

Verlässliche Echtzeitsysteme

Dynamisches Testen

Peter Ulbrich

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

<https://www4.cs.fau.de>

08. Juni 2017



Funktionale und nicht-funktionale Eigenschaften

Welche Aspekte spielen bei der zuverlässigen Entwicklung eine Rolle?



Korrektheit der Software hat viele Gesichter

- Wurde das 1) richtige 2) korrekt implementiert?

→ Alle relevanten Eigenschaften sind zu überprüfen!

1

Funktionale Eigenschaften (hier: Übereinstimmung mit der Spezifikation)

- Müssen **explizit implementiert** werden →
`int regelschritt(int sensorwert)`
- Eine **fehlerhafte** Funktion kann nicht-funktional **korrekt** sein

2

Nicht-funktionale Eigenschaften (z.B. Laufzeitverhalten)

- Können nur **implizit implementiert** werden
- Sind **querschnittend** ~ erst im konkreten Kontext bestimmt
- Eine **korrekte** Funktion kann nicht-funktional **fehlerhaft** sein

⚠ **Robustheit** (Kapitel 3-6) ist eine nicht-funktionale Eigenschaft



Es kommt auf die Betrachtungsebene an!

- **Laufzeitfehler** (engl. *bugs*) stellen eine nicht-funktionale Eigenschaft dar
- Aus Sicht des **Übersetzers** (engl. *compilers*) sind dies jedoch funktionale Fehler



Zuverlässig Software entwickeln?



Ziel: Aussagen zur Korrektheit von **funktionalen** und **nicht-funktionalen Eigenschaften** von Software treffen

- Fokus der Vorlesung: **Korrektheit** oder zumindest **Absenz von Defekten**
- Schrittweise Annäherung über **Qualität** und **Verhalten**

■ Hierfür existieren unterschiedliche Ansätze:

- **Informelle Methoden**
 - Inspection, Review, Walkthrough, ...
 - **Analytische Methoden**
 - Metriken, Kodierrichtlinien, ...
 - **Dynamisches Testen**
 - Black-Box, White-Box, Regression, Unit, ...
 - **Formale Methoden**
 - Statische Code-Analyse, Model Checking, ...
- Aussagen über die **Qualität**
- Aussagen über das **Verhalten**



In dieser Vorlesung steht das **Testen des Verhaltens** im Vordergrund



Gliederung

1 Testarten und Konzepte

- Entwicklungsprozess
- Modultests
- Black-Box- vs. White-Box-Tests

2 Bewertung von Testfällen

- McCabe's Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

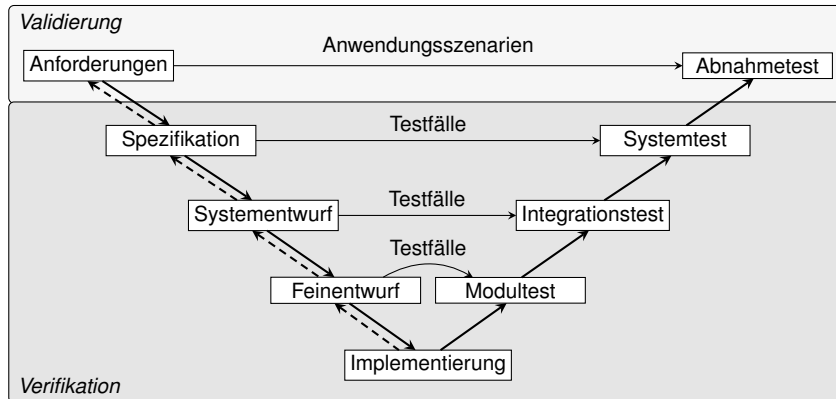
- Problemfeld
- Reproduzierbarkeit
- Beobachtbarkeit
- Kontrollierbarkeit

4 Zusammenfassung



Einordnung in den Entwicklungsprozess

Softwareentwicklung nach dem V-Modell wird zugrunde gelegt



- Weit verbreitetes Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung
 - **Absteigender Ast** \leadsto Spezifikation, Entwurf, Implementierung
 - **Aufsteigender Ast** \leadsto Verifikation & Validierung
 - **Querbeziehungen** \leadsto Testfallableitung

5/37

Tests in den verschiedenen Phasen des V-Modells

Modultest (engl. *unit testing*)

- Diskrepanz zwischen Implementierung und Entwurf/Spezifikation

Integrationstest (engl. *integration testing*)

- Probleme beim Zusammenspiel mehrere Module

Systemtest (engl. *system testing*)

