Programmiermethodik

Qualitätssicherung

SS 2002

Thomas Kühne

kuehne@informatik.tu-darmstadt.de

http://www.informatik.uni-mannheim.de/informatik/softwaretechnik

Warum Qualitätssicherung?

Informatik Katastrophen

- Ariane Flug 501 (`96)
  - » Verlust der Rakete samt Nutzlast ($500,000,000)
- Airbus Bruchlandung (`93)
  - » Umkehrschub war nicht verfügbar
- Röntgengerätsteuerung, Therac-25 (`85)
  - » Tote und Verstrahlte
- viele, viele mehr...

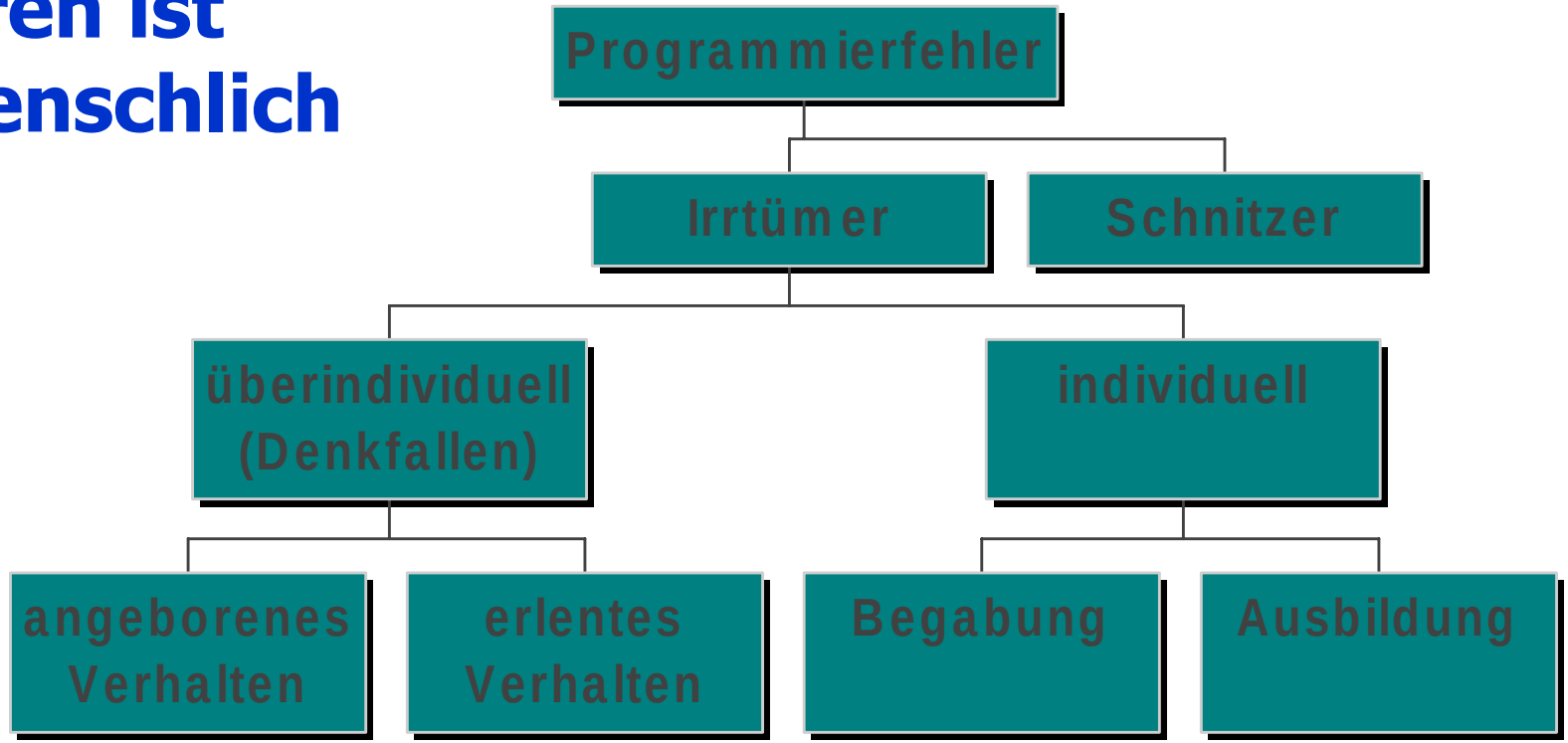
z.B, Ergebnis von:
`((int)Math.pow(2,32))+1`

Warum Qualitätssicherung?

