärfung des Probe Effects
- verteilte Systeme
 - Probe Effect durch unabhängige Prozesse
- Echtzeitsysteme
 - Probe Effect durch voranschreiten der Zeit
 - auch einzelne Prozesse sind betroffen



Probe Effect: Lösungsmöglichkeiten

■ Ignoranz

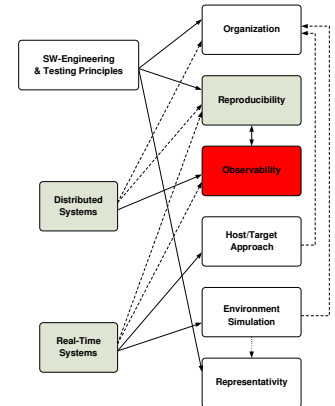
- der Probe Effect wird schon nicht auftreten

■ Minimierung

- Datenaufzeichnung hinreichend effizient
- Kompensation der aufgezeichneten Daten

■ Vermeidung

- hinter der logischen Zeit verbergen
- Datenaufzeichnung existiert auch im Produktivsystem
- dedizierte Hardware für die Datenaufzeichnung



Reproduzierbarkeit

■ Regressionstests

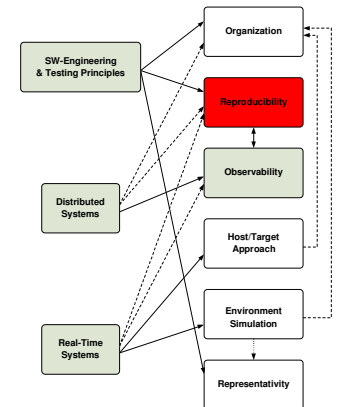
- wurden die Fehler wirklich korrigiert
- hat die Korrektur keine neuen Fehler erzeugt

■ Voraussetzung: **Reproduzierbarkeit**

- andernfalls: keine Aussage, ob der Fehler korrigiert wurde
- dasselbe Symptom kann verschiedene Ursachen haben

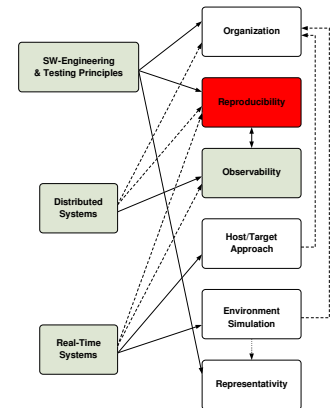
■ Reproduzierbarkeit besteht aus

- **Beobachtbarkeit** aller relevanten Ereignisse
- **Kontrollierbarkeit** des Systems



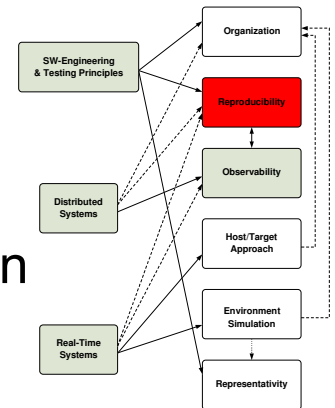
Probleme – Beobachtbarkeit

- **nicht-deterministische** Operationen
 - Abhängigkeiten z.B. vom Netzwerk-Verkehr
 - Zufallszahlen
- **ungenügendes** Vorabwissen
 - Fadensynchronisation
 - (asynchrone) Unterbrechungen
 - Zeitbasis der Systeme
- das sind **relevante Ereignisse**
 - sie beeinflussen den Programmablauf
 - hängen von der Anwendung ab
 - müssen identifiziert und beobachtet werden



