



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Informatik

Martin Glinz

Software-Qualität – Ausgewählte Kapitel

Kapitel 4

Fortgeschrittene Testverfahren

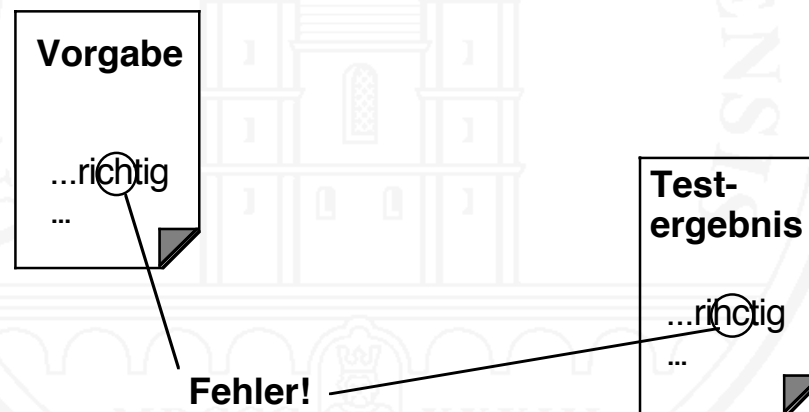
4.1 Übersicht (Wiederholung aus Grundvorlesung)

- **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

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**

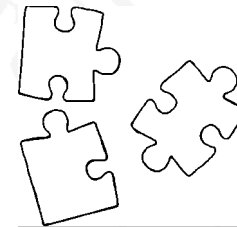
Testsystematik: Test ist nicht gleich Test

- **Laufversuch:** Der Entwickler „testet“
- **Wegwerf-Test:** Jemand testet, aber ohne System
- **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

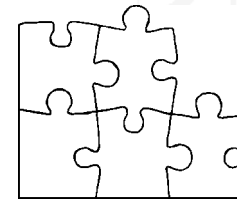
Testgegenstand und Testarten

- Testgegenstand sind **Komponenten, Teilsysteme** oder **Systeme**

- **Komponententest**, Modultest (Unit Test)



- **Integrationstest** (Integration Test)

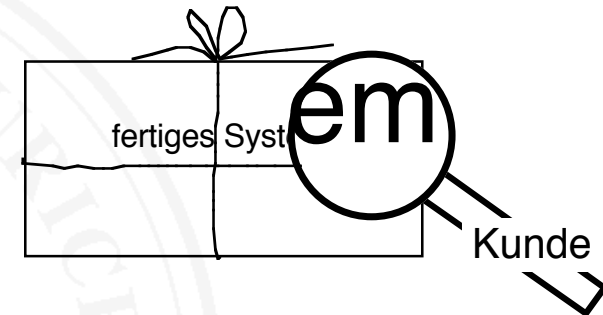


- **Systemtest** (System Test)



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.