- Das Auftauchen von Fehlverhalten im Einsatz ist (mögliches Spektrum)
  - » nicht tolerable: Schaden kann entstehen
  - » unerwünscht: Kunde kann verloren gehen
  - » nicht dramatisch: Kunde ist schlechten Qualitätsstandard gewohnt
- Abhängig von der Notwendigkeit Fehler zu vermeiden, kommen verschiedene Methoden zum Einsatz:
  - » formal
  - » empirisch

Warum Qualitätssicherung?

Irren ist menschlich



- Psychologie des Programmierens
  - Scheinwerferprinzip, Strukturerwartung, Überschätzung von Informationen

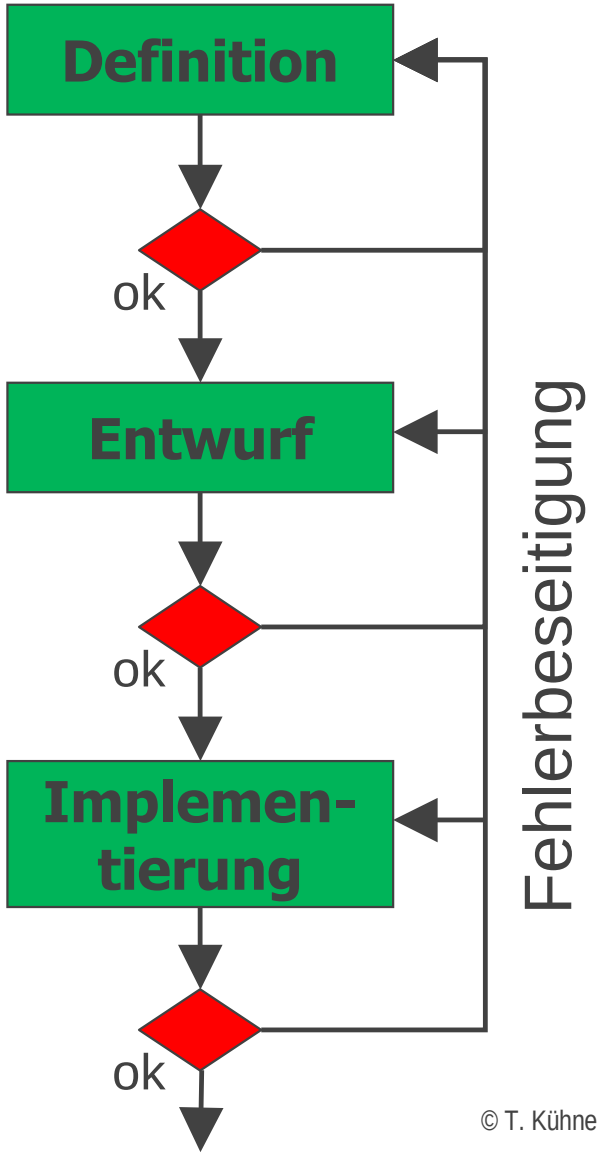
Warum Qualitätssicherung?

- Scheinwerferprinzip
  - » Konzentration auf das „Wesentliche“ => Nichtbeachtung von:
    - – Ausnahme- und Grenzfällen
    - – Variableninitialisierung
    - – Seiteneffekte von Funktionen
- Strukturerwartung
  - » z.B., Erwartung der Assoziativität der Addition oder direkter Vergleich bei Gleitkommazahlen
- Informationsüberschätzung
  - » Erfüllt eine Methode einen Anwendungsfall wird dieser Erfolg ungerechtfertigter Weise auf Spezialfälle übertragen

Qualitätssicherung

Zwei komplementäre Ansätze

- Konstruktive Qualitätssicherung
  - Korrektheit durch Konstruktion
    - z.B., Strukturediteor
    - z.B., Funktionskomposition
- Analytische Qualitätssicherung
  - Überprüfung des Resultats
    - z.B., Konsistenzprüfung
    - z.B., Vergleich mit Spezifikation
    - z.B., Validierung durch Kunden



Vorgehensweisen

(Zu widerlegende) Hypothese

„Alle ungeraden Zahlen sind Primzahlen“

- **Mathematiker**: Ein Produkt aus zwei ungeraden Zahlen ergibt wieder eine ungerade Zahl (WMLS). Also läßt sich eine ungerade Zahl als Produkt zweier ungerader Zahlen konstruieren (z.B., 9), die damit keine Primzahl ist.
- **Ingenieur**: 3 ist eine Primzahl, 5 ist eine Primzahl, 7 ist eine Primzahl, 9 ist *keine* Primzahl.