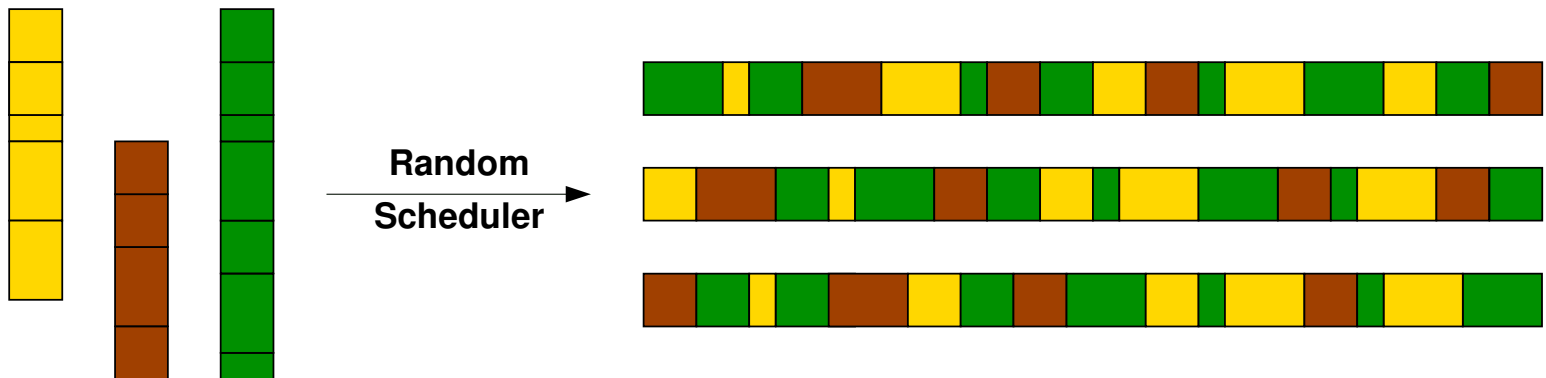
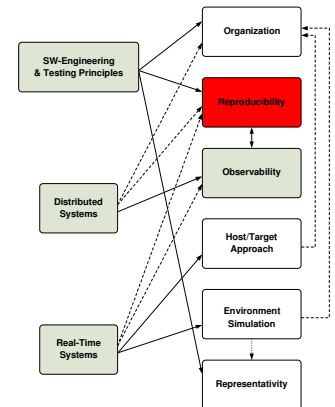
Kontrollierbarkeit

- Abspielen der relevanten Ereignisse
 - Einhaltung der Reihenfolge
 - zeitlich akkurat
 - schließt Unterbrechungen und externe Ereignisse ein
- *simulierte* statt *reale* Zeit
 - Zeitbasis muss sich nicht deterministisch verhalten
- Ansätze zur Kontrollierbarkeit
 - **sprachbasierter** Ansatz
 - **implementierungsbasierter** Ansatz



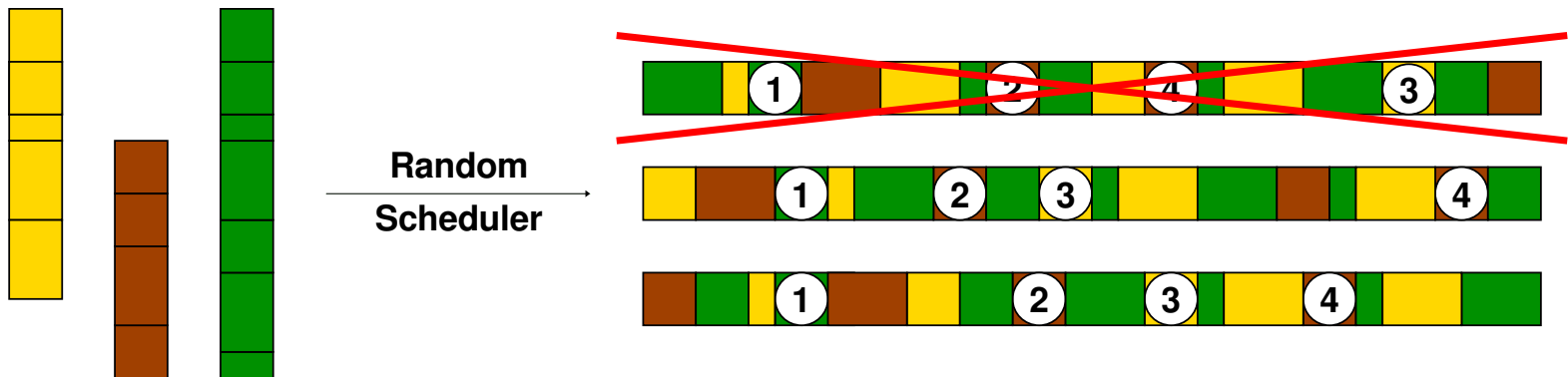
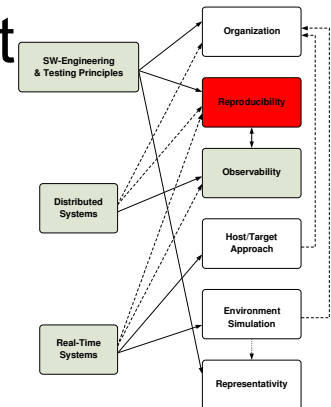
sprachbasierter Ansatz

