Martin Glinz Harald Gall

Software Engineering

Wintersemester 2005/06

Kapitel 8

Testen von Software

Universität Zürich
Institut für Informatik

8.1 Grundlagen

8.2 Vorgehen

8.3 Testfälle

8.4 Testverfahren

8. 5 Testplanung und -dokumentation

8.6 Testen von Teilsystemen

8.7 Besondere Testformen

8.8 Kriterien für den Testabschluss

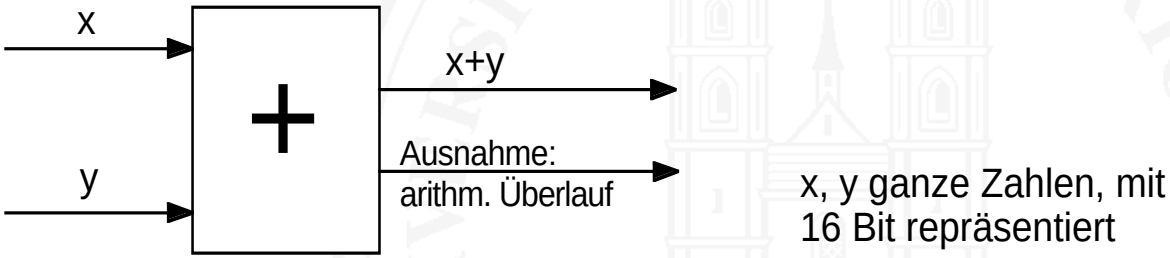
Was ist Testen?

- Testen ist der Prozess, ein Programm mit der Absicht auszuführen, Fehler zu finden. (Myers 1979)
- Wurde ein Programm sorgfältig getestet (und sind alle gefundenen Fehler korrigiert), so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass das Programm sich auch in den nicht getesteten Fällen wunschgemäß verhält
- Die Korrektheit eines Programms kann durch Testen (außer in trivialen Fällen) nicht bewiesen werden.

  Grund: alle Kombinationen aller möglichen Werte der Eingabedaten müssten getestet werden

Mini-Übung 8.1

Wieviele Testfälle wären erforderlich, um die Addition zweier 16-Bit Festkommazahlen vollständig zu testen?



x, y ganze Zahlen, mit
16 Bit repräsentiert

Aufwand für vollständigen Test

- Ein vollständiger Test ist nur in wenigen Ausnahmefällen möglich
  - Beispiel: Entscheidungsbaum mit 10 binären Eingängen: 2^{10} Testfälle
- Im Allgemeinen kann Korrektheit durch Testen nicht bewiesen werden
  - Beispiel: Vergleich von zwei 4-Byte Zeichenketten: 2^{64} Testfälle

Kleine Aufwandrechnung: $2^{64} \approx 1{,}8 \cdot 10^{19}$

Szenario 1: Manueller Test mit 1 Testfall/s

Vollständiger Test dauert ca. $1{,}8 \cdot 10^{19}$ s $\approx$ 58,5 Milliarden Jahre

Szenario 2: Automatisierter Test auf 1000 Rechnern parallel,
1 Testfall / µs $\rightarrow$ 10^9 Testfälle/s

Vollständiger Test dauert ca. $1{,}8 \cdot 10^{10}$ s $\approx$ 58,5 Jahre

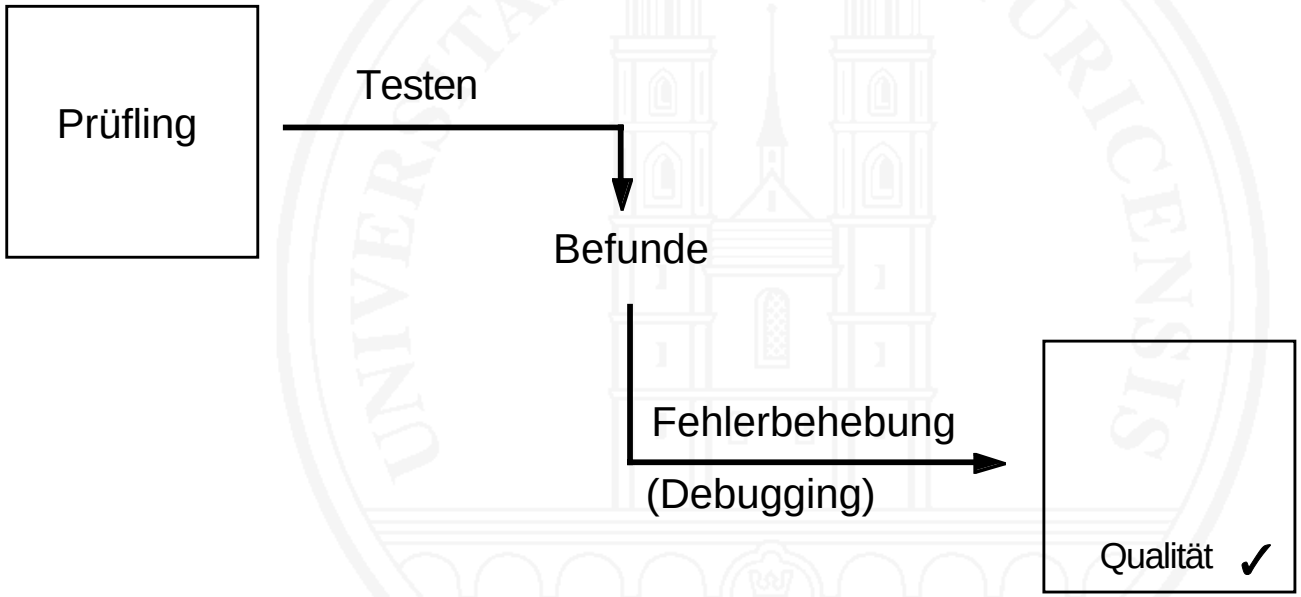
Test und Testvorgaben

- Testen setzt voraus, dass die erwarteten Ergebnisse bekannt sind
  - Entweder muss gegen eine Spezifikation
  - oder gegen vorhandene Testergebnisse (z.B. bei der Wiederholung von Tests nach Programm-Modifikationen) getestet werden (so genannter Regressionstest)

- Unvorbereitete und undokumentierte Tests sind sinnlos

Testen ist nicht alles

- Mit Testen werden nur Fehlersymptome, nicht aber die Fehlerursachen gefunden



- Mit Testen können nicht alle Eigenschaften eines Programms geprüft werden (z.B. Wartbarkeit)

8.1 Grundlagen

8.2 Vorgehen

8.3 Testfälle

8.4 Testverfahren

8. 5 Testplanung und -dokumentation

8.6 Testen von Teilsystemen

8.7 Besondere Testformen

8.8 Kriterien für den Testabschluss

Testsystematik: Test ist nicht gleich Test

- Laufversuch: Der Entwickler „testet“
  - Entwickler übersetzt, bindet und startet sein Programm
  - Läuft das Programm nicht oder sind Ergebnisse offensichtlich falsch, werden die Defekte gesucht und behoben (“Debugging”)
  - Der „Test “ ist beendet, wenn das Programm läuft und die Ergebnisse vernünftig aussehen

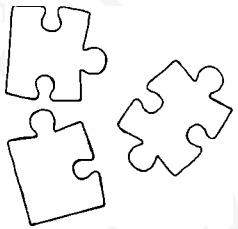
- Wegwerf-Test: Jemand testet, aber ohne System
  - Jemand führt das Programm aus und gibt dabei Daten vor
  - Werden Fehler erkannt, so werden die Defekte gesucht und behoben
  - Der Test endet, wenn der Tester findet, es sei genug getestet