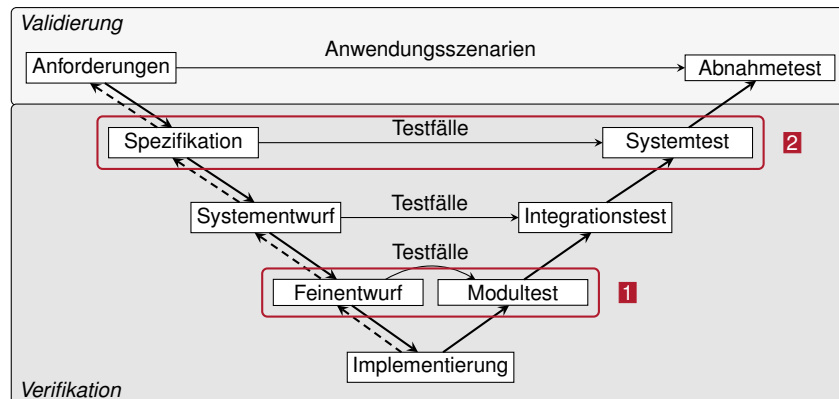
- Black-Box-Test auf Systemebene
- Vergleich: geforderte Leistung \leftrightarrow tatsächliche Leistung
 - Funktional: sind alle Merkmale verfügbar
 - Nicht-funktional: wird z.B. ein bestimmter Durchsatz erreicht

Abnahmetest (engl. *acceptance testing*)

- Erfüllt das Produkt die Anforderungen des Auftraggebers
- Korrektheit, Robustheit, Performanz, Dokumentation, ...
- Wird durch Anwendungsszenarien demonstriert/überprüft
 - Hier findet also eine Validierung statt, keine Verifikation

6/37

Fokus der heutigen Vorlesung



- 1 Modultests** \leadsto Grundbegriffe und Problemstellung
 - \rightarrow Black- vs. White-Box, Testüberdeckung
- 2 Systemtest** \leadsto Testen verteilter Echtzeitsysteme
 - \rightarrow Problemstellung und Herausforderungen

7/37

Eigenschaften von Modultests

- Modultests beziehen sich auf **kleine Softwareeinheiten**
 - Meist auf Ebene einzelner Funktionen
 - \rightarrow Die **Testbarkeit** ist zu gewährleisten \leadsto Begrenzung der notwendigen Testfälle
- Modultests erfolgen in **Isolation**
 - Für den (Miss-)Erfolg ist **nur** das getestete Modul verantwortlich
 - Andere Module werden durch **Attrappen** (engl. *mock-objects*) ersetzt
- Modultests werden **fortlaufend** durchgeführt
 - Jede Änderung am Quelltext sollte auf ihre Verträglichkeit geprüft werden
 - \rightarrow **Regressionstests** (engl. *regression testing*) \leadsto Automatisierung notwendig
- Modultests sollten auch den **Fehlerfall** prüfen
 - Es genügt nicht, zu prüfen, dass ein korrektes Ergebnis berechnet wurde
 - \rightarrow Der Fehlerfall (Eingaben, Zustand, ...) soll einbezogen werden
- Modultest betrachten die **Schnittstelle**
 - Anwendung des **Design-By-Contract**-Prinzips \leadsto **Black-Box-Tests**
 - Interne Details (\leadsto **White-Box-Tests**) führen zu fragilen Testfällen

8/37

Black-Box- vs. White-Box-Tests

■ Black-Box-Tests

- Keine Kenntnis der internen Struktur
- Testfälle basieren ausschließlich auf der Spezifikation
- Synonyme: funktionale, datengetriebene, E/A-getriebene Tests

🗉 **Frage:** Wurden **alle** Anforderungen (**fehlerfrei**) implementiert?

■ White-Box-Tests

- Kenntnis der internen Struktur zwingend erforderlich
- Testfälle basieren auf Programmstruktur, Spezifikation wird ignoriert
- Synonyme: strukturelle, pfadgetriebene, logikgetriebene Tests

🗉 **Frage:** Wurden **nur** Anforderungen (**fehlerfrei**) implementiert?

🗉 Weiterer Verlauf der Vorlesung: Fokus auf **White-Box-Verfahren**

- Abstrakte Interpretation, Model Checking, Coverage, WP-Kalkül, ...



Problem: Kombinatorische Explosion

Ohne Einsicht in die Programmstruktur ist Testen sehr mühsam!