Vorgehensweisen

(Zu widerlegende) Hypothese

„Alle ungeraden Zahlen sind Primzahlen“

- **(schlechter) Physiker**: 3 OK. 5 OK. 7 OK. 9 Meßfehler, 11 OK, 13 OK, ...
- **(schlechter) Informatiker**: Getreu dem Motto „1, 2, 3, alle!“ wird geschlossen: 3 ist eine Primzahl, 5 ist eine Primzahl, 7 ist eine Primzahl, => alle ungeraden Zahlen sind Primzahlen.

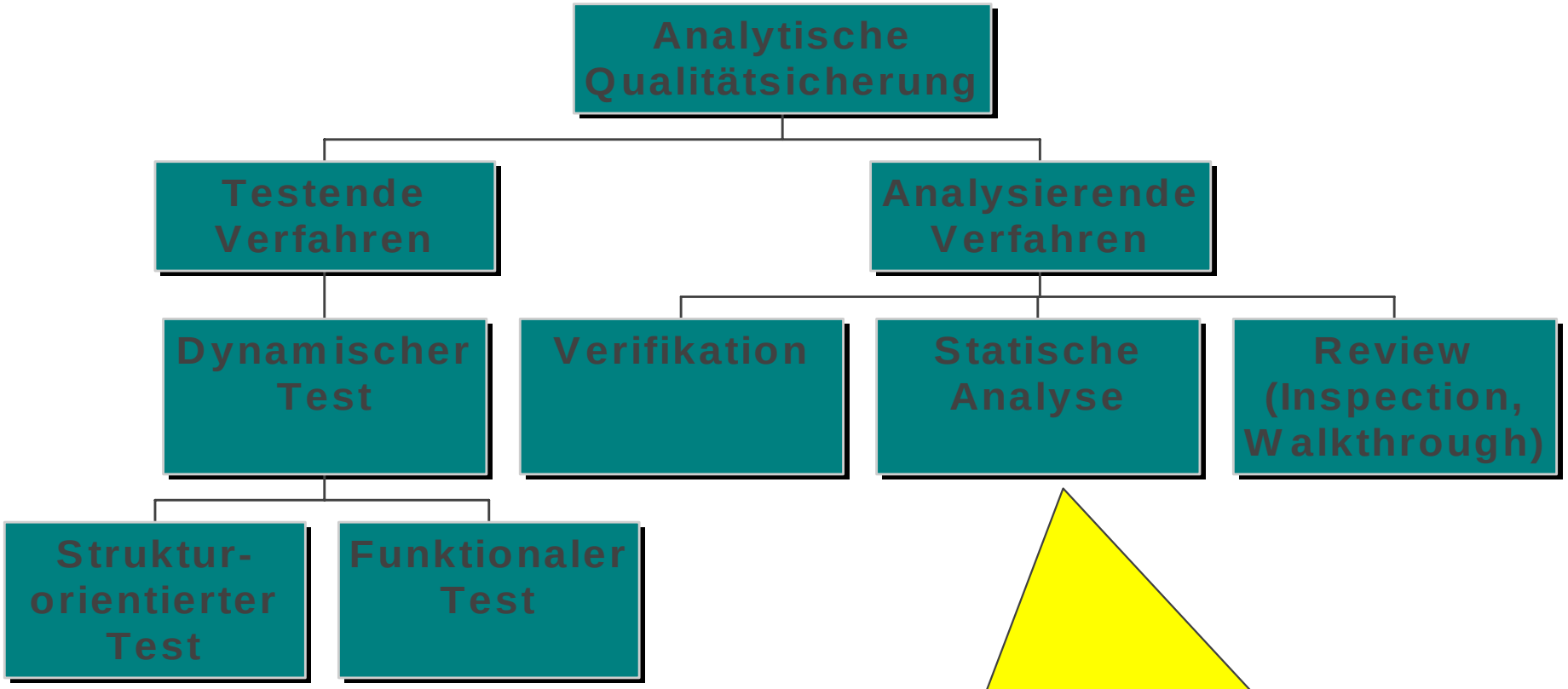
Achtung!
Scherzhafte Satire. ☺

Reflektion über Vorgehensweisen

In umgekehrter Reihenfolge...