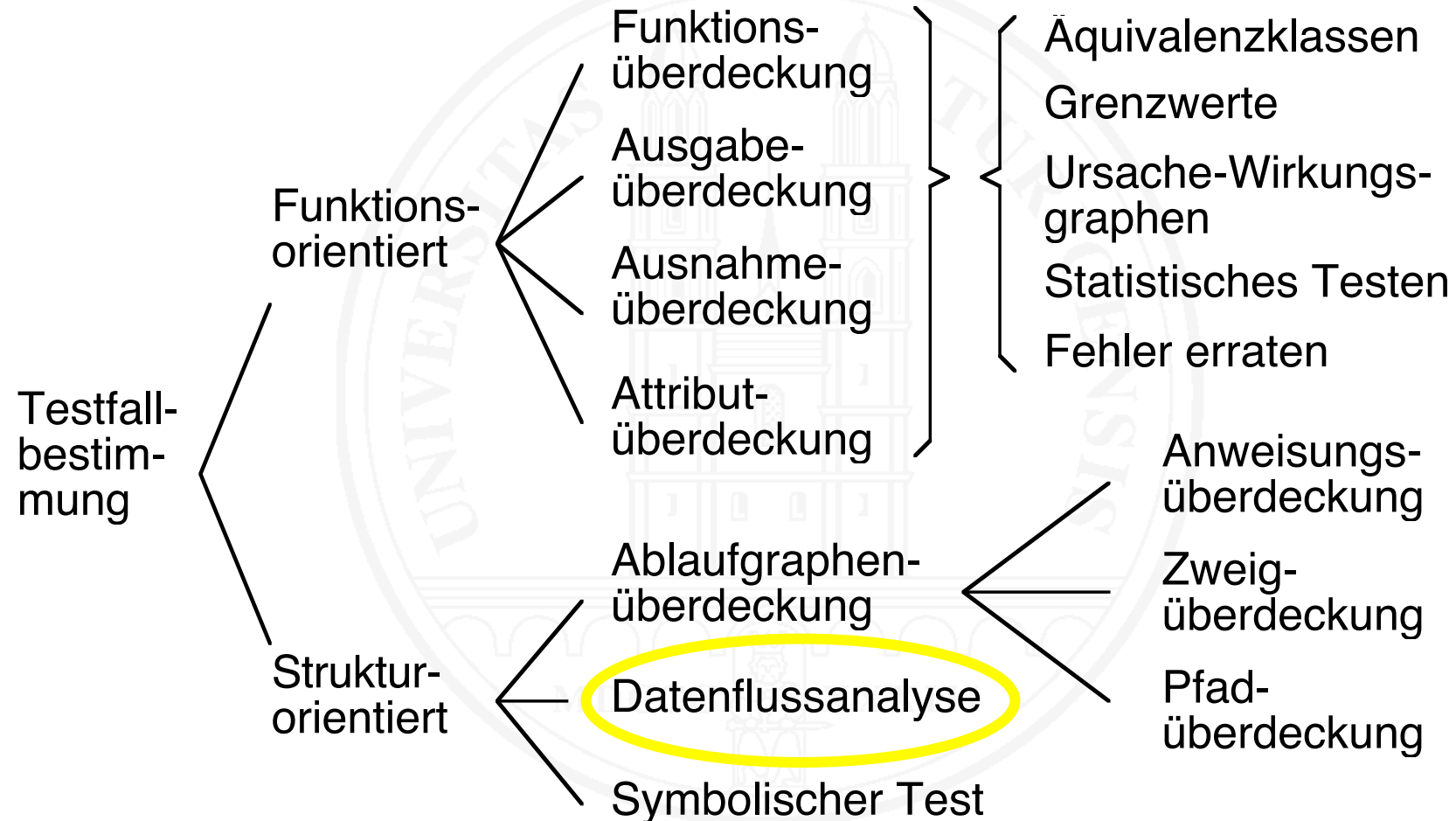
Testablauf

- **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

Bestimmen von Testfällen



4.2 Datenflussorientiertes Testen

- Ein **strukturorientierter** Test
- Basiert auf einer **Analyse der Datenflüsse** in einem Programm
 - Bestimmung des **Steuerflussgraphen**
 - Annotierung des Steuerflussgraphen:
 - Wo wird eine Variable **verändert**?
 - Wo geht eine Variable in eine **Berechnung** ein?
 - Wo ist eine Variable Bestandteil einer **Bedingung**?
- Güte wird über verschiedene **Überdeckungsgrade** definiert
- Kann auch zur Beurteilung der Güte eines funktionsorientierten Tests herangezogen werden.

Beispiel

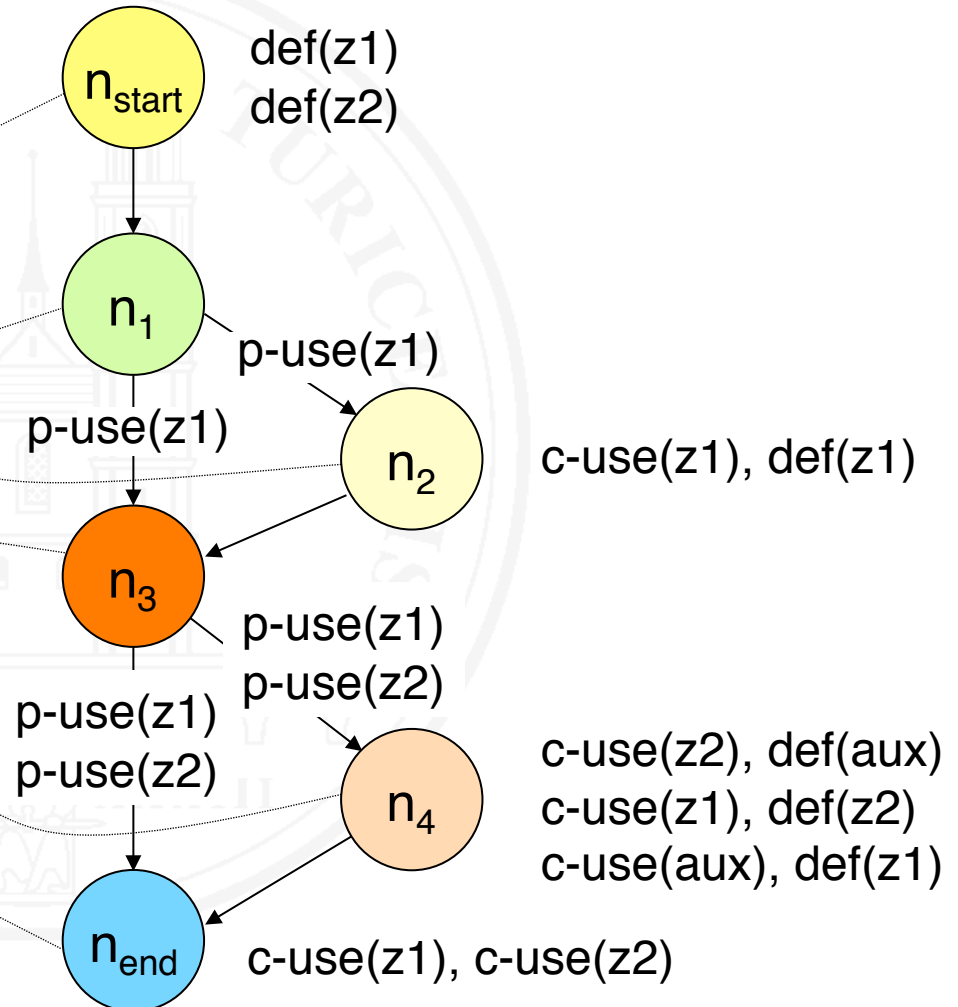
def()	Variable geschrieben
c-use()	berechnend benutzt
p-use()	prädikativ benutzt