■ Beispiel: Modultests für OSEK OS [3]

- Verschiedene Betriebssystemdienste
 - Fadenverwaltung, Fadensynchronisation, Nachrichtenkommunikation, ...
- Hohe Variabilität
 - **4 Konformitätsklassen:** BCC1, BCC2, BCC3, BCC4
 - **3 Varianten der Ablaufplanung:** NON, MIXED, FULL
 - **2 Betriebsmodi:** Betrieb (STANDARD), Entwicklung (EXTENDED)
 - **24 Varianten** für jeden Testfall

■ Black-Box → kein Wissen über die interne Struktur nutzbar

- **konservative Annahme:** Parameter beeinflussen sich gegenseitig
- Alle Kombinationen sind relevant: **Kombinatorische Explosion!**

■ Kombination aus Black- und White-Box-Tests

- Unabhängigkeit der Parameter kann evtl. sichergestellt werden
- Reduktion der Testfälle bzw. deren Varianten



Gliederung

1 Testarten und Konzepte

- Entwicklungsprozess
- Modultests
- Black-Box- vs. White-Box-Tests

2 Bewertung von Testfällen

- McCabe's Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

- Problemfeld
- Reproduzierbarkeit
- Beobachtbarkeit
- Kontrollierbarkeit

4 Zusammenfassung



Hat man genug getestet?

Wie viele Testfälle sind genug Testfälle?

■ Kriterium: Anzahl der Testfälle

- Basierend auf Metriken
 - McCabe's Cyclomatic Complexity (MCC), Function/Feature Points, ...
- Mithilfe von Statistiken aus früheren Projekten
 - Kennzahlen früherer Projekte → Anzahl zu erwartender Defekte
 - Wie viele Defekte hat man bereits gefunden, wie viele sind noch im Produkt?
 - Wie viele Defekte will/kann man ausliefern?
 - Übertragbarkeit?

■ Kriterium: Testüberdeckung

- Welcher Anteil des Systems wurde abgetestet?
 - Wurden ausreichend viele Programmpfade absolviert?
 - Wurden alle Variablen, die definiert wurden, auch verwendet?



McCabe's Cyclomatic Complexity [2, Kapitel 8.1]

Maß für die Anzahl der unabhängigen Pfade durch ein Programm

→ je höher die MCC, desto höher die Komplexität

■ Berechnung basiert auf dem **Kontrollflussgraphen**

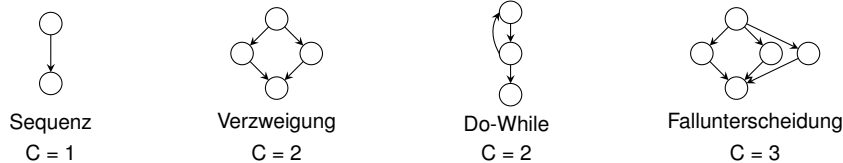
■ Knoten repräsentieren **Anweisungen**, Kanten **Pfade**

→ Komplexität C :

$$C = e - n + 2$$

– $e \hat{=}$ Anzahl der Kanten, $n \hat{=}$ Anzahl der Knoten

■ Beispiele:



⚠ **Untere Schranke** für die Anzahl der Testfälle!

■ In der Praxis gilt ein Wert im Bereich 1 - 10 als akzeptabel

Grundlegende Überdeckungskriterien

Wie sehr wurde ein Modul durch Tests beansprucht?

$C_0 = s/S$ **Anweisungsüberdeckung** (engl. *statement coverage*)

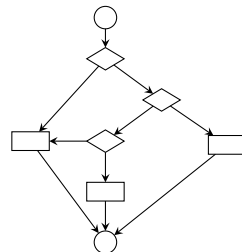
- $s \leadsto$ erreichte Anweisungen, $S \leadsto$ alle Anweisungen
- Findet nicht erreichbaren/getesteten/übersetzten Code
- **Nachteile:**
 - Gleichgewichtung aller Anweisungen
 - Keine Berücksichtigung leerer Pfade oder Datenabhängigkeiten

$C_1 = b/B$ **Zweigüberdeckung** (engl. *branch coverage*)

- $b \leadsto$ ausgeführte primitive Zweige, $B \leadsto$ alle primitiven Zweige
- Verzweigungen hängen u.U. voneinander ab
- Zweigüberdeckung und dafür benötigte Testfälle sind **nicht proportional**
- Primitive Zweige sind **unabhängig** von anderen Zweigen
- Findet nicht erreichbare Zweige, **Defekterkennungsrate ca. 33%**
- **Nachteile:** unzureichende Behandlung von
 - Abhängigen Verzweigungen
 - Schleifen \leadsto **Pfadüberdeckung**
 - Komplexe Verzweigungsbedingungen \leadsto **Bedingungsüberdeckung**