- statische Quelltextanalyse
 - Identifizierung von Ausführungsszenarios
- Erzwingen der Ausführungsszenarios
 - *Random Scheduler*
 - nebenläufiges Programm → sequentielles Programm
 - teste Sequentialisierungen statt nebenläufigem Programm



sprachbasierter Ansatz

- welche Sequentialisierungen werden getestet
 - (1) gemeinsame Daten werden synchronisiert
 - (2) Synchronisationssequenz ist eindeutig→ alle Sequentialisierungen sind äquivalent
- (1) ist gegeben, (2) muss erzwungen werden



sprachbasierter Ansatz

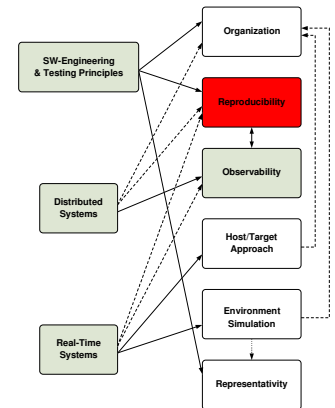
■ Erzwingen der Sequenz

- Brich Hansen: atomare Monitor-Aufrufe
 - werden von nebenläufigen Prozessen
 - an definierten logischen Zeitpunkten getätigt
- Quelltexttransformationen für
 - SEND/RECEIVE
 - Ada: Rendezvous

■ Abhängigkeit vom Voranschreiten der Zeit

- Zeitserver
- Zugriff auf simulierte Zeit

✗ asynchrone Unterbrechungen nicht adäquat behandelbar



implementierungsbasierter Ansatz

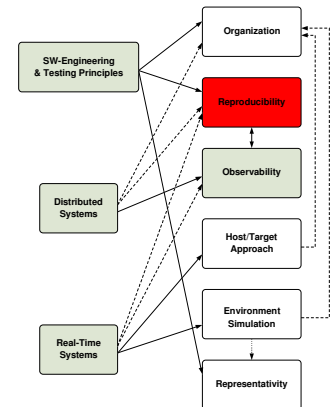
■ Monitoring zur Laufzeit

- Aufzeichnung der relevanten Ereignisse
- *Event Histories* bzw. *Traces*

→ erneutes Abspielen dieser Traces

✓ existierende Lösungen für verteilte Echtzeitsysteme:

- **vermeiden** Probe Effect
- decken **Vielzahl von Ereignissen** ab
 - Systemaufrufe, Kontextwechsel, **asynchrone Unterbrechungen**, Synchronisation, Zugriff auf gemeinsame Variablen, ...



implementierungsbasierter Ansatz

x **Spezialhardware** notwendig

x **große Datenmengen** fallen an

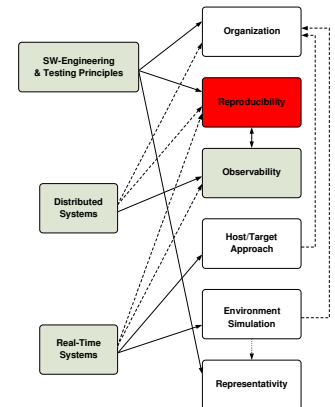
- Traces auf Maschinencodeebene
- Eingaben, Zwischenergebnisse

x **nur beobachtete Szenarien** können wiederholt werden

- man kann nicht alles beobachten
- evtl. passt der Trace nicht mehr zum geänderten System

x Wiederholung & Aufzeichnung: auf demselben System

- **Target wird benötigt**



Beobachtbarkeit & Reproduzierbarkeit

- initiale Monitoringphase → **Probe Effect**
- Wiederholung → **Probe Effect**

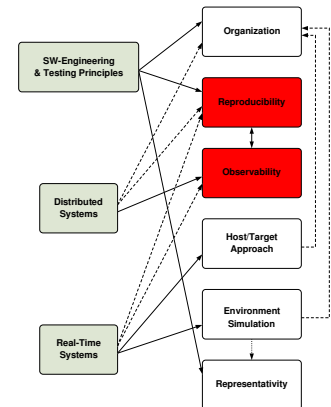
→ Probleme

- getestetes Szenario ist anders
- Wiederholung durch Probe Effect verfälscht

■ Annahme: Probe Effect

- ✗ ist zwar **nicht-deterministisch** und
- ✗ **verändert Reihenfolge** und/oder **Timing** relevanter Ereignisse,
- ✓ erzeugt aber (meistens) **keine neuen relevanten Ereignisse**.