Ein kleines Programm in C:

```

void SortAbs1 (int& z1, int& z2)
/* Sorts the set { |z1|, z2} */
{
    int aux;
    if (z1 < 0) {
        z1 = -z1;
    }
    if (z1 > z2) {
        aux = z2;
        z2 = z1;
        z1 = aux;
    }
}
    
```

Annotierter Steuerflussgraph:



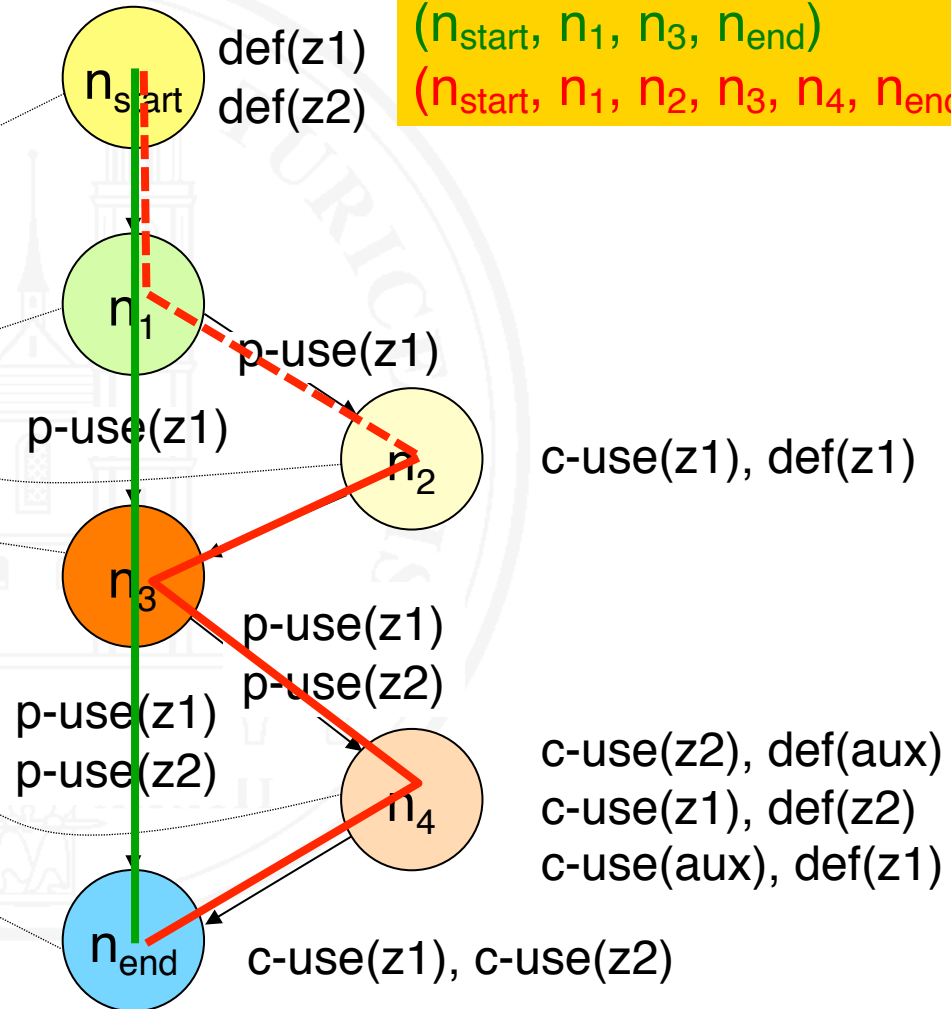
Ableitung von Testfällen

- Ein Pfad (n_n, \dots, n_m) in einem Steuerflussgraphen heißt **definitionsfrei** bezüglich der Variablen x , wenn
 - $\text{def}(x)$ im Knoten n_n
 - $\text{c-use}(x)$ im Knoten n_m oder $\text{p-use}(x)$ auf der Kante (n_{m-1}, n_m)
 - Zwischen der Definition von x in n_n und der Benutzung in n_m oder auf der Kante (n_{m-1}, n_m) erfolgt keine weitere Definition von x
- Testfälle werden so definiert, dass das Programm definitionsfreie Pfade einer bestimmten Überdeckungsklasse durchläuft, zum Beispiel:
 - **all defs-Kriterium**: Teste für jede Definition jeder Variablen x mindestens einen definitionsfreien Pfad zu einer Benutzung von x
 - **all p-uses-Kriterium**: Teste für jede Definition jeder Variablen x alle definitionsfreien Pfade zu jeder p-Benutzung von x
 - **all c-uses-Kriterium**: Teste für jede Definition jeder Variablen x alle definitionsfreien Pfade zu jeder c-Benutzung von x