- Nicht systematische „Methoden“ sind nicht akzeptabel
- Stichprobenartige Überprüfungen können keine allgemeine Gewißheit verschaffen
- Systematische Überprüfungen können u.U. vollständige Gewißheit verschaffen sind im allgemeinen aber nur solide Gewissens-beruhigungen
- Formale Überprüfungen können für bekannte Rahmenbedingungen absolute Gewißheit verschaffen

QS-Maßnahmen



z.B., Java Compiler:
Überprüfung der Initialisierung von Variablen und das Vorhandensein von return Statements

Qualitätssicherungsbegriffe

- Verifikation
  - » Beweis, daß ein Produkt im Sinne der Spezifikation korrekt ist (funktionaler Test als grobe Annäherung)
- Validierung
  - » Nachweis, daß ein Produkt in einer bestimmten Zielumgebung laufähig ist und das tut, was der Benutzer wünscht (strukurelle Tests als „Belastungstests“)

Ein verifiziertes Progamm muß nicht den Wünschen entsprechen und ein validiertes muß nicht korrekt im Sinne der Spezifikation sein

Verifikation

Erschöpfende Verfahren sind nicht praktikabel

(Non exhaustive) Testing can reveal the presence of errors but never their absence.

Edsger W. Dijkstra

Programmverifikation

Formales Verfahren

- "Mathematische" Vorgehensweise
  - » Spezifikation von Zusicherungen, insbesondere Nachbedingungen
  - » Mechanische Transformation von Zusicherungen
- Herausragende Ergebnisse
  - » Ermitteln der schwächsten Vorbedingung
  - » Absolute Sicherheit über die Korrektheit (im Rahmen der gemachten Annahmen)

Programmverifikation

- In der Praxis oft nicht praktikabel
  - » aufwendig
  - » kompliziert (Verweissemantik)
- Bei sicherheitskritischen Anwendungen unverzichtbar
  - » z.B., Deutsche Bahn AG
    - – Assemblerprogrammierung
- Mittel zum Finden von Algorithm
  - » Realisierung folgt Spezifikation!

Ausweg aus der "Wenn der Com-puter bloß wüßte was ich will"-Verzweiflung!

Das Testdilemma

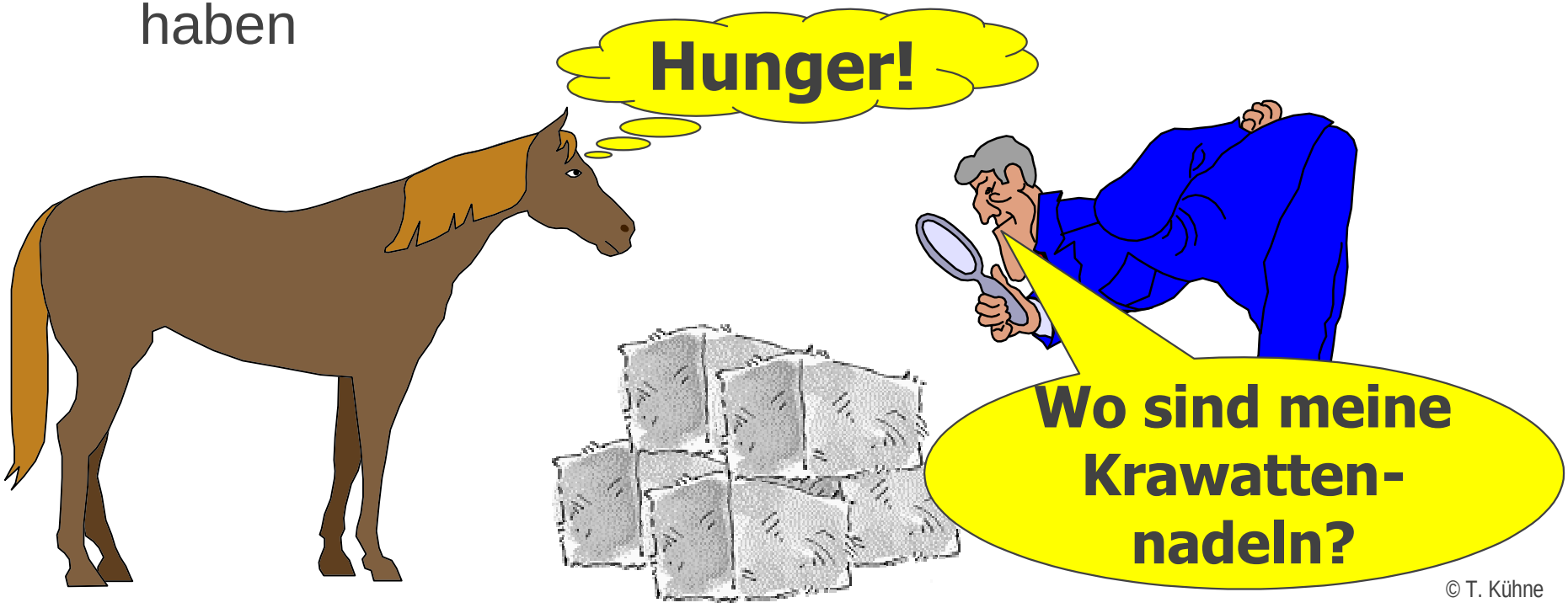
Ein Imageproblem

- In der Informatik haben Tester oft ein schlechtes Image
  - » „Es hat nicht zum Programmierer gereicht“
- Zur Qualitätssicherung werden aber die Besten benötigt.
  - » *Experten*-Gutachten (Tester, Prüfer, Sachverständiger)
- In anderen Disziplinen sind Personen, die Qualität auf nicht triviale Art und Weise sicherstellen, hoch angesehen
  - » Softwarequalitätssicherung ist nicht trivial, daher verdient das systematische Testen von Software uneingeschränkte Annerkennung