Testsystematik – 2

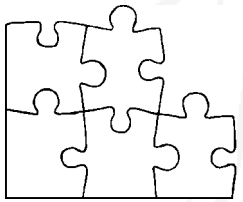
- Systematischer Test: Spezialisten testen
  - Test ist geplant, Testvorschrift ist vorgängig erstellt
  - Programm wird gemäß Testvorschrift ausgeführt
  - Ist-Resultate werden mit Soll-Resultaten verglichen
  - Fehlersuche und -behebung erfolgen separat
  - Nicht bestandene Tests werden wiederholt
  - Testergebnisse werden dokumentiert
  - Test endet, wenn vorher definierte Testziele erreicht sind

Testgegenstand und Testarten

- Testgegenstand sind Komponenten, Teilsysteme oder Systeme
- Komponententest, Modultest (Unit Test)



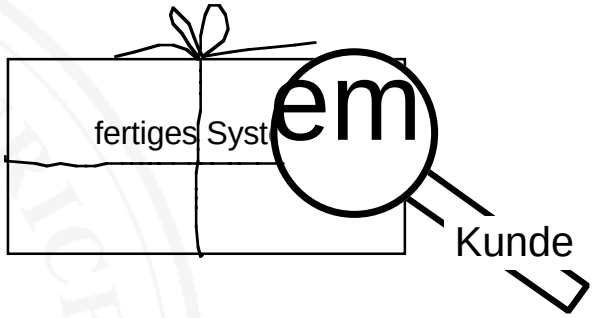
- Integrationstest (Integration Test)



- Systemtest (System Test)

Testgegenstand und Testarten – 2

- Abnahmetest (acceptance test)
  - eine besondere Form des Tests:
  - nicht: Fehler finden
  - sondern: zeigen, dass das System die gestellten Anforderungen erfüllt, d.h. in allen getesteten Fällen fehlerfrei arbeitet.



Testablauf

- Planung
  - Teststrategie: was - wann - wie - wie lange
  - Einbettung des Testens in die Entwicklungsplanung:
    - welche Dokumente sind zu erstellen
    - Termine und Kosten für Testvorbereitung, Testdurchführung und Testauswertung
  - Wer testet
- Vorbereitung
  - Auswahl der Testfälle
  - Bereitstellen der Testumgebung
  - Erstellung der Testvorschrift

Testablauf – 2

- Durchführung
  - Testumgebung einrichten
  - Testfälle nach Testvorschrift ausführen
  - Ergebnisse notieren
  - Prüfling während des Tests nicht verändern
- Auswertung
  - Testbefunde zusammenstellen
- Fehlerbehebung (ist nicht Bestandteil des Tests!)
  - gefundene Fehler(symptome) analysieren
  - Fehlerursachen bestimmen (Debugging)
  - Fehler beheben

8.1 Grundlagen

8.2 Vorgehen

8.3 Testfälle

8.4 Testverfahren

8. 5 Testplanung und -dokumentation

8.6 Testen von Teilsystemen

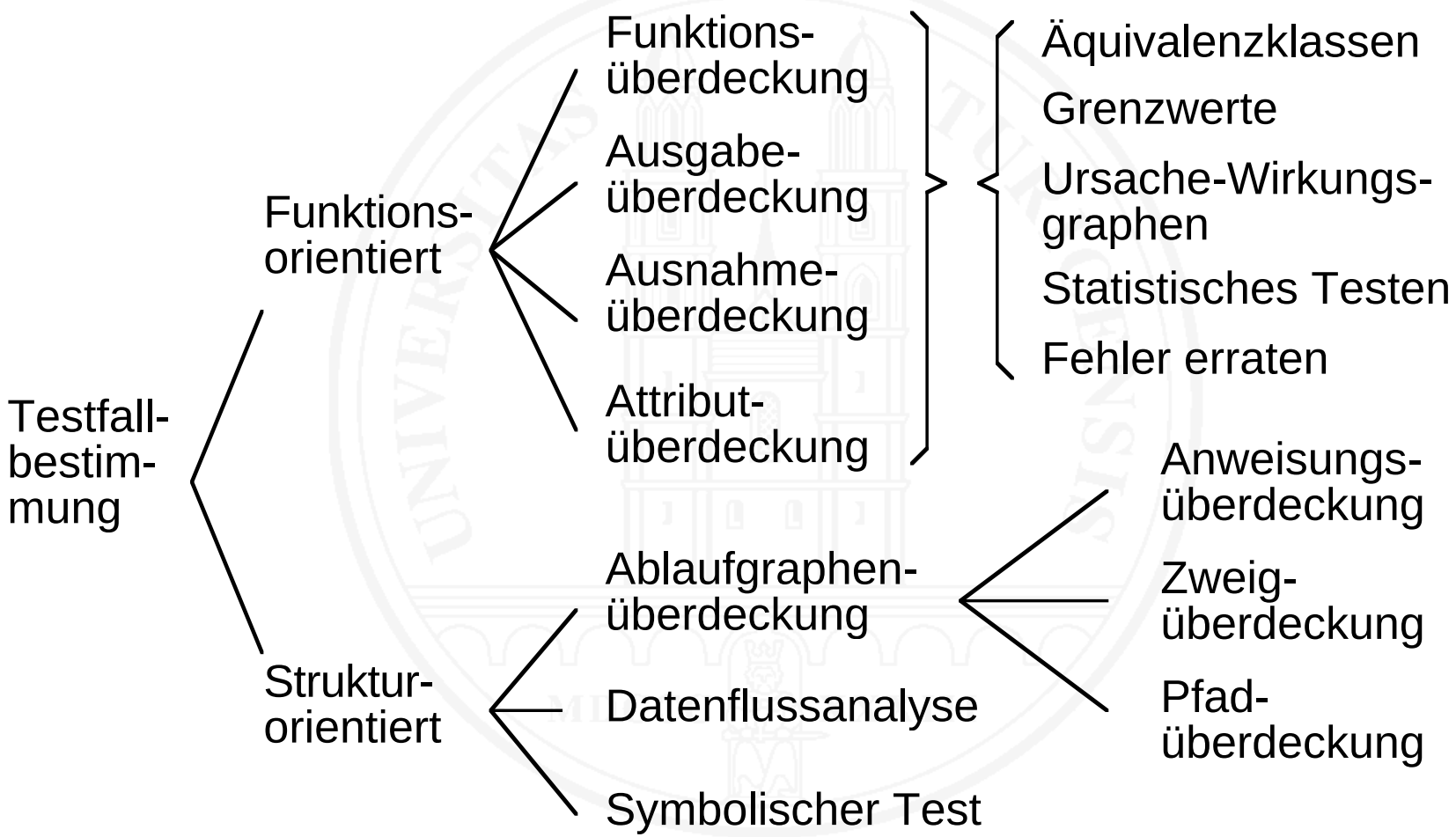
8.7 Besondere Testformen

8.8 Kriterien für den Testabschluss

Auswahl von Testfällen

- Auswahl der Testfälle ist eine zentrale Aufgabe des Testens
- Anforderungen an Testfälle
  - repräsentativ
  - fehlersensitiv
  - redundanzarm
  - ökonomisch
- Ziel: Mit möglichst wenig Testfällen möglichst viele Fehler finden kommen
- Verschiedenen Verfahren → Abschnitt 8.4