Ableitung von Testfällen – Beispiel 1: all-defs

```

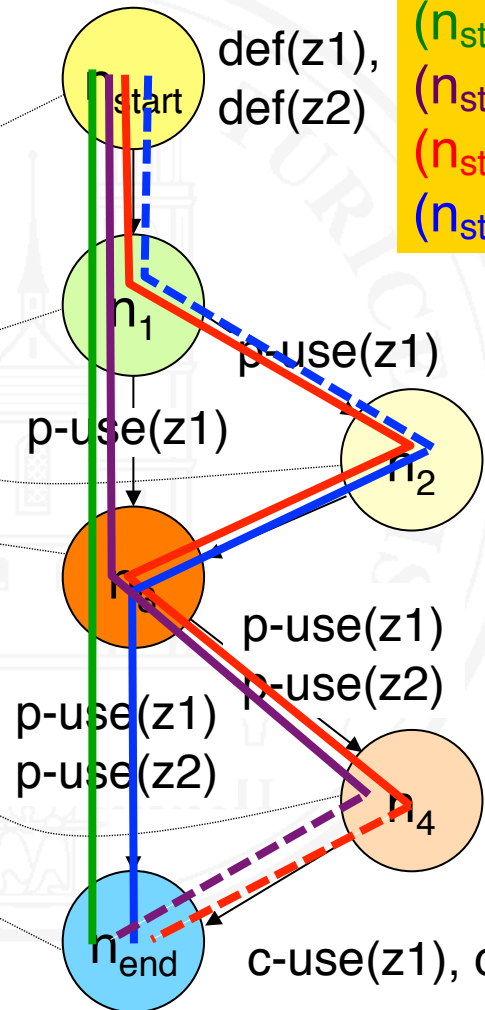
void SortAbs1 (int& z1, int& z2)
/* Sorts the set {z1, z2} */
{
  int aux;
  if (z1 < 0) {
    z1 = -z1;
  }
  if (z1 > z2) {
    aux= z2;
    z2 = z1;
    z1 = aux;
  }
}
    
```



Ableitung von Testfällen – Beispiel 1: all-p-uses

```

void SortAbs1 (int& z1, int& z2)
/* Sorts the set { |z1|, z2} */
{
    int aux;
    if (z1 < 0) {
        z1 = -z1;
    }
    if (z1 > z2) {
        aux = z2;
        z2 = z1;
        z1 = aux;
    }
}
    
```



- all-p-uses:
- (n_start, n_1, n_3, n_end)
 - (n_start, n_1, n_3, n_4, n_end)
 - (n_start, n_1, n_2, n_3, n_4, n_end)
 - (n_start, n_1, n_2, n_3, n_end)

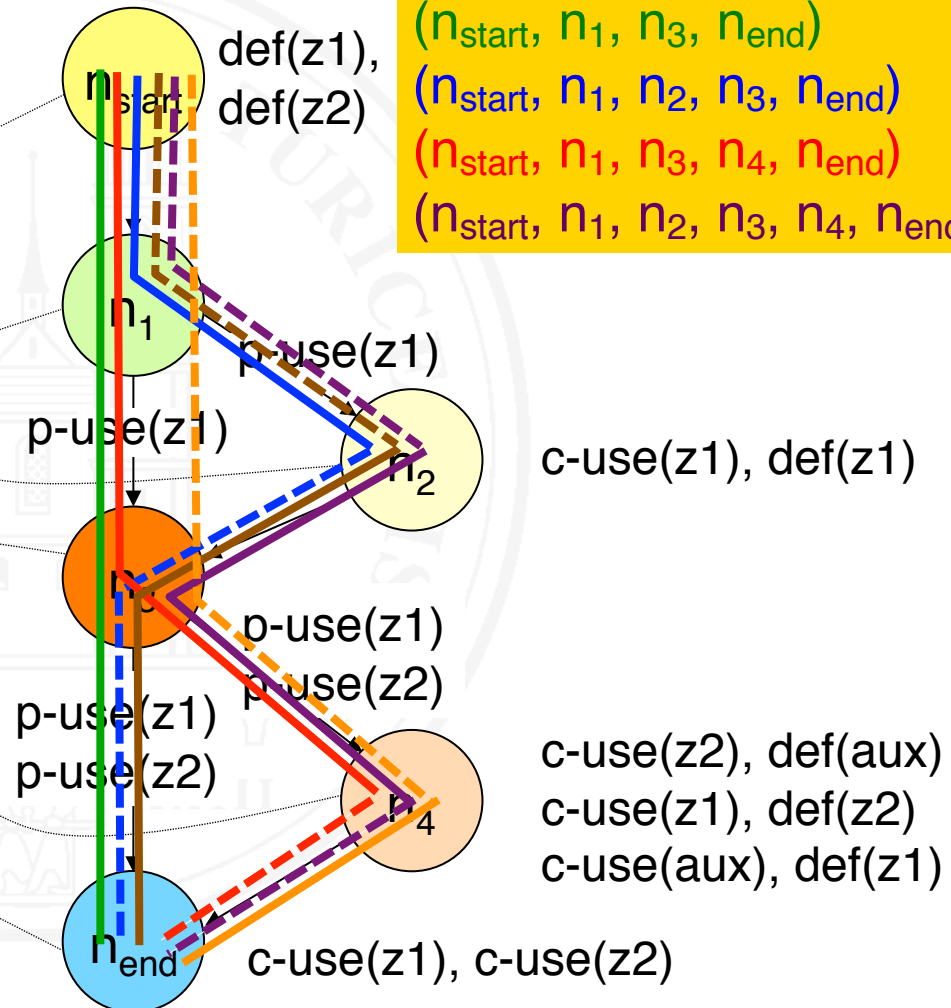
Hinweis: *all-p-uses* impliziert *Zweigüberdeckung*. Weshalb?