Das Testdilemma

Warum wir testen müssen...

- Solange Software von menschlichen Gehirnen erstellt wird, wird sie i.A. fehlerhaft sein.
- Fehler müssen gefunden werden bevor sie Folgen haben



Das Testdilemma

Wie intensiv müssen wir testen?

- Wie kann man gründlich suchen?
- Ab wann kann man davon ausgehen, daß das mit hoher Wahrscheinlichkeit keine „Nadeln“ mehr enthalten sind?

Das Testdilemma

Was ist die Aufgabe von Tests?

- Nur das Aufspüren von Fehlern!
- Die Ursachenforschung und die letztendliche Beseitigung (Debugging) ist eine andere Disziplin

Das Testdilemma

If something can go wrong, it will—at the worst possible moment.

If nothing can go wrong, it still will.

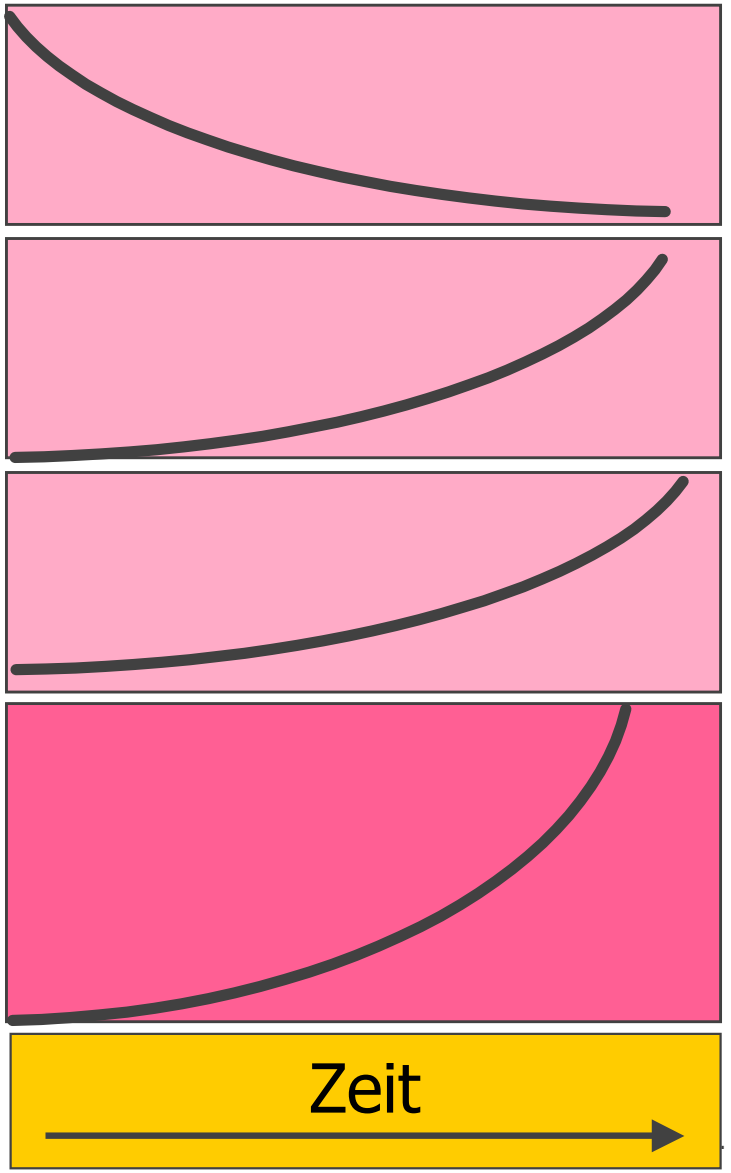
If nothing has gone wrong, you have overlooked something.