Bestimmen von Testfällen



8.1 Grundlagen

8.2 Vorgehen

8.3 Testfälle

8.4 Testverfahren

8. 5 Testplanung und -dokumentation

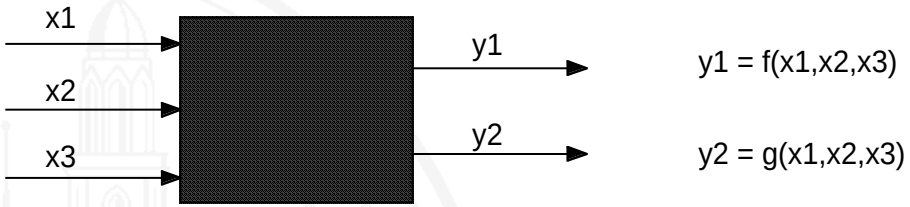
8.6 Testen von Teilsystemen

8.7 Besondere Testformen

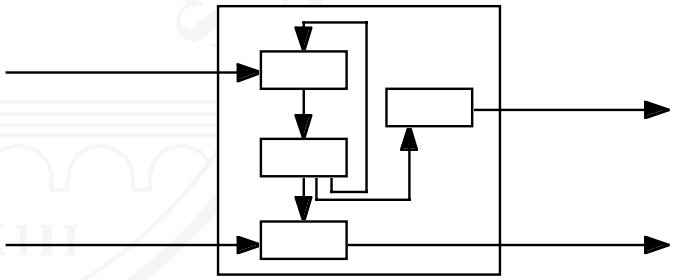
8.8 Kriterien für den Testabschluss

Zwei Klassen von Verfahren

- Funktionsorientierter Test (Black-Box-Test)
  - Testfall-Auswahl aufgrund der Spezifikation
  - Programmstruktur kann unbekannt sein



- Strukturorientierter Test (White-Box-Test, Glass-Box-Test)
  - Testfall-Auswahl aufgrund der Programmstruktur
  - Spezifikation muss ebenfalls bekannt sein (wegen der erwarteten Resultate)



8.4.1 Funktionsorientierter Test

Mögliche Testziele (einzeln oder in Kombination):

- Funktionsüberdeckung: jede spezifizierte Funktion mindestens einmal aktiviert
- Ausgabeüberdeckung: jede spezifizierte Ausgabe mindestens einmal erzeugt
- Ausnahmeüberdeckung: jede spezifizierte Ausnahme- bzw. Fehlersituation mindestens einmal erzeugt
- Attributüberdeckung: alle geforderten Attribute (soweit technisch möglich) getestet
  - insbesondere Erreichung der spezifizierten Leistungsanforderungen
    - unter normalen Bedingungen
    - unter möglichst ungünstigen Bedingungen (Belastungstest)

Auswahl der Testfälle

- Problem der Testfall-Auswahl: die gewählten Testziele mit
  - möglichst wenig
  - möglichst guten

  Testfällen umsetzen
- Klassische Techniken:
  - Äquivalenzklassenbildung
  - Grenzwertanalyse
  - Ursache-Wirkungsgraphen
  - Statistisches Testen (random testing)
  - Fehler raten (error guessing)

Äquivalenzklassenbildung

- Gleichartige Eingabedaten
  - werden zu Klassen zusammengefasst
  - aus jeder Klasse wird ein Repräsentant getestet
- Die Klasseneinteilung ist eine Äquivalenzrelation

- Beispiel: Multiplikation von ganzen Zahlen
  Mögliche Äquivalenzklassen
  - x und y positiv
  - x positiv, y negativ
  - x negativ, y positiv
  - x und y negativ

Grenzwertanalyse

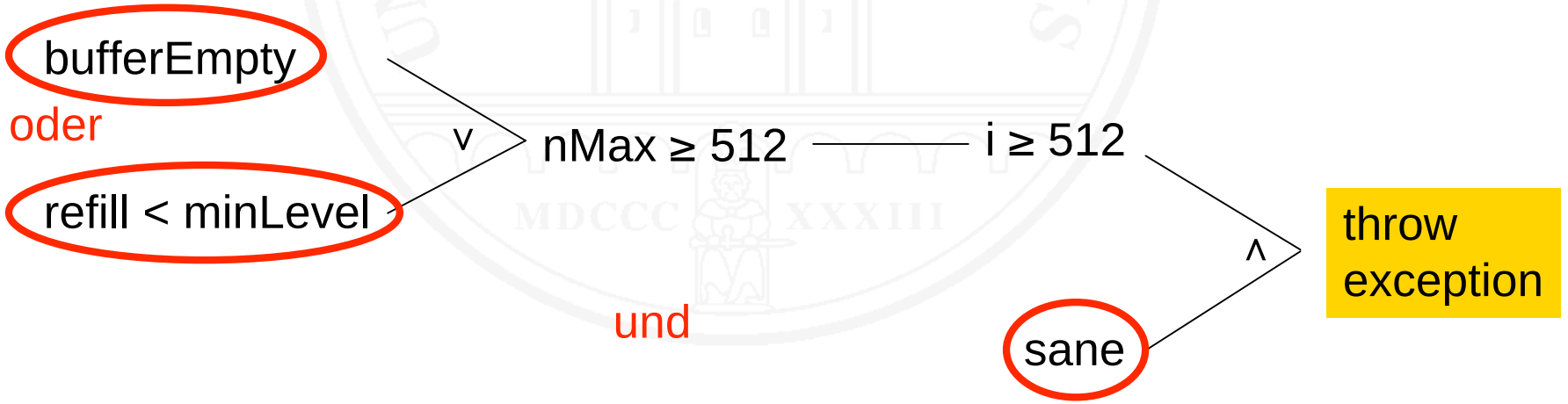
- An den Grenzen zulässiger Datenbereiche treten erfahrungsgemäß häufig Fehler auf
- Testfälle für solche Grenzfälle auswählen

- Beispiel: Multiplikation von ganzen Zahlen
  Mögliche Grenzfälle
  - x ist null
  - y ist null
  - x und y sind beide null
  - Produkt läuft positiv über
  - Produkt läuft negativ über

Ursache-Wirkungsgraphen

- Ursache-Wirkungsgraphen dienen zur systematischen Bestimmung von Eingabedaten, die ein gewünschtes Ergebnis bewirken
- Beispiel: In folgendem Fragment soll die Ausnahme erzeugt werden

```
...
if (bufferEmpty | (refill < minLevel)) {
   for (i:=0; i<= nMax; i++) {
      if (i >= 512 && sane) throw new OverflowException ("charBuffer")
...
```