- c-use(z2), def(aux)
- c-use(z1), def(z2)
- c-use(aux), def(z1)

Ableitung von Testfällen – Beispiel 1: all-c-uses

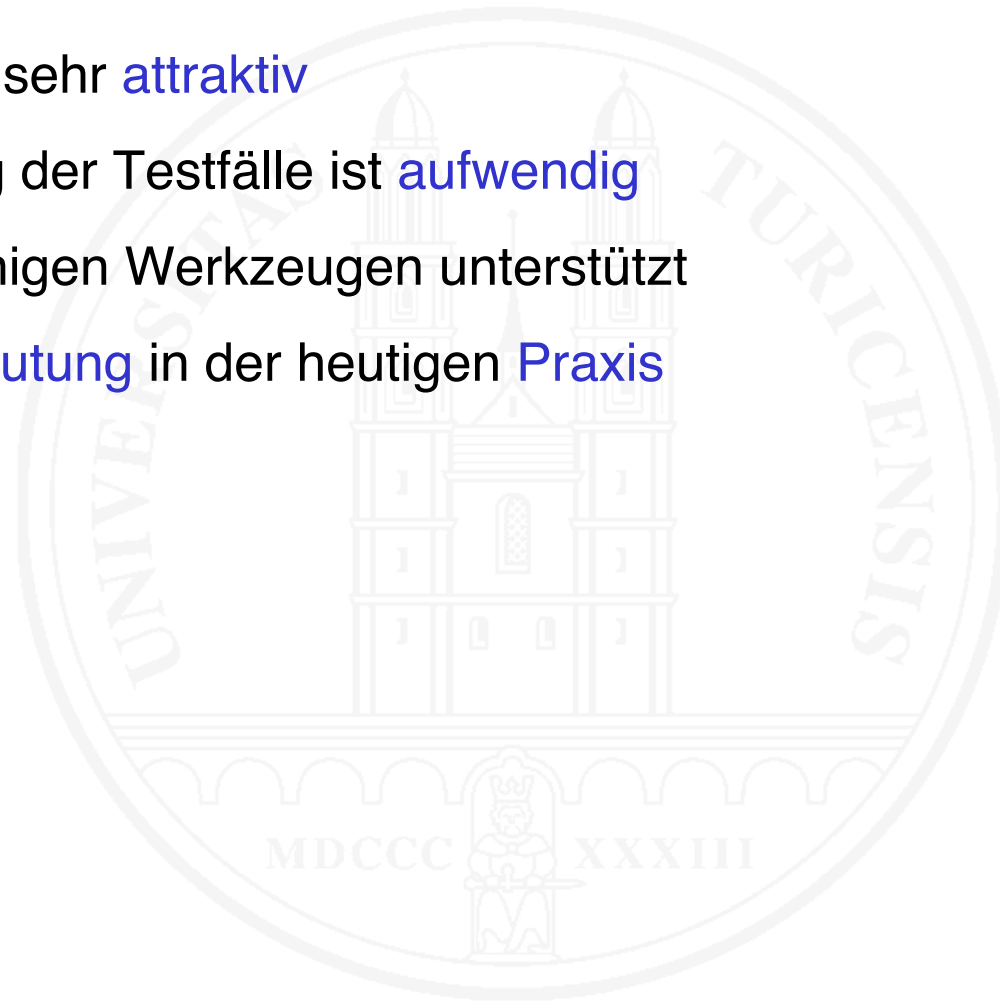
```

void SortAbs1 (int& z1, int& z2)
/* Sorts the set {z1, z2} */
{
    int aux;
    if (z1 < 0) {
        z1 = -z1;
    }
    if (z1 > z2) {
        aux= z2;
        z2 = z1;
        z1 = aux;
    }
}
    
```



Stellenwert des datenflussorientierten Testens

- Theoretisch sehr **attraktiv**
- Bestimmung der Testfälle ist **aufwendig**
- Nur von wenigen Werkzeugen unterstützt
- **Wenig Bedeutung** in der heutigen **Praxis**



4.3 Anwendungsfallorientiertes Testen

- Definition von Testfällen auf der Basis eines **Anwendungsfallmodells**
- Gehört zur Familie der **funktionsorientierten** Tests
- Ziel:Überdeckung aller **Anwendungsfälle**
- Pro Anwendungsfall
 - mindestens ein Testfall für den **Normalablauf**
 - mindestens ein Testfall für jeden möglichen **alternativen Ablauf**
- Eignet sich insbesondere für die Erstellung von **Abnahmetests**

Aufgabe: Testfälle ermitteln

Ermitteln Sie Testfälle für den nachstehenden Anwendungsfall:

Buch Ausleihen

Akteur(e): Benutzerin

Auslöser: Eine Benutzerin bringt ein Buch oder mehrere Bücher, das/die sie ausleihen möchte, zum Ausleiheschalter

Normalablauf:

1. Ausweiskarte der Benutzerin lesen und Angaben überprüfen
2. Signatur eines Buchs lesen und zugehörigen Katalogeintrag ermitteln
3. Ausleihe registrieren und Diebstahlsicherungsetikett deaktivieren
4. Wenn mehrere Bücher auszuleihen sind, mit den weiteren Büchern nach 2. und 3. verfahren
5. Leihschein drucken für alle ausgeliehenen Bücher
6. Der Benutzerin Bücher aushändigen, Vorgang abschließen

Aufgabe: Testfälle ermitteln – 2

Alternative Abläufe:

- 1.1 Ausweiskarte nicht vorhanden oder gelesene Ausweiskarte ist ungültig: Vorgang abbrechen
- 2.1 Buch ist vorgemerkt für andere Person: Buch zur Seite legen, mit Schritt 4 fortfahren
- 2.2 Benutzerin hat mehr als ein überfälliges Buch nicht zurückgebracht: Vorgang abbrechen

4.4 Paarweises Testen

- Problem: Programme mit **vielfachen Kombinationsmöglichkeiten** von Eingaben
- Im Prinzip müssten **alle Kombinationen** getestet werden
- ⇒ Zahl der benötigten Testfälle wächst **exponentiell**: nicht machbar
- Erfahrung: In den meisten Fällen genügt es, **alle Paare** von Eingabedaten zu testen, um Datenkombinationsfehler zu erkennen
- Die Zahl der benötigten Testfälle für paarweises Testen wächst nur **logarithmisch**: auch für größere Anzahl von Kombinationen testbar

$$n = O(m^2 \log_2 k)$$

k Anzahl Eingabefelder

m Anzahl Testdaten pro Eingabefeld

n Benötigte Testfälle für paarweises Testen

Beispiel:

- 13 Eingabefelder ($k= 13$) mit je drei Werten ($m=3$)
- Ein Test **aller Kombinationen** erfordert $3^{13} = 1\,594\,323$ Testfälle
- Für **vollständiges paarweises Testen** genügen **15 Testfälle**:

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>	<i>P9</i>	<i>P10</i>	<i>P11</i>	<i>P12</i>	<i>P13</i>
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0
5	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	0
6	2	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
7	0	0	0	2	2	2	1	1	1	2	2	2	0
8	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	0
9	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	0
10	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	1
11	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1
12	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	1
13	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	2
14	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2
15	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	2

[Cohen et al. 1997]

Bestimmung der Testfälle

- Es gibt **keinen einfachen Algorithmus**, mit dem sich ein minimaler Satz von Testfällen **manuell** bestimmen lässt
- Cohen et al. (1997) geben einen Algorithmus zur maschinellen Berechnung an
- Paarweises Testen erfordert ein **Werkzeug** zur Bestimmung der Testfälle
- Kommerzielle Testwerkzeuge enthalten vielfach einen Generator für paarweises Testen
- Auch ein freies Perl-Skript zur Bestimmung aller Paare ist verfügbar [Bach 2006]

Beispiel: Test einer Kreditkartenzahlung

Folgende Zahlungsapplikation für eine Webseite ist zu testen:

Kreditkartenzahlung

Kreditkartentyp:*

MasterCard

Kreditkarten-Nummer:*

1234432156788765

gültig bis:*

12 2007 MM/JJJJ

Name auf Karte:*

Max Mustermann

Prüfnummer:*

123

[Wo finde ich die Prüfnummer der Karte?](#)

Aufgabe: Überlegen Sie sich für jedes Eingabefeld die möglichen Äquivalenzklassen

Anzahl der Testfälle

- Angenommen, für jedes Eingabefeld werden drei Äquivalenzklassen bestimmt
- Es gibt sechs Eingabefelder mit je drei Testwerten
- Der Test aller Kombinationen erfordert $3^6 = 729$ Testfälle
- Paarweiser Test kommt mit 15 Testfällen aus
- Wie fehlersensitiv ist paarweises Testen in diesem Fall?
- Code für die Eingabe der Prüfnummer:

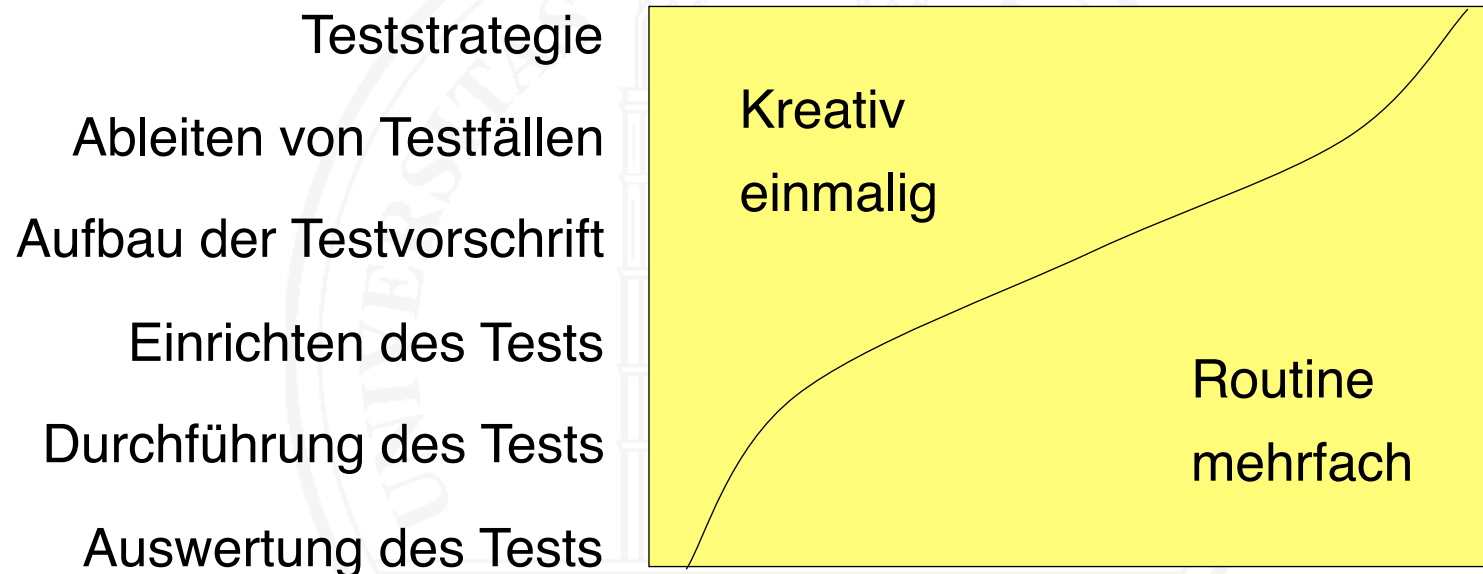
```
<TD><P>  
  <INPUT TYPE="text" NAME="kreditkartePruefziffer" VALUE=""  
  SIZE=6 MAXLENGTH=3>&nbsp; <A HREF="/hilfe/de/pruefnummer.html"  
  TARGET="_blank">Wo finde ich die Pr&uuml;fnummer der Karte?</A>  
</P></TD>
```


Sensitivitätsanalyse

- Der Test aller Kombinationen findet einen Fehler:
 - Bei Mastercard und Visa ist die Prüfnummer **dreistellig**, bei American Express **vierstellig**
 - Die Eingabe einer vierstelligen Prüfnummer erweist sich jedoch als unmöglich
- Jeder Testfall **{American Express, •, •, •,•, 1234}** findet diesen Fehler, wobei „•“ für einen beliebigen Eingabewert steht
- ⇒ Paarweises Testen genügt, um den Fehler zu finden

4.5 Testautomatisierung

- Kreative Tätigkeiten vs. Routinetätigkeiten beim Testen



- Routinetätigkeiten sind **leichter automatisierbar**
- Automatisierung wiederholter Tätigkeiten ist **wirtschaftlich**

Vorteile und Grenzen der Testautomatisierung

○ Vorteile

- Große Zahl von Fällen testbar
- Entlastung der Tester von Routinearbeit
- Regelmäßiger Regressionstest möglich
- Verbessert die Testproduktivität

○ Grenzen

- Kann manuelles Testen nicht vollständig ersetzen
- Güte stark von der Güte des Testorakels abhängig
- Automatisierung macht einen Test nur effizienter, nicht effektiver
- Erstellungsaufwand muss in angemessenem Verhältnis zum Effizienzgewinn stehen
- Kein Mittel gegen zu wenig Zeit oder unerfahrene Tester

Automatisierung der Testfall-Auswahl

- **Generierung strukturorientierter Tests**
 - Generierung von Testfällen, die ein gegebenes Überdeckungskriterium erfüllen, ist möglich
 - Problem: woher kommen die erwarteten Ergebnisse?
- **Generierung von Schnittstellentests**
 - Tests der formalen Eigenschaften einer Benutzerschnittstelle generierbar, zum Beispiel tote Links, nicht edierbare Eingabefelder
- **Generierung funktionsorientierter Tests** einschließlich des Orakels
 - erfordert eine formale Spezifikation
 - nur sehr begrenzt praktisch einsetzbar
- **Unterstützung bei der Testfall-Auswahl**, zum Beispiel Berechnung der Tupel für paarweises Testen

Automatisierung der Testvorschrift

Unterschiedliches Vorgehen auf den verschiedenen Teststufen:

- Modul- und Integrationstest
- Systemtest
- Abnahmetest

- Nicht nur die Testfälle, sondern auch der Vergleich mit den erwarteten Ergebnissen muss automatisiert werden

Automatisierung – Modul- und Integrationstest

- Testvorschrift wird **programmiert**
 - Typisch eine Methode pro Testfall
 - Vergleich mit erwarteten Ergebnissen wird ebenfalls programmiert
 - **Testrahmen**
 - vereinfacht die Programmierarbeit
 - Dient als Testtreiber
 - Visualisiert die Ergebnisse
- Bekanntester Testrahmen für automatisierten Modultest:
 - **JUnit** [Gamma und Beck 2000]
 - Mittlerweile auch für andere Sprachen verfügbar: CppUnit, PyUnit,...