Beispiel: Anweisungs- und Zweigüberdeckung

```
int foo(int a,int b,int c) {  
    if((a > b && a > c) || c < 0) {  
        if(a < b) return 1;  
        else {  
            if(b < c) return 2;  
        }  
    }  
    return 4;  
}
```



■ **Anweisungsüberdeckung**

- **Test 1:** foo(0,0,0)
- **Test 2:** foo(0,1,-1)
- **Test 3:** foo(2,0,1)

■ **Zweigüberdeckung**

- **Test 1:** foo(0,0,0)
- **Test 2:** foo(0,1,-1)
- **Test 3:** foo(2,0,1)
- **Test 4:** foo(2,1,1)

■ 100% Zweigüberdeckung \mapsto 100% Anweisungsüberdeckung

■ Zweigüberdeckung: Weite industrielle Verbreitung

■ Moderater Aufwand, gute Defekterkennungsrate

Pfadüberdeckung

$C_2 = p/P$ **Pfadüberdeckung** (engl. *path coverage*)

- Pfade vom Anfangs- bis zum Endknoten im Kontrollflussgraphen
- Abstufungen der Pfadüberdeckung
 - C_{2a} **vollständige Pfadüberdeckung**
 - Abdeckung **aller** möglichen Pfade
 - **Problem:** durch Schleifen entstehen u. U. unendlich viele Pfade
 - C_{2b} **boundary-interior Pfadüberdeckung**
 - Wie C_{2a} , Anzahl der Schleifendurchläufe wird auf ≤ 2 beschränkt
 - C_{2c} **strukturierte Pfadüberdeckung**
 - Wie C_{2b} , Anzahl der Schleifendurchläufe wird auf $\leq n$ beschränkt
- Bedeutung **Boundary-Interior**
 - boundary** Jede Schleife wird 0-mal betreten
 - interior** Jede Schleife wird 1-mal betreten, alle Pfade im Rumpf abgearbeitet
 - Beschränkung: mit 2 bzw. n Durchläufen erreichbare Pfade im Rumpf
- **Hohe Defekterkennungsrate**
- Bestimmte Pfade können nicht erreicht werden, **hoher Aufwand**

Bedingungsüberdeckung

C₃ Bedingungsüberdeckung (engl. *condition coverage*)

- C_{0,1,2}: Unzureichende Betrachtung von Bedingungen
 - Ihre Zusammensetzung/Hierarchie wird nicht berücksichtigt
- Abstufungen der Bedingungsüberdeckung
 - C_{3a} Einfachbedingungsüberdeckung
 - Jede atomare Bedingung wird einmal mit true und false getestet
 - C_{3b} Mehrfachbedingungsüberdeckung
 - Alle Kombinationen atomarer Bedingungen werden getestet
 - C_{3c} minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung
 - Jede atomare/komplexe Bedingung wird einmal mit true und false getestet
- MC/DC (engl. *modified condition/decision coverage*)
 - Sonderform der C_{3c}-Überdeckung
 - Jede atomare Bedingung wird mit true und false getestet und ...
 - Muss zusätzlich die umgebende komplexe Bedingung beeinflussen
- Sehr hohe Fehlererkennungsrate
- Bestimmte Pfade können nicht erreicht werden, hoher Aufwand



Beispiel: Bedingungsüberdeckung

```
int foo(int a,int b,int c) {  
    if((a > b && a > c) || c < 0) {  
        if(a < b) return 1;  
        else {  
            if(b < c) return 2;  
        }  
    }  
    return 4;  
}
```

- Fokus auf die Bedingung:
(a > b && a > c) || c < 0
- 3 atomare Teilbedingungen
 - a > b
 - a > c
 - c < 0

Einfachbedingungsüberdeckung

a > b	a > c	c < 0	Testfall
w	w	w	f(1,0,-1)
f	f	f	f(0,1,1)

Modified Condition/Decision Coverage

a > b	a > c	c < 0	(a > b && a > c) c < 0	Testfall
w	w	f	w	f(1,0,0)
f	w	f	f	f(1,1,0)
w	f	f	f	f(1,0,1)
f	f	w	w	f(-1,0,-1)



Testen hat seine Grenzen!



Testen ist im Allgemeinen sehr **aufwändig**!