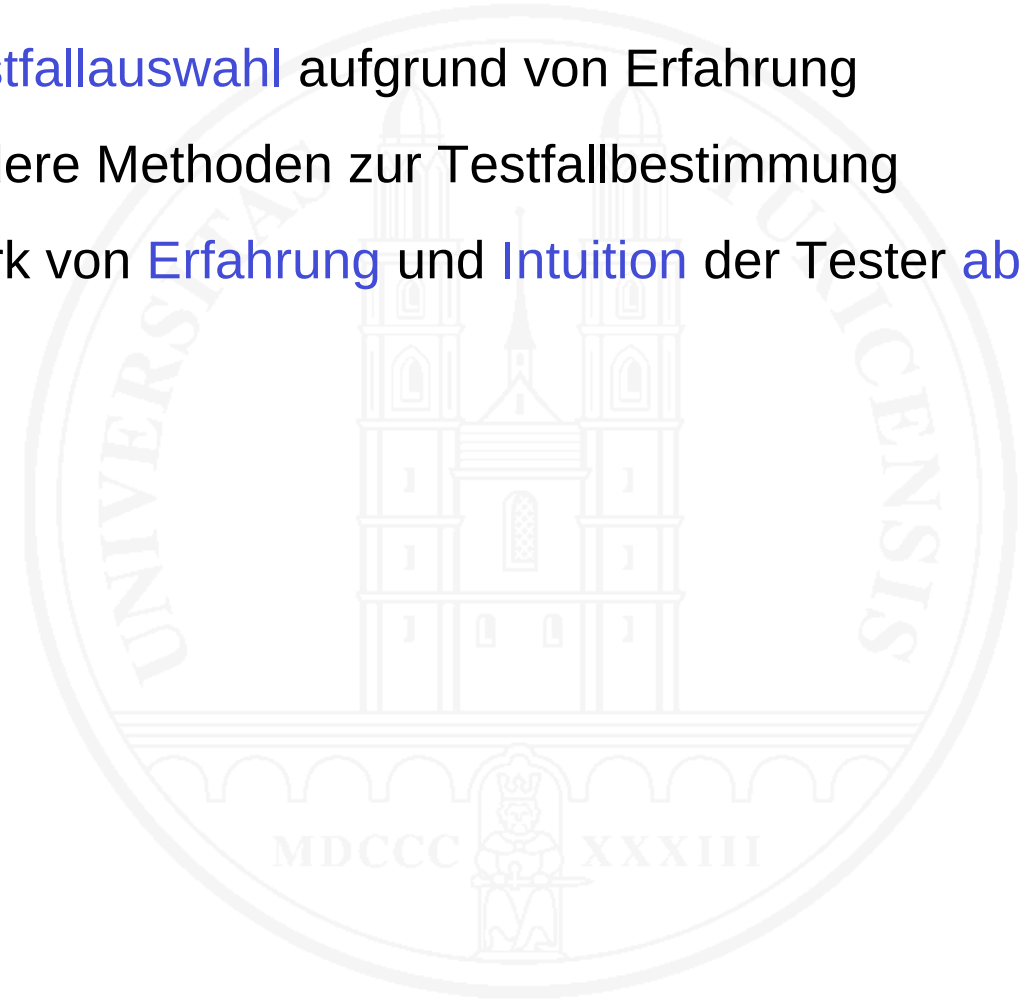


Statistisches Testen (random testing)

- Eingabedaten werden zufällig ausgewählt
- Die gezielte Testfall-Auswahl wird durch eine große Zahl von Testfällen ersetzt
- Bei hinreichend großer Zahl von Testfällen ohne Befund sind statistische Aussagen über die Zuverlässigkeit der Software möglich
- Automatisierter Testablauf mit Orakel notwendig (Orakel: stellt fest, ob tatsächliches und erwartetes Ergebnis übereinstimmen)
- Problem: Auswahl der Eingabedaten muss der tatsächlichen Verteilung der Eingabedaten im produktiven Betrieb der Software entsprechen
- Näherungsweise über Benutzungsprofile möglich

Fehler raten (error guessing)

- Intuitive Testfallauswahl aufgrund von Erfahrung
- Ergänzt andere Methoden zur Testfallbestimmung
- Qualität stark von Erfahrung und Intuition der Tester abhängig



Beispiel zum funktionsorientierten Test: Spezifikation

Gegeben sei ein Programm, das folgende Spezifikation erfüllen soll:

Das Programm fordert zur Eingabe von drei nicht negativen reellen Zahlen auf und liest die eingegebenen Werte.

Das Programm interpretiert die eingegebenen Zahlen als Strecken a, b und c.

Es untersucht, ob die drei Strecken ein Dreieck bilden und klassifiziert gültige Dreiecke.

Das Programm liefert folgende Ausgaben:

- kein Dreieck wenn $a+b \leq c$ oder $a+c \leq b$ oder $b+c \leq a$
- gleichseitiges Dreieck, wenn $a=b=c$
- gleichschenkliges Dreieck, wenn $a=b$ oder $b=c$ oder $a=c$
- unregelmäßiges Dreieck sonst

Beispiel: Spezifikation – 2

Das Programm zeichnet ferner alle gültigen Dreiecke winkeltreu und auf maximal darstellbare Größe skaliert in einem Fenster der Größe 10x14 cm. Die Seite c liegt unten parallel zur Horizontalen. Alle Eckpunkte haben einen Minimalabstand von 0,5 cm vom Fensterrand.

Das Programm liefert eine Fehlermeldung, wenn andere Daten als drei nicht negative reelle Zahlen eingegeben werden. Anschließend wird mit einer neuen Eingabeaufforderung versucht, gültige Werte einzulesen.

Beispiel: Testüberdeckungskriterien

a) Aktivierung aller Funktionen
- Prüfen und Klassifizieren
- Skalieren und Zeichnen

b) Erzeugen aller Ausgaben
- kein Dreieck
- gleichseitiges Dreieck
- gleichschenkliges Dreieck
- unregelmäßiges Dreieck

c) Erzeugung aller Ausnahmesituationen
- ungültige Eingabe

Beispiel: Äquivalenzklassenbildung

Klasse, Subklasse	**Repräsentant**
kein Dreieck	
a größte Seite	4.25, 2, 1.3
b größte Seite	1.3, 4.25, 2
c größte Seite	2, 1.3, 4.25
gleichseitiges Dreieck	4.2, 4.2, 4.2
gleichschenkliges Dreieck	
a=b	4.71, 4.71, 2
b=c	3, 5.6, 5.6
a=c	11, 6, 11

Beispiel: Äquivalenzklassenbildung – 2

unregelmäßiges Dreieck

α spitz, β spitz	3, 5, 6
α spitz β rechtwinklig	3, 5, 4
α spitz β stumpf	3, 6, 4
β spitz, γ spitz	6, 3, 5
β spitz γ rechtwinklig	4, 3, 5
β spitz γ stumpf	4, 3, 6
γ spitz, α spitz	5, 6, 3
γ spitz α rechtwinklig	5, 4, 3
γ spitz α stumpf	6, 4, 3

Beispiel: Äquivalenzklassenbildung – 3

ungültiger Eingabe

negative Zahlen	2.3, -1.5, 3
Text statt Zahl	2.3, 1.5, xrfk.q
unvollständige Eingabe	2.3, 1.5

Beispiel: Grenzwertanalyse

Grenzfall	**Testwerte**
kein Dreieck	
a=b=c=0	0, 0, 0
a=b+c	6, 2, 4
b=a+c	2, 6, 4
c=a+b	2, 4, 6
sehr flaches Dreieck	
c=a+b - ε, ε sehr klein	3, 4, 6.999999999999
b=a+c - ε, ε sehr klein	3, 6.999999999999, 4
sehr steiles Dreieck	
c klein, a=b sehr groß	10^7, 10^7, 5

8.4.2 Strukturorientierter Test

- Auch als Glass-Box-Test oder White-Box-Test bezeichnet
- Auswahl der Testfälle so, dass
  - der Programmablauf oder
  - der Datenfluss im Programm
- überprüft wird

- Meistens wird der Programm-Ablauf getestet: Testfälle werden so gewählt, dass das Programm systematisch durchlaufen wird
- In der Regel nur für Modultest und teilweise für Integrationstest möglich

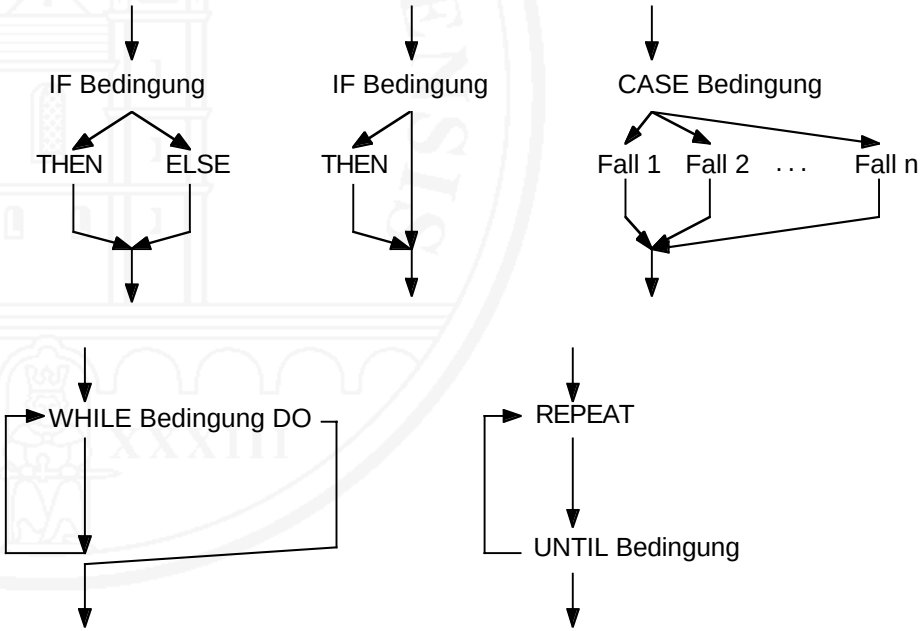
Überdeckungen

Gebräuchlich sind drei Testziele für den strukturorientierten Test des Programmablaufs:

- Anweisungsüberdeckung: Jede Anweisung des Programms wird mindestens einmal ausgeführt
- Zweigüberdeckung: jeder Programmzweig wird mindestens einmal durchlaufen
- Pfadüberdeckung: jeder Programmpfad wird mindestens einmal durchlaufen

Bestimmung von Zweigen und Pfaden

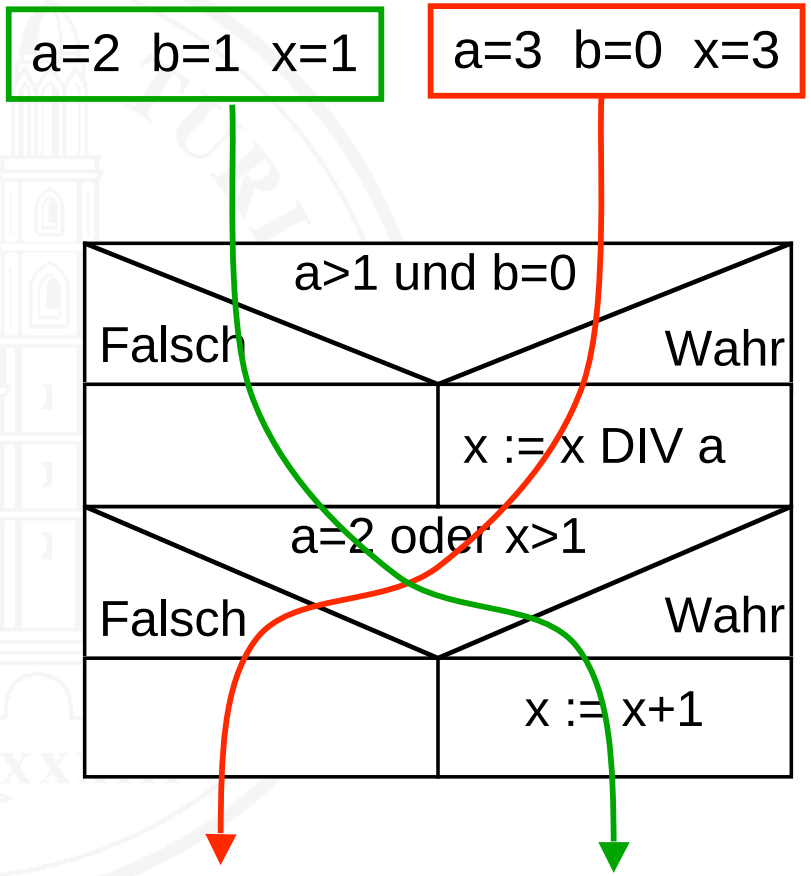
- Bestimmung der Programmzweige:
  - Betrachtung von Verzweigungen und Schleifen
  - Bei Programmiersprachen mit geschlossenen Ablaufkonstrukten:
    if-Anweisungen und Schleifen haben je zwei Zweige
    Eine CASE /switch-Anweisung: so viele Zweige wie Fälle
- Bestimmung der Pfade:
  - Alle Kombinationen aller
  - Programmzweige bei
  - maximalem Durchlauf
  - aller Schleifen



Beispiel

(nach Myers, 1979)

```
...
VAR
   a,b,x: INTEGER;
...
BEGIN
...
IF (a>1) AND (b=0)
   THEN x := x DIV a;
IF (a=2) OR (x>1)
   THEN x := x+1;
...
```



Beispiel – 2: Notwendige Testfälle

- Anweisungsüberdeckung mit dem Testfall:
  a=2 b=0 x=1

- Zweigüberdeckung mit den Testfällen:
  a=3 b=0 x=3
  a=2 b=1 x=1

- Pfadüberdeckung mit den Testfällen:
  a=1 b=1 x=2 a=3 b=0 x=3
  a=2 b=0 x=4 a=1 b=1 x=1

Güte eines strukturorientierten Tests

- Die Testgüte hängt von gewählter Überdeckung und erreichtem Überdeckungsgrad ab
- Überdeckungsgrad – Prozentuales Verhältnis der Anzahl überdeckter Elemente zur Anzahl vorhandener Elemente
- Beispiel: Der Testfall a=3 b=0 x=3 erreicht 50% Zweigüberdeckung
- Anweisungsüberdeckung ist ein schwaches Kriterium. Fehlende Anweisungen werden beispielsweise nicht entdeckt
- Zweigüberdeckung wird in der Praxis angestrebt. Dennoch: falsch formulierte Bedingungsterme (z.B. x>1 statt x<1) werden nicht entdeckt
- Pfadüberdeckung ist in fast allen Programmen, die Schleifen mit Verzweigungen enthalten, nicht testbar

Mini-Übung 8.2

Wieviele Pfade hat das folgende Programmfragment in Modula-2?

```
...
CONST MaxZeilenLaenge = 80;
...
BEGIN
...
FOR I := 1 TO MaxZeilenLaenge DO
  IF (Zeichen[I] = " ")
    THEN AnzahlLeer := AnzahlLeer + 1;
...
```

8.1 Grundlagen

8.2 Vorgehen

8.3 Testfälle

8.4 Testverfahren

8. 5 Testplanung und -dokumentation

8.6 Testen von Teilsystemen

8.7 Besondere Testformen

8.8 Kriterien für den Testabschluss

Testplanung

- Qualitätsprüfung muss geplant werden:
  - Was - wann - nach welcher Strategie prüfen
- Für das Testen:
  - welche Testverfahren einsetzen
  - welche Testdokumente erstellen
  - wann – welche Tests – mit welchen Leuten durchführen

Testdokumentation

- Das wichtigste Dokument für Testvorbereitung und -durchführung ist die Testvorschrift
- Die Testvorschrift kann gleichzeitig als Testprotokoll dienen, wenn zu jedem Testfall das Testergebnis notiert wird
- Eine Testzusammenfassung bildet den Nachweis über die Durchführung und das Gesamtergebnis eines Tests

- Es gibt Normen mit sehr umfangreichen Vorschriften für Testplanung und -dokumentation (IEEE 1987, 1988, 1998a, 1998b)
  - für den Test kritischer Software sollten diese verwendet werden
  - für gewöhnliche Software genügen die hier genannten Dokumente

Aufbau einer Testvorschrift – 1

1. Einleitung

1.1 Zweck

Art und Zweck des im Dokument beschriebenen Tests

1.2 Testumfang

Welche Konfigurations-Einheiten der entwickelten Lösung getestet werden

1.3 Referenzierte Unterlagen

Verzeichnis aller Unterlagen, auf die im Dokument Bezug genommen wird

2. Testumgebung

2.1 Überblick

Testgliederung, Testgüte, Annahmen und Hinweise

2.2 Testmittel

Test-Software und -Hardware, Betriebssystem, Testgeschirr, Werkzeuge

Aufbau einer Testvorschrift – 2

2.3 Testdaten, Testdatenbank

Wo die für den Test benötigten Daten bereit liegen oder bereitzustellen sind

2.4 Personalbedarf

wieviel Personen zur Testdurchführung benötigt werden

3. Annahmekriterien

Kriterien für

- erfolgreichen Test-Abschluss
- Test-Abbruch
- Unterbrechung und Wiederaufnahme des Tests

4. Testfälle

(siehe unten)