→ Probe Effect wird bei der Wiederholung reproduziert



Host/Target Approach

■ Zielsystem (engl. *Target*)

- ist nicht direkt zugreifbar (z.B. Atomkraftwerk)
- verfügt nicht über genügend Ressourcen

→ Entwicklung: **Wirtssystem** (engl. *Host*)

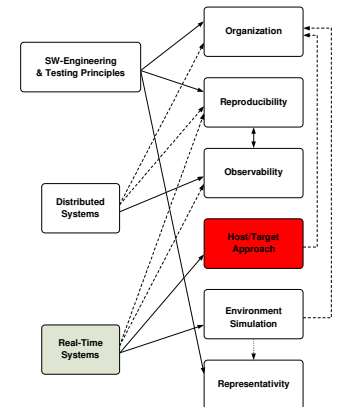
- Cross-Compiler

→ Frage: Wo testet man was?

- Modultests → Wirtssystem
- Integrations- und Systemtests → Zielsystem

■ Problem: wenig Testunterstützung auf dem Zielsystem

→ **Emulation** des Zielsystems

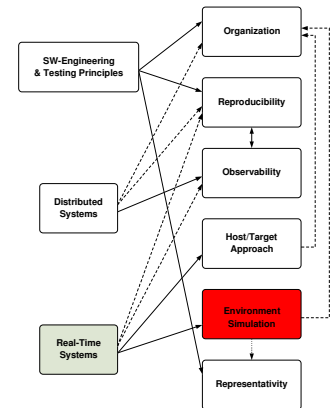


Umgebungssimulation

■ engl. *Environment Simulator*

✓ Vorteile

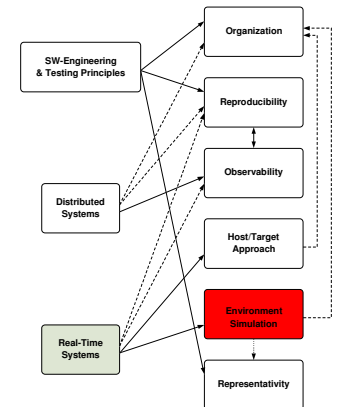
- Tests **ohne reales Objekt**
- Tests von **Ausnamesituationen** (engl. *rare event situations*)
- Simulator erlaubt
 - **gezieltere Kontrolle** als das physikalische Objekt
 - **einfachere Beobachtung** von Ein- und Ausgaben
- **Erzeugung der Testdaten** bei der Testausführung
 - Korrektheit hängt von einer Sequenz von Ein- und Ausgaben ab
 - realistische Testdaten schwer bestimmbar



Umgebungssimulation

x Nachteile

- hochgradig **anwendungsspezifisch**
- zu simulierende **Umwelt ist sehr komplex**
- **Validierung** des Simulators



Repräsentativität

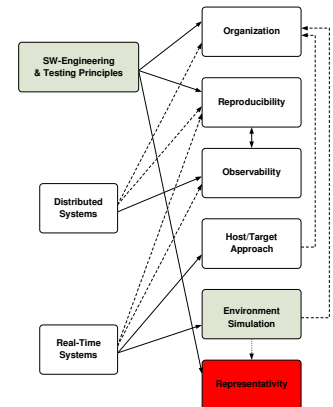
- System sollte getestet werden
 - mit **realistischen Eingaben**
 - mit **realistischen Anwendungsszenarien**

→ Problematik

- (1) nicht alle Szenarien werden nachgestellt
 - ungenügendes Wissen über die Umwelt
 - Entwurf lässt bestimmte Szenarien außer acht (bewußt oder unbewußt)
- (2) kombinatorische Explosion: zu viele Szenarien

■ Verfahren

- (1) ist *unbekannt* und kann nicht *gemessen* werden
- (2) **Test Coverage**: wieviel wird durch die Tests abgedeckt
 - **Achtung**: Aussagen über Coverage sind **immer relativ niemals absolut**



Zusammenfassung

- Grundlegende Techniken
 - Verfolgbarkeit, formale Methoden, Prototypen
- Szenariobasierte Akzeptanztests
 - Szenarioanalyse, Szenariobäume
- Test-Driven Development
- Testen von verteilten Echtzeitsystemen
 - SW Engineering vs. verteilte Systeme vs. Echtzeitsysteme
 - Problemfeld
 - Organisation
 - Beobachtbarkeit & Reproduzierbarkeit
 - Host/Target-Approach
 - Umgebungssimulation
 - Repräsentativität



Literatur

- *Pei Hsia, David Kung, and Chris Sell.*
Software requirements and acceptance testing.
Anals of Software Engineering, 3(0):291-317, 1997.
- *Werner Schütz.*
**Fundamental issues in testing
distributed real-time systems.**
Real-Time Systems Journal, 7(2):129-157, 1994.