Murphy‘s Law

Bills These: Jedes funktionierende Computergrafikprogramm enthält eine gerade Anzahl von Vorzeichenfehlern

Wert & Kosten des Testens

- Entdeckungsrate
  - Aufspüren wird immer schwieriger
- Tests / Gefundene Fehler
  - Tests immer aufwendiger
- Fehlerqualität
  - Fehler immer hartnäckiger
- Kombination
  - Kosten pro gefundenen Fehler steigen über-proportional
  - Aufhören wenn es zu schwierig/teuer wird weitere Fehler zu finden?



Notwendigkeit einer Systematik

- In der Praxis relevante (aber nicht befriedigende) Gründe mit dem Testen aufzuhören sind:
  - » Zeit aufgebraucht;
    der Kunde möchte das Produkt
  - » Alle vorhanden Tests werden bestanden
- Daher ist es notwendig objektive Kriterien dafür zu haben ob noch zusätzliche Testfälle benötigt werden
  - » Systematische Verfahren benötigt
  - » => Testmethoden

Testmethode

Planmäßiges, auf ein Regelwerk aufbauendes Testverfahren.

Im Allgemeinen eine systematische Methode zur Auswahl und/oder Generierung von Tests.

- ➜ Strukturelle Testmethoden
- ➜ Funktionale Testmethoden

Strukturelle Methoden

Basieren auf der Anwendungsstruktur (White/Glass Box Tests)

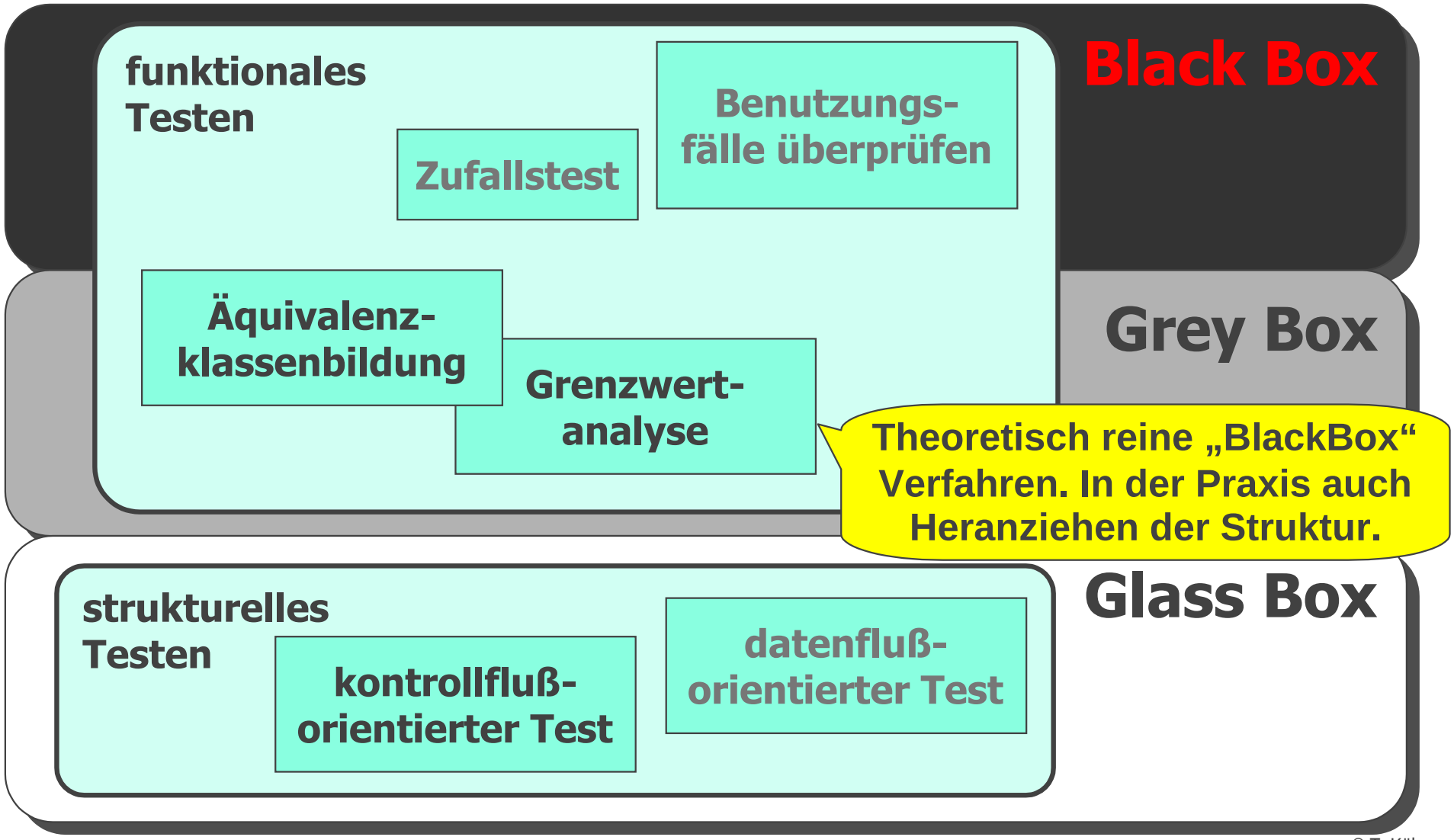
- Testfälle und Testdaten werden nur aus der Struktur des Prüfgegenstands abgeleitet
- Die Vollständigkeit der Prüfung wird anhand von Strukturelementen (Anweisungen, Zweige, Daten) bewertet
- Die Spezifikation des Prüfgegenstands wird bei der Beurteilung der Vollständigkeit der Tests nicht beachtet