Darstellung von Testfällen

- Aufbau eines Testfalls
  - Testfall-Nummer
  - Eingabe
  - Erwartetes Resultat
  - Feld zum Eintragen des Befunds
- Gliederung der Testfälle
  - Testfälle mit gemeinsamen Vorbereitungsarbeiten werden zu Testabschnitten zusammengefasst
  - Zu jedem Testabschnitt werden Zweck (was wird getestet), Vorbereitungs- und Aufräumarbeiten dokumentiert
  - Zur Verbesserung der Übersicht werden Testabschnitte untergliedert in Testsequenzen

Beispiel: Testfälle – 1

Testabschnitt 1: Korrekte Eingaben

Zweck:
- testet die Klassifikationsfunktion
- testet bei echten Dreiecken die Zeichne-Funktion

Vorbereitungsarbeiten: keine

Aufräumarbeiten: keine

Hinweis: alle Zahlen sind als Dezimalzahlen einzugeben

Testsequenz 1-1: Kein Dreieck

TestfallNr.	Eingabe	erwartetes Resultat	Befund
1-1-1	4.25, 2, 1.3	kein Dreieck	
1-1-2	1.3, 4.25, 2	kein Dreieck	
1-1-3	2, 1.3, 4.25	kein Dreieck	

Beispiel: Testfälle – 1

Testsequenz 1-2: regelmäßiges Dreieck

TestfallNr.	Eingabe	erwartetes Resultat	Befund
1-2-1	4.2, 4.2, 4.2	gleichseitig 	
1-2-2	4.71, 4.71, 2	gleichschenklig 	
1-2-3	3, 5.6, 5.6	gleichschenklig 	
1-2-4	11, 6, 11	gleichschenklig 	

Testsequenz 1-3: unregelmäßiges Dreieck

TestfallNr.	Eingabe	erwartetes Resultat	Befund
1-3-1	3, 5, 6	unregelmäßig 	
1-3-2	3, 5, 4	unregelmäßig 	
1-3-3	3, 6, 4	unregelmäßig 	
...	...	...	

...

Programmierte Testvorschriften

- An Stelle textuell beschriebener Testfälle können auch programmierte Testfälle verwendet werden
  - Jeder Testfall ist ein Objekt
  - Enthält Testdaten und erwartetes Resultat
  - Ruft den Testling auf
  - Vergleicht erwartetes und geliefertes Resultat
- Eingebettet in ein passendes Laufzeitsystem sind teilautomatisierte Tests möglich
- Geeignet vor allem für Komponenten- und Integrationstest
- Nützlich als kontinuierlicher Regressionstest bei inkrementeller Entwicklung
- In Java-Umgebungen: JUnit

Testzusammenfassung

- Dokumentiert
  - Testgegenstand
  - Verwendete Testvorschrift
  - Gesamtbefund
  - Wer hat getestet
- Wichtig für die Archivierung von Testergebnissen

TESTZUSAMMENFASSUNG

Test Nr.: Arbeitspaket Nr.:
Testbeginn (Datum und Zeit):
Testende (Datum und Zeit): Test Dauer:

GEGENSTAND UND ZWECK DES TESTS
Projekt/Produkt: Release Nr.:
Geliefert von:
o Einzeltest o Integrationstest o Systemtest o Abnahmetest

TESTVORSCHRIFT
Nummer/Version | Titel

EMPFEHLUNG
o akzeptieren (keine Wiederholung des Tests)
o nicht akzeptieren (Wiederholung des Tests)
o Test nicht beendet
o wie es ist
o kleine Fehler
o einige grössere Fehler
o einige fatale Fehler

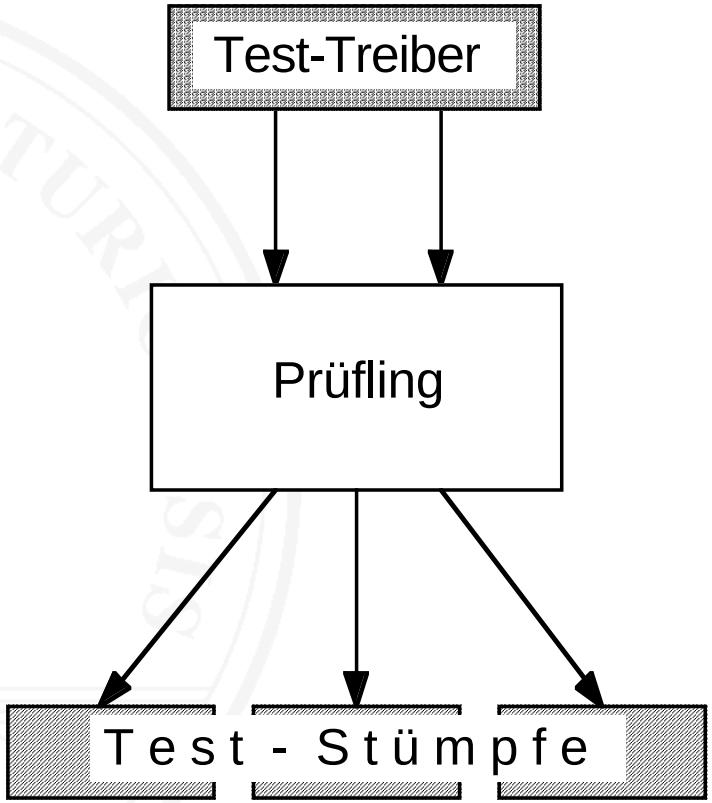
ZUSAMMENFASSUNG

BEILAGEN
o Liste der getesteten Software-Einheiten
o Liste der Problemmeldungen
o andere:

TESTTEAM
Name (Leiter) | Datum | Visum

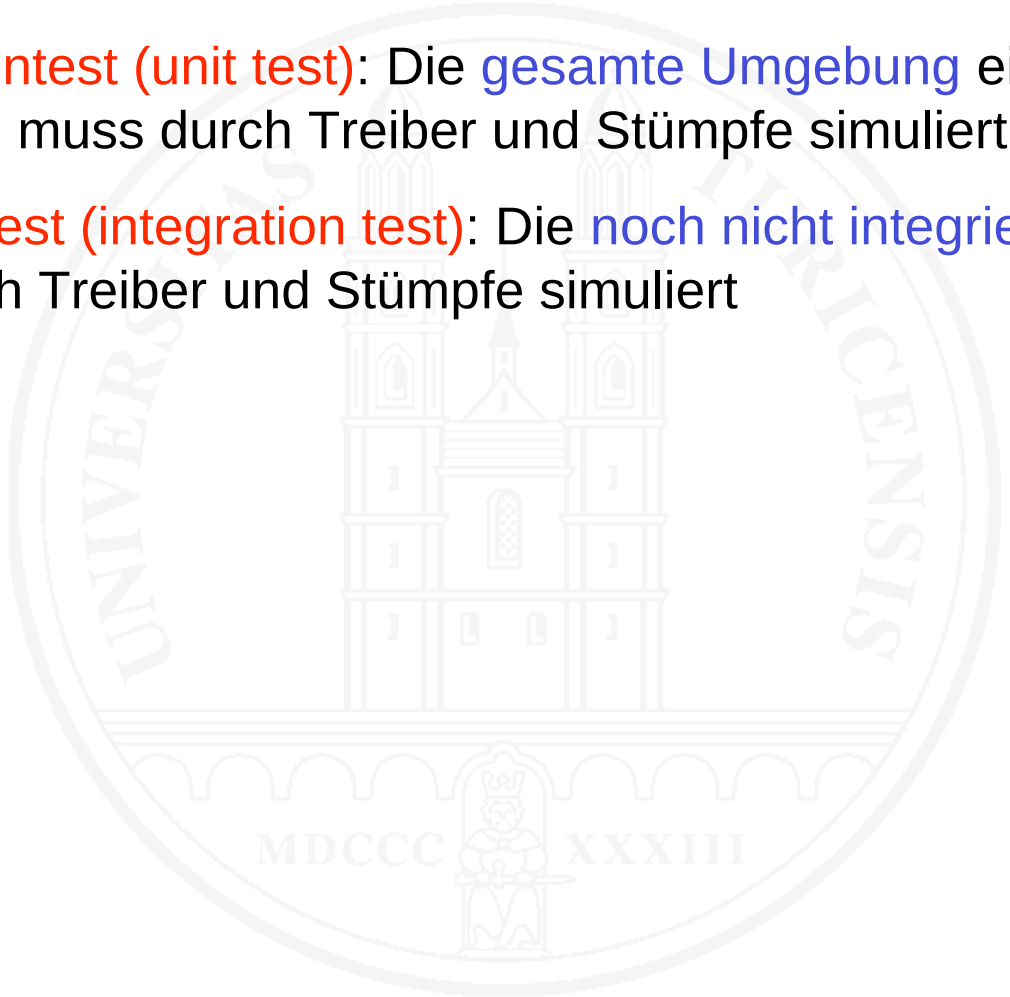
Testgeschirr

- Zum Testen unvollständiger Software wird ein Testgeschirr (test harness) benötigt
- Besteht aus Testtreiber (test driver) und Teststümpfen (test stubs)
- Testtreiber
  - Ruft den Prüfling auf
  - Versorgt den Prüfling mit Daten
  - Nimmt Resultate entgegen und protokolliert sie
- Teststumpf
  - Berechnet oder simuliert die Ergebnisse einer vom Prüfling aufgerufenen Operation



Verwendung

- Komponententest (unit test): Die gesamte Umgebung einer Komponente muss durch Treiber und Stümpfe simuliert werden
- Integrationstest (integration test): Die noch nicht integrierten Teile werden durch Treiber und Stümpfe simuliert



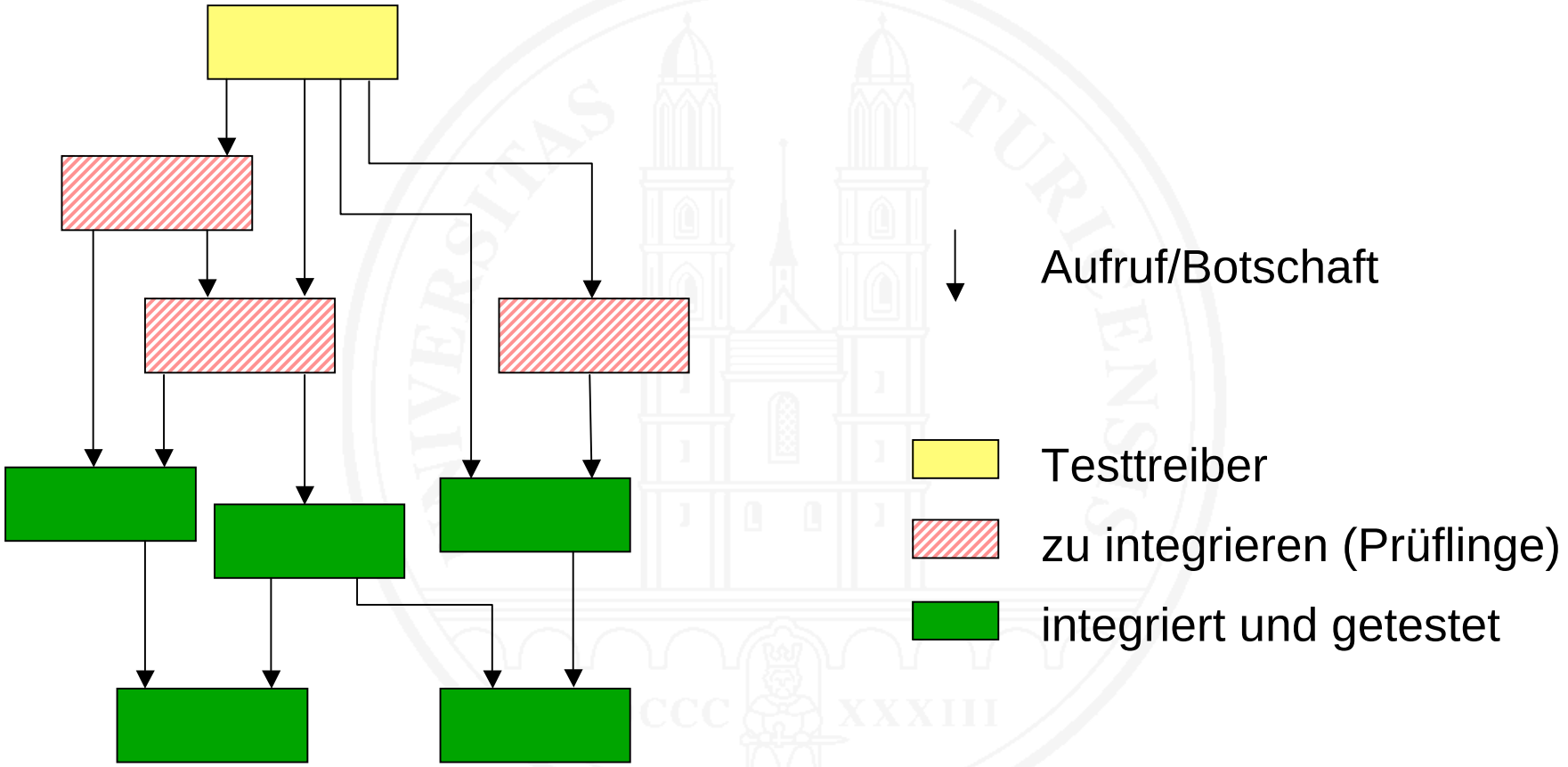
Integrationstest

- Ein System schrittweise zusammenbauen
- Das Funktionieren der Baugruppen durch Tests überprüfen