- Ziel müssen möglichst vollständige Tests sein!
- Aber woher weiß man, dass man genügend getestet hat?



Vollständige Tests sind in der Praxis **unrealistisch**

- "... wir haben schon lange keinen Fehler mehr gefunden ... "
 - Eine Auffassung, der man oft begegnet
 - Der entscheidende Fehler kann sich immer noch versteckt halten
- Therac 25 (s. Folie II/3 ff.) wurde > 2700 Stunden betrieben

Fehlerfreie Software durch Testen?

- Praktisch sind Tests für einen **Korrektheitsnachweis** ungeeignet!
- Testen kann nur das **Vertrauen in Software** erhöhen!

Formale Methoden gehen einen anderen Weg

- Weisen Übereinstimmung anstatt Abweichung nach
- Gegenstand kommender Vorlesungen

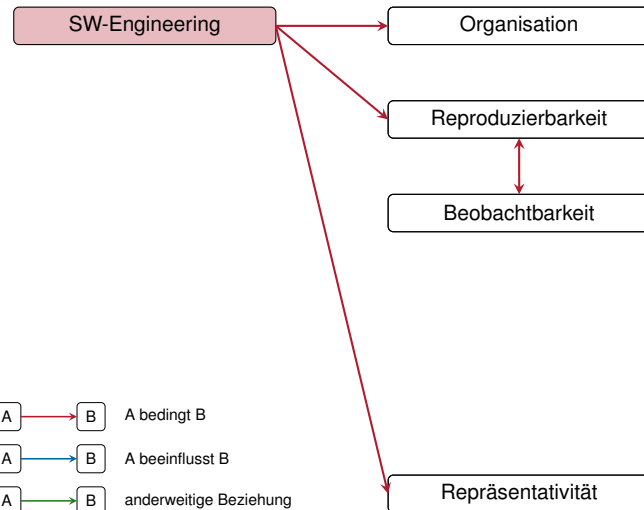


Gliederung

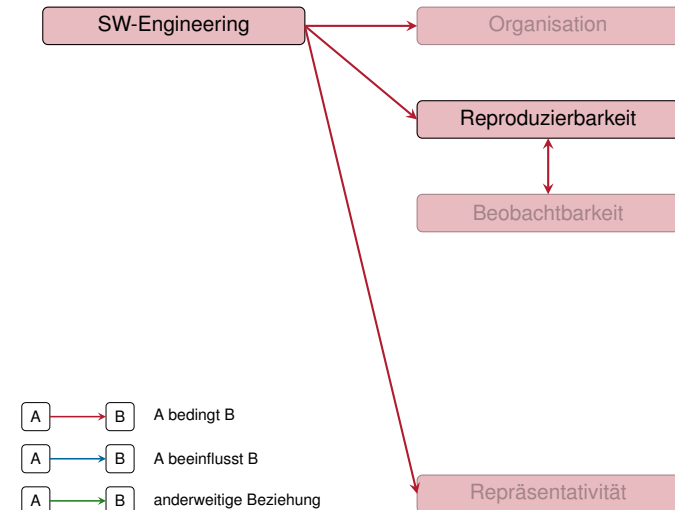
- 1 Testarten und Konzepte
 - Entwicklungsprozess
 - Modultests
 - Black-Box- vs. White-Box-Tests
- 2 Bewertung von Testfällen
 - McCabe's Cyclomatic Complexity
 - Testüberdeckung
 - Grenzen dynamischen Testens
- 3 Durchführung und Testumgebung
 - Problemfeld
 - Reproduzierbarkeit
 - Beobachtbarkeit
 - Kontrollierbarkeit
- 4 Zusammenfassung



Testen: Ein Problem des „SW-Engineering“



Problemfeld: Reproduzierbarkeit



Reproduzierbarkeit

Für die Fehlersuche muss man das Fehlverhalten nachstellen können!

Wichtige Testvariante: Regressionstests (engl. *regression testing*)

- Wurde der Fehler auch wirklich korrigiert?
- Hat die Korrektur neue Defekte verursacht?

Voraussetzung für Regressionstests \leadsto Reproduzierbarkeit

- Andernfalls ist keine Aussage zur Behebung des Fehler möglich
- Verschiedene Ursachen können dasselbe Symptom hervorrufen

Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit ist:

- Beobachtbarkeit und die
 - Kontrollierbarkeit des Systems
- Testfälle müssen sich deterministisch verhalten (vgl. Replikdeterminismus IV/15 ff)

Reproduzierbarkeit \leftrightarrow Beobachtbarkeit

Fehlverhalten zu reproduzieren erfordert mehr Wissen, als es zu erkennen.