Funktionale Methoden

Basieren auf Anforderungen (Black Box Tests)

- Testfälle und Testdaten werden aus der funktionalen Spezifikation des Prüfgegenstands abgeleitet
- Vollständigkeit der Prüfung wird anhand der Spezifikation bewertet
- Im Idealfall sollte eine formale Spezifikation vorliegen
- Struktur des Prüfgegenstands wird nicht ausgewertet

Testklassifizierung



Grundbegriffe

- Testfall
  - » Besteht aus einem Satz von Testdaten, der die vollständige Ausführung eines zu testenden Programms bewirkt und dem Sollresultat.
- Testsuite
  - » Eine nicht leere Menge von Testfällen, die nach einem bestimmten Kriterium ausgewählt wurden
- Testendekriterium
  - » legt fest, welches Minimalziel durch die Testfälle erreicht werden soll => Testabdeckung

Das Anfangs geforderte Kriterium für die Auswahl von Testfällen!

Testabdeckung

- Verhältnis zwischen tatsächlich ausgeführten Testfällen und theoretisch existierenden Testfällen

$$TAB = \frac{\text{ausgeführte Testfälle}}{\text{existierende Testfälle}}$$

- Bei einer Testabdeckung von 100% spricht man von einem erschöpfendem Test
- Erschöpfendes Testen ist meist weder praktikabel noch sinnvoll

Strukturelles Testen

Realisierung von Überdeckungstests

- Einfügen von Trace Statements in den Quellcode (Instrumentieren)
- Bei der Ausführung erzeugen die Trace Statements ein Logbuch
- Auswertung des Logbuchs zur Erstellung eines Abdeckungsberichts

Die im folgenden beschriebenen Verfahren sind nur mit entsprechender Werkzeugunterstützung sinnvoll anwendbar

Instrumentierung

- Mitprotokollieren, welche Teile des Prüflings bei der Ausführung durchlaufen wurden
-

```
int bestimmeMax (int A, int B)
{  if (A > B)
   {     ThenBranch = true;
         return A;
   }
   else
   {     ElseBranch = true;
         return B;
   ...
```

In den Quellcode eingefügte „Zähler“

- Nach dem Testlauf werden die Zählerstände ausgewertet

Kontrollfluß Testen

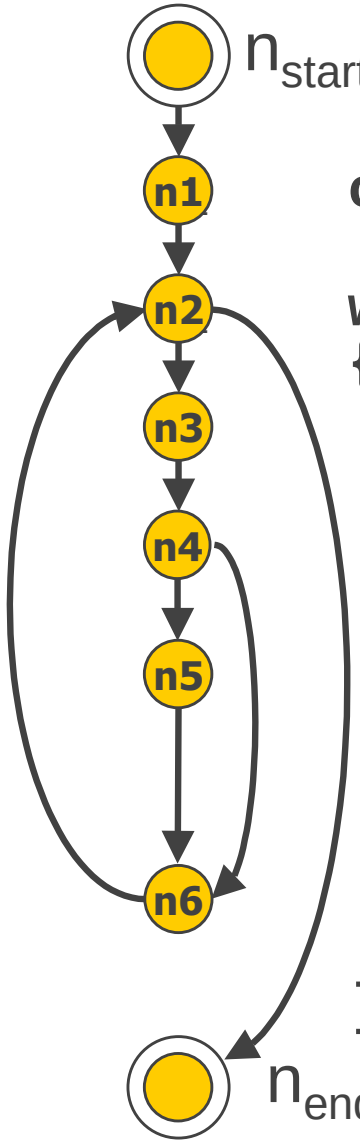
- Kontrollflußgraph
  - » Der Kontrollfluss wird durch einen gerichteten Graphen (Kontrollflussgraph) dargestellt
  - » Jeder Knoten stellt eine Anweisung dar
  - » Die Knoten sind durch gerichtete Kanten verbunden
  - » Kantenfolgen beschreiben einen möglichen Kontrollfluss von Knoten i zu Knoten j
- Zweige
  - » Gerichtete Kanten
- Pfad
  - » Folge von Knoten und Kanten, die mit dem Startknoten beginnt und mit einem Endeknoten endet

Kontrollflußgraphen

Definition und Terminologie

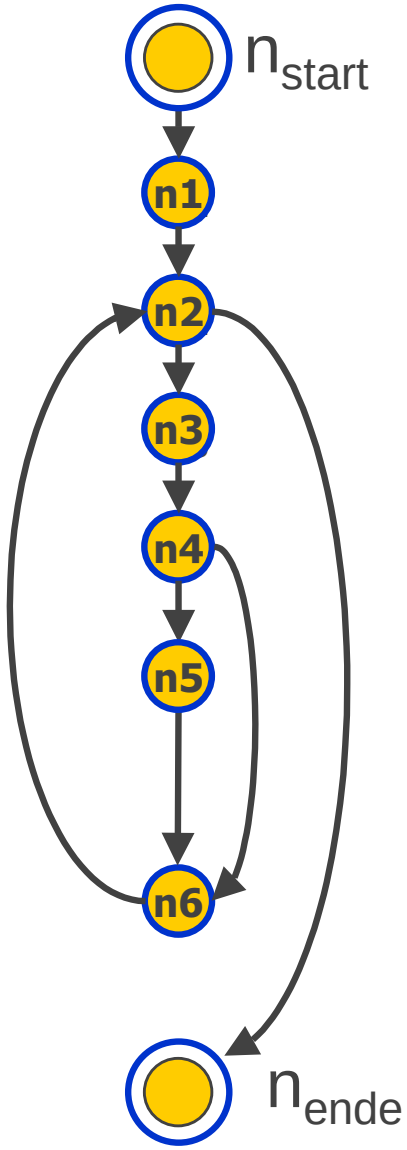
- Kontrollflussgraphen beinhalten grundsätzlich einen Start- und einen Endknoten
- Der Endknoten hat den Ausgangsgrad 0 und jeder normale Knoten liegt auf einem Pfad vom Startknoten zum Endknoten
- Knoten mit Ausgangsgrad 1 heißen Anweisungsknoten
- Alle anderen Knoten außer dem Endknoten heißen Prädikatknoten

Kontrollflußgraphen (Beispiel)




```
c=System.in.read();

while (c>='A' && c<='Z' && gesamtZahl<5)
{
   gesamtZahl = gesamtZahl + 1;

   if (c=='A'|| c=='E'|| c=='I'|| c=='O'|| c=='U')
   {
      vokalAnzahl = vokalAnzahl + 1;

   }

   c=System.in.read();

}
```

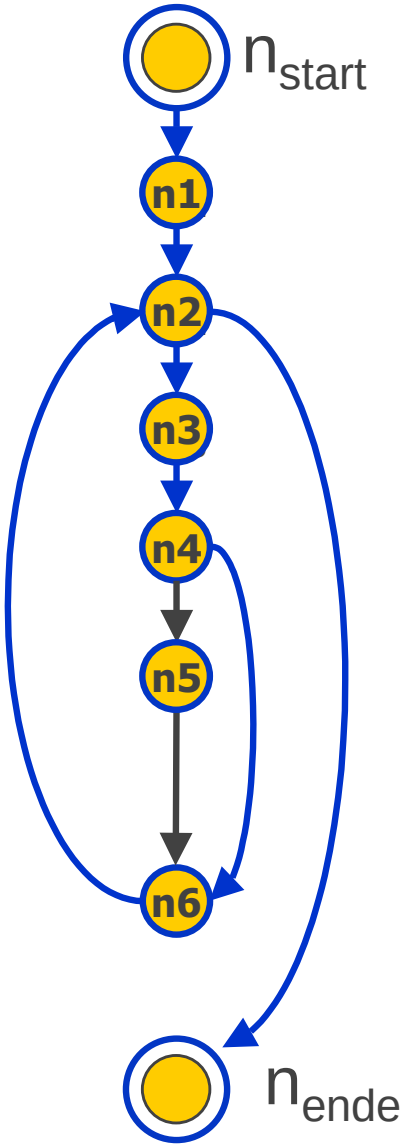
Überdeckungstests



Anweisungsüberdeckung (C0)

- Testfälle (hier ohne Ergebnisse!)
  - <A, #>
- Hilft, toten Code zu finden
- Ist notwendig aber nicht ausreichend
- Besitzt wenig praktische Relevanz