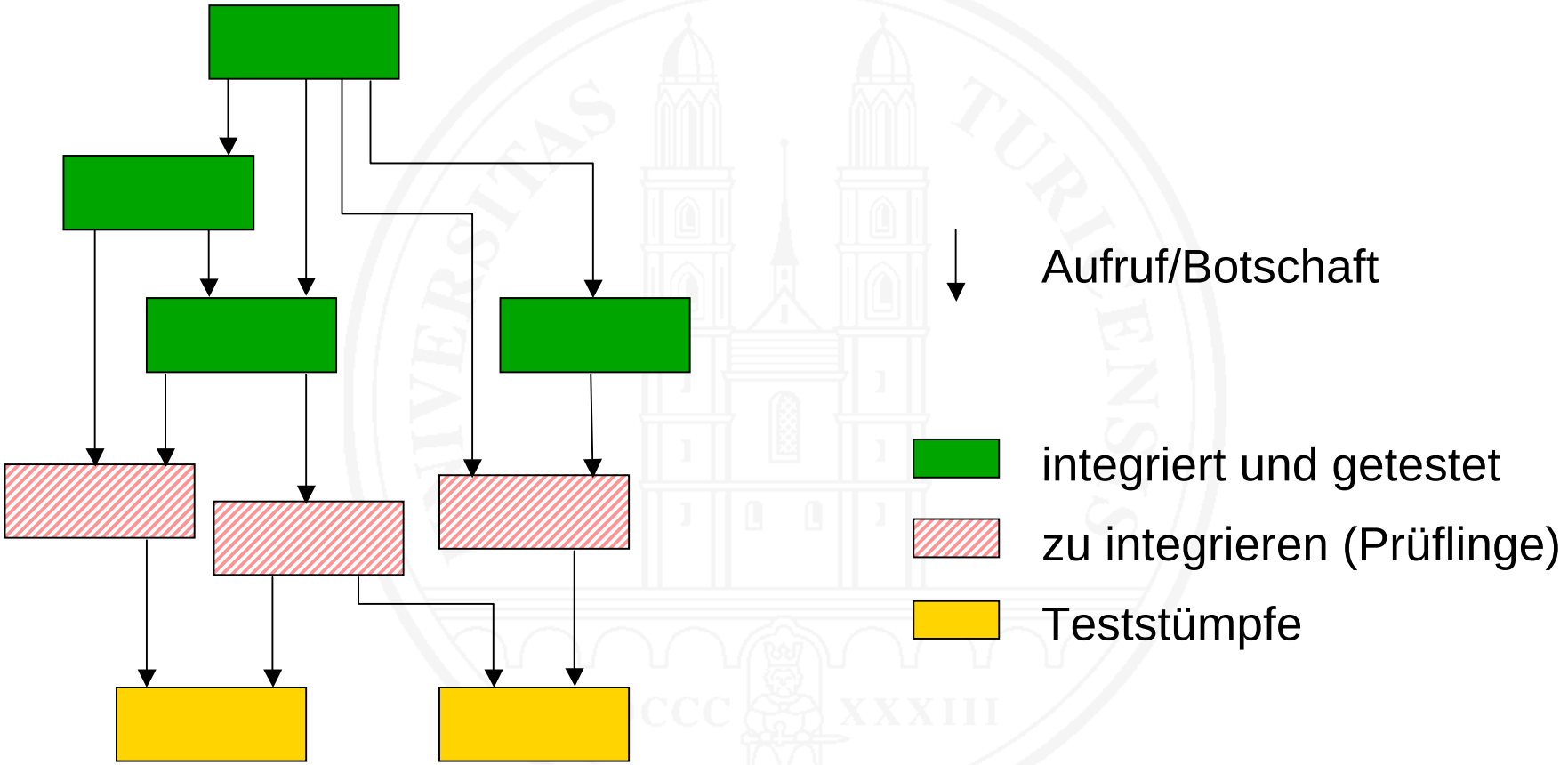
Ansätze:

- Aufwärtsintegration (bottom-up integration)
  - Beginnt mit elementaren Komponenten
  - braucht keine Stümpfe, nur Treiber
- Abwärtsintegration (top-down integration)
  - Beginnt mit einem "hohlen" Gesamtsystem
  - Braucht keine Treiber, nur Stümpfe
- Mischformen sind möglich

Aufwärtsintegration



Abwärtsintegration



Testen nicht-funktionaler Anforderungen

- Testen von Leistungsanforderungen
  - Leistungstest – Zeiten, Mengen, Raten, Intervalle
  - Lasttest – Verhalten bei (noch regulärer) Starklast
  - Stresstest – Verhalten bei Überlast
  - Ressourcenverbrauch
- Testen besonderer Qualitäten

➪ Nur wenig ist testbar, zum Beispiel

- Zuverlässigkeit
- Benutzbarkeit
- Sicherheit (teilweise)

Testen von Benutzerschnittstellen

- Funktionalität: alle Funktionen über Dialog zugänglich?
- Benutzbarkeit: Bedienbarkeit, Erlernbarkeit, Anpassung an Kundenbedürfnisse
- Dialogstruktur: Vollständigkeit, Konsistenz, Redundanz, Metapherkonformität
- Antwortzeitverhalten

Testen Web-basierter Benutzerschnittstellen

- Zusätzlich zu den Standardtests sind erforderlich:
  - Linktest/URL-Test: Alles am richtigen Ort? Richtig verknüpft? Zugänglich?
  - Sicherheitstest
  - Zugangstest: Sichtbarkeit, Erreichbarkeit, Verfügbarkeit
  - Kompatibilitätstest: unabhängig vom Browser?
- außerdem wichtig:
  - Lasttest
  - Stresstest

Wann ist genug getestet? – Testabschlusskriterien

- Wenn mit den in der Testvorschrift festgelegten Testdatensätzen keine Fehler mehr gefunden werden
  - Sinnvolles Kriterium, wenn der Umfang des Prüflings eine systematische Auswahl von Testfällen mit ausreichender Überdeckung ermöglicht
  - Übliches Kriterium bei der Abnahme
- Wenn die Prüfkosten pro entdecktem Fehler eine im voraus festgelegte Grenze überschreiten
  - Sinnvolles Kriterium für das Beenden des Systemtests
  - Setzt die Erfassung der Prüfkosten und der Anzahl gefundener Fehler voraus

Abschlusskriterien – 2

- Wenn während der Ausführung einer im voraus festgelegten Menge von Testfällen keine Fehler auftreten
  - Beispielsweise im Systemtest mit zufällig bestimmten Testdaten. Die Anzahl der hintereinander fehlerfrei auszuführenden Testfälle bestimmt sich aus der geforderten Zuverlässigkeit (Poore et al. 1993)
- Wenn die vorher festgelegte Obergrenze für die Fehlerdichte unterschritten wird
  - Muss mit statistischen Methoden bestimmt werden (Musa und Ackerman, 1989)

Literatur

Beck, K., E. Gamma (2002). *JUnit Cookbook*. http:www.junit.org, Stichwort Documentation

Beizer, B. (1995). *Black-Box Testing*. New York, etc.: John Wiley & Sons.

Frühauf, K., J. Ludewig, H. Sandmayr (1991). *Software-Prüfung. Eine Fibel.* Zürich: vdf und Stuttgart: Teubner.

IEEE (1987). *Standard for Software Unit Testing*. ANSI/IEEE Std 1008-1987. IEEE Computer Society Press.

IEEE (1988). *Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software*. IEEE Std 982.1-1988. IEEE Computer Society Press.

IEEE (1998a). *IEEE Standard for Software Test Documentation*. ANSI/IEEE Std 829-1998. IEEE Computer Society Press.

IEEE (1998b). *Standard for Software Verification and Validation Plans*. ANSI/IEEE Std 1012-1998. IEEE Computer Society Press.

Liggesmeyer, P. (1990). *Modultest und Modulverifikation*. BI-Wissenschaftsverlag, Reihe Angewandte Informatik Bd. 4, Mannheim etc.

Liggesmeyer, P. (2002). *Software-Qualität: Testen, Analysieren und Verifizieren von Software*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Musa, J.D., A.F. Ackerman (1989). Quantifying Software Validation: When to Stop Testing? *IEEE Software* **6**, 3 (May 1989). 19-27.

Literatur – 2

Myers, G.J. (1979). *The Art of Software Testing*. New York, etc.: John Wiley & Sons. [in dt. Übersetzung: *Methodisches Testen von Programmen*. 4. Auflage. Oldenbourg, München, 1991.]

Pol, M., T. Koomen, A. Spillner (2000). *Management und Optimierung des Testprozesses*. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Poore, J.H., H.D. Mills, D. Mutchler (1993). Planning and Certifying Software System Reliability. *IEEE Software* **10**, 1 (Jan 1993). 88-99.

Spillner, A., T. Linz (2002). *Basiswissen Softwaretest*. Heidelberg: dpunkt.Verlag

Zeller, A. (2006). *Why Programs Fail: A Guide to Systematic Debugging*. San Francisco: Morgan Kaufmann und Heidelberg: dpunkt.verlag.

Im Skript [M. Glinz (2005). *Software Engineering*. Vorlesungsskript, Universität Zürich] lesen Sie Kapitel 9.5.

Im Begleittext zur Vorlesung [S.L. Pfleeger, J. Atlee (2006). *Software Engineering: Theory and Practice*, 3rd edition. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education International] lesen Sie Kapitel 8 und 9.

Hinweis: Im Gegensatz zu Pfleeger und Atlee betrachten wir Reviews (pp.377-379), Programmbeweise (pp. 380-384) und statische Analyse (pp. 402-403) *nicht* als Testverfahren, sondern als *eingenständige*, vom Testen abzugrenzende Prüfverfahren.