⚠ Nicht-deterministische Operationen

- Abhängigkeiten z. B. vom Netzwerkverkehr
- Zufallszahlen, interne Systemzustände (`syscall()`), ...

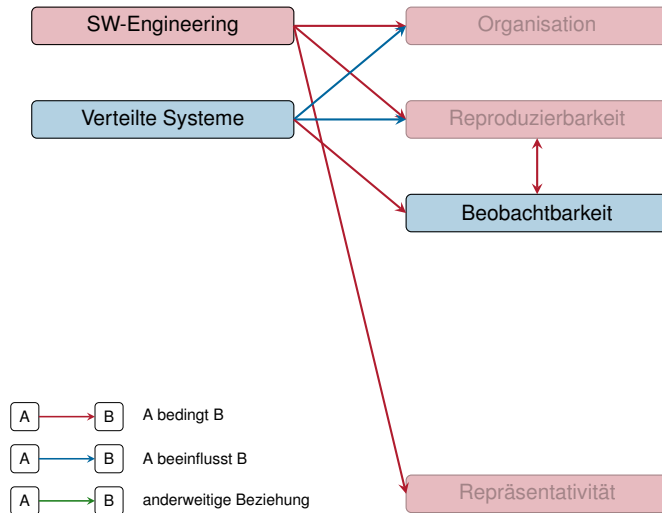
⚠ Ungenügendes Vorabwissen

- Fadensynchronisation
- Asynchrone Programmunterbrechungen (engl. *interrupts*)
- Zeitbasis der untersuchten Systeme

🔍 Dies sind relevante Ereignisse

- Sie beeinflussen den Programmablauf
 - Hängen von der Anwendung ab
- Identifikation und Beobachtung erforderlich

Problemfeld: Fokus „Verteilte Systeme“



Beobachtbarkeit verteilter EZS

Erfassen des relevanten Verhaltens des Systems und der Umwelt



Beobachtung aller relevanten Zustände des Systems

- Ausgaben bzw. Ergebnisse
- Zwischenzustände und -ergebnisse

■ Problem: Ausgaben beeinflussen das Systemverhalten

- Ausgaben verzögern Prozesse, Nachrichten, ... ~ Termin

■ Problem: Debuggen → Unmöglichkeit globaler Haltepunkte

- Perfekt synchronisierte Uhren existieren nicht
- Wie soll man Prozesse gleichzeitig anhalten?



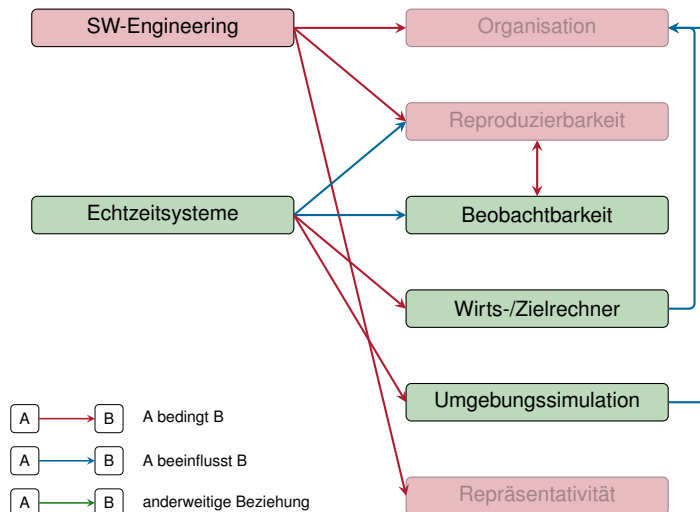
Bekanntes Phänomen: Untersuchungseffekt (engl. *probe effect*)¹

- Vergleiche Heisenbugs auf Folie III/26
- „Vorführeffekt“ – sobald man hinsieht, ist der Fehler verschwunden
- Muss vermieden oder kompensiert werden

¹Der Effekt/der Einflussnahme auf eine Komponente oder ein System durch die Messung. [1]



Problemfeld: Fokus „Echtzeitsysteme“



Untersuchungseffekt: Verschärfung durch zeitlichen Aspekt

■ Untersuchungseffekt auf **gleichzeitige Prozesse**

- Systemzustand verteilt sich auf mehrere, gleichzeitig ablaufende Prozesse
- Durch Beeinflussung einzelner Prozesse verändert sich der globale Zustand
- Andere Prozesse enteilen dem beeinflussten Prozess
- Ein Fehler lässt sich evtl. nicht reproduzieren

■ Untersuchungseffekt auf **Zeitstempel**

- Neben dem Datum ist häufig ein **Zeitstempel** notwendig
- Das Erstellen des Zeitstempels selbst benötigt Zeit (Auslesen eine Uhr, ...)
- Die zu protokollierende Datenmenge wächst ebenfalls an

■ Untersuchungseffekt bei Kopplung an die **physikalische Zeit**

- Das kontrollierte Objekt enteilt dem beeinflussten Prozess
- Auch einzelne Prozesse sind anfällig



Untersuchungseffekt: Lösungsmöglichkeiten

Ignoranz

- Der **Untersuchungseffekt** wird schon nicht auftreten

Minimierung

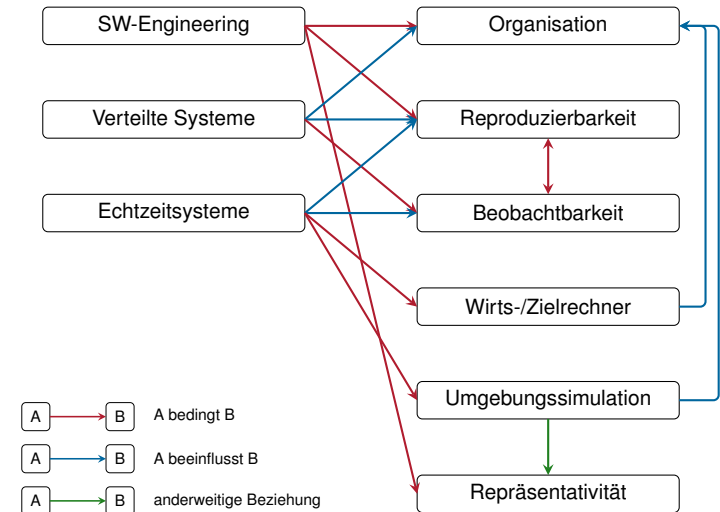
- Hinreichend effiziente Datenaufzeichnung
- Kompensation der aufgezeichneten Daten
 - Verhindert nicht die Verfälschung des globalen Zustands

Vermeidung

- Datenaufzeichnung existiert auch im Produktivsystem
 - Einsatz dedizierter Hardware für die Datenaufzeichnung
 - Einflussnahme wird hinter einer logischen Uhr verborgen
 - Zeitliche Schwankungen sind nicht relevant
- Solange sich eine gewisse Reihenfolge nicht ändert



Kontrollierbarkeit: Ein umfassendes Problem



Kontrollierbarkeit



Deterministische Ausführung relevanter Ereignisse

- Beibehaltung der ursprünglichen Reihenfolge
- Zeitlich akkurat
- Umfasst **alle relevanten Ereignisse**
 - Asynchrone Programmunterbrechungen
 - Interne Entscheidungen des Betriebssystems ~ Einplanung, Synchronisation

Simulierte Zeit statt **realer, physikalischer Zeitbasis**

- Entkopplung von der Geschwindigkeit der realen Welt
- Ansonsten könnte die Fehlersuche sehr, sehr lange dauern ...

Ansätze zur Kontrollierbarkeit

- **Analytische** Ansätze
 - Record & Replay
- **Konstruktive** Ansätze
 - Statische Quelltextanalyse
 - Quelltexttransformation



Record & Replay



Vermessung (engl. *monitoring*) zur Laufzeit

- Aufzeichnung **aller** relevanten Ereignisse
 - Dieser Mitschnitt wird später erneut abgespielt
- **Event histories** bzw. **event traces**

■ Vorteil: Lösungen für verteilte Echtzeitsysteme existieren

- **Vermeiden** Untersuchungseffekt
- Decken eine **Vielzahl verschiedener Ereignisse** ab
 - Systemaufrufe, Kontextwechsel, asynchrone Unterbrechungen, ...
 - Synchronisation, Zugriffe auf gemeinsame Variablen, ...



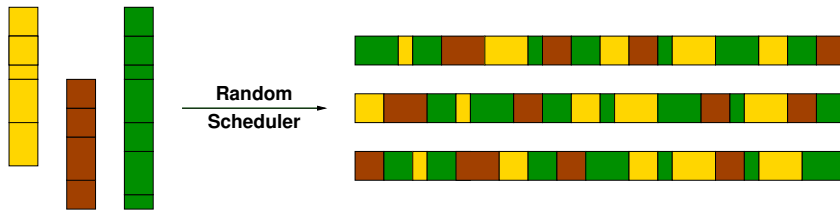
Nachteil: Enorm hoher Aufwand

- Häufig ist **Spezialhardware** erforderlich
- Es fallen **große Datenmengen** an
 - Aufzeichnung erfolgt i. d. R. auf Maschinencodeebene, Eingaben, ...
- Es können **nur beobachtete Szenarien** wiederholt werden
 - Änderungen am System machen existierende Mitschnitte u. U. wertlos
- Wiederholung & Mitschnitt müssen auf **demselben System** stattfinden



Konstruktion von Ausführungsszenarien

- Identifizierung möglicher Ausführungsszenarien
 - Berücksichtigung von Kommunikation, Synchronisation, Einplanung, ...
- Ausführungsszenarien werden erzwungen
 - **Random Scheduler**
 - Gleichzeitige Prozesse \mapsto sequentielles Programm
 - Teste Sequentialisierungen statt der gleichzeitigen Prozesse
- Vorgehen ist mit grob-granularem **Model Checking** vergleichbar



Herausforderungen beim Testen verteilter EZS [4]

Ergeben sich vor allem aus der Systemebene

- Herausforderungen spezifisch für **Echtzeitsysteme**
 - **Starke Kopplung zur Umgebung**
 - Echtzeitsysteme interagieren vielfältig mit dem kontrollierten Objekt
 - **Voranschreiten der realen Zeit** nicht vernachlässigbar
 - Physikalische Vorgänge im kontrollierten Objekt sind an die Zeit gekoppelt
 - **Umgebung kann nicht beliebig beeinflusst werden**
 - Kontrollbereich der Aktuatoren ist beschränkt
- Herausforderungen spezifisch für **verteilte Systeme**
 - **Hohe Komplexität**
 - Verteilung erhöht Komplexität \leadsto Allokation, Kommunikation, ...
 - **Beobachtung** und **Reproduzierbarkeit** des Systemverhaltens
 - **Fehlende globale Zeit** \leadsto kein eindeutiger globaler Zustand
 - Globale, konsistente Abbilder sind ein großes Problem



Gliederung

- 1 Testarten und Konzepte
 - Entwicklungsprozess
 - Modultests
 - Black-Box- vs. White-Box-Tests
- 2 Bewertung von Testfällen
 - McCabe's Cyclomatic Complexity
 - Testüberdeckung
 - Grenzen dynamischen Testens
- 3 Durchführung und Testumgebung
 - Problemfeld
 - Reproduzierbarkeit
 - Beobachtbarkeit
 - Kontrollierbarkeit
- 4 Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Testen ist **die Verifikationstechnik** in der Praxis!
 - Modul-, Integrations-, System- und Abnahmetest
 - **Kann die Absenz von Defekten aber nie garantieren**
- Modultests sind i. d. R. **Black-Box-Tests**
 - **Black-Box- vs. White-Box-Tests**
 - **M McCabe's Cyclomatic Complexity** \leadsto Minimalzahl von Testfällen
 - Kontrollflussorientierte **Testüberdeckung**
 - Anweisungs-, Zweig-, Pfad- und Bedinungsüberdeckung
 - Angaben zur Testüberdeckung sind immer **relativ**!
- Testdurchführung in (verteilten) Echtzeitsystemen sind **herausfordernd**!
 - Problemfeld: Testen verteilter Echtzeitsysteme
 - SW-Engineering, verteilte Systeme, Echtzeitsysteme
 - Untersuchungseffekt, Beobachtbarkeit, Kontrollierbarkeit, Reproduzierbarkeit



- [1] Hamburg, M. ; Hehn, U. :
ISTQB®/GTB Standardglossar der Testbegriffe.
(2010)
- [2] Laplante, P. A.:
Real-Time Systems Design and Analysis.
third.
John Wiley & Sons, Inc., 2004. –
ISBN 0–471–22855–9
- [3] OSEK/VDX Group:
Operating System Specification 2.2.3 / OSEK/VDX Group.
2005. –
Forschungsbericht. –
<http://portal.osek-vdx.org/files/pdf/specs/os223.pdf>, visited 2014-09-29
- [4] Schütz, W. :
Fundamental issues in testing distributed real-time systems.
In: *Real-Time Systems Journal* 7 (1994), Nr. 2, S. 129–157.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF01088802>. –
DOI 10.1007/BF01088802. –
ISSN 0922–6443