Automatisierung – Systemtest

- Problem **Benutzerinteraktion** muss **simuliert** werden
- Typisch durch
 - **Schreiben** oder **Aufzeichnen** von **Skripts**,
 - die anschließend **automatisch ablaufen**,
 - in **Skriptsprachen** wie VBScript, Applescript, Perl, Python,...
- Ansatzmöglichkeiten
 - Auf der **Präsentationsschicht**
 - physisch
 - logisch
 - Auf der **Funktionsschicht**

Automatisierung auf der Präsentationsschicht

- **Physisch:** Tastendrucke, Mausbewegungen, Mausclicks,...
 - Realitätsnah
 - Skripte sehr „**bodennah**“: enthalten beispielsweise absolute Bildschirmkoordinaten
 - typisch **weder lesbar noch änderbar**
 - reagiert **empfindlich** auf kleinste, auch irrelevante Änderungen
 - Vergleich erwarteter und tatsächlicher Ergebnisse **schwierig**
- **Logisch:** Menubefehle auswählen, Dialogoptionen wählen,...
 - Dialogsimulation auf einer **abstrakteren** Ebene
 - **stabilere, leichter lesbare und änderbare** Skripte

Automatisierung auf der Funktionsschicht

- Zugriff auf die Systemfunktionalität
 - über **Programmierschnittstellen**
 - teilweise über **Webschnittstellen**
- Testet die Benutzerschnittstelle nicht
- Stabile, benutzerschnittstellenunabhängige Testprogramme bzw.. Testskripte
- Vergleich erwarteter und tatsächlicher Ergebnisse **einfach**
- Programmierschnittstellen müssen vorhanden sein
- Vorsicht: bieten auch mögliche Ansatzpunkte für Angriffe
- Automatisierung wird durch geeignete **Software-Architektur** vereinfacht
 - **Entkopplung** von Programmlogik und Präsentation
 - beispielsweise mit dem Model-View-Controller Muster

Automatisierung – Abnahmetest

- Erzeugung von Testfällen aus **Anforderungen**
 - Bei hinreichender Formalität sind aus Anforderungen **Testfälle generierbar**
 - Aus teilformalen Modellen sind zumindest **Testgerüste generierbar**
- Erzeugung von Testfällen aus **Beispielen**
hier gezeigt an Hand des Testrahmens Fit [Cunnigham 2002]
 - Benutzer beschreiben erwartetes Verhalten in tabellarischer Form
 - Tester schreibt eine “Fixture”, welche die Tabelle in Beziehung zum zu testenden Programm setzt
 - Fit führt den Test automatisch aus und visualisiert die Ergebnisse

Automatisierung – Beispiel mit Fit

[Cunningham 2002]

Benutzer spezifiziert Beispielfälle:

Payroll Fixtures, Weekly Compensation			
StandardHours	HolidayHours	Wage	Pay()
40	0	20	\$800
45	0	20	\$950
48	8	20	\$1360

Programmierer schreibt "Fixture":

```
public class WeeklyCompensation : ColumnFixture
{
    public int StandardHours;
    public int HolidayHours;
    public Currency Wage;
}
```

Fit führt Tests durch und visualisiert die Ergebnisse benutzergerecht:

Payroll Fixtures, Weekly Compensation			
StandardHours	HolidayHours	Wage	Pay()
40	0	20	\$800
45	0	20	\$950
48	8	20	\$1360 <i>expected</i> \$ 1040 <i>actual</i>

Automatisierung des Ergebnisvergleichs

- Für jeden Testfall müssen erwartetes und tatsächliches Resultat **verglichen** werden
- Möglichkeiten:
 - Vergleich **während** der Ausführung
 - Vergleich **nach** der Ausführung
- Mechanismen, welche erwartete und tatsächliche Ergebnisse automatisiert vergleichen, heißen Test-Orakel
- Probleme
 - **Umfang** der Überprüfung
 - **Fehler im Orakel** führen zu falsch-positiven Ergebnissen
 - Orakel können **signifikante** und **bedeutungslose** Abweichungen nicht unterscheiden: führt zu falsch-negativen Ergebnissen

Automatisierung der Testdurchführung/-auswertung

- Erfordert **ausführbare Testvorschriften**, einschließlich **Testorakel**
 - Programmierte Testvorschriften
 - Testskripts
- Einrichtung, Durchführung und Auswertung sind ganz oder teilweise automatisierbar
 - Beispiel: **Cruisecontrol** für automatisierten Modul- und Integrationstest

Literatur

A. Almagro, P. Julius (2001). *CruiseControl Continuous Integration Toolkit*. <http://cruisecontrol.sourceforge.net>

J. Bach (2006). *ALLPAIRS Test Case Generation Tool* (Version 1.2.1) <http://www.satisfice.com/tools.shtml>

K. Beck (2002). *Test Driven Development by Example*. Addison-Wesley.

D.M. Cohen, S.R. Dalal, M.L. Fredman, and G.C. Patton (1997). The AETG System: An Approach to Testing Based on Combinatorial Design. *IEEE Transactions on Software Engineering* **23**, 7. 437-444.

M. Fewster, D. Graham (1999). *Software Test Automation*. New York: ACM Press.

E. Gamma, K. Beck (2000). *JUnit Test Framework*. <http://www.junit.org>

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

S. Rapps, E.J. Weyuker (1985). Selecting Software Test Data Using Data Flow Information. *IEEE Transactions on Software Engineering* **SE-11**, 4. 367-375.

W. Cunningham (2002). *Fit: Framework for Integrated Test*. <http://fit.c2.com>

A. Zeller (2005). *Why Programs Fail: A Guide to Systematic Debugging*. Amsterdam: Morgan Kaufmann und Heidelberg: dpunkt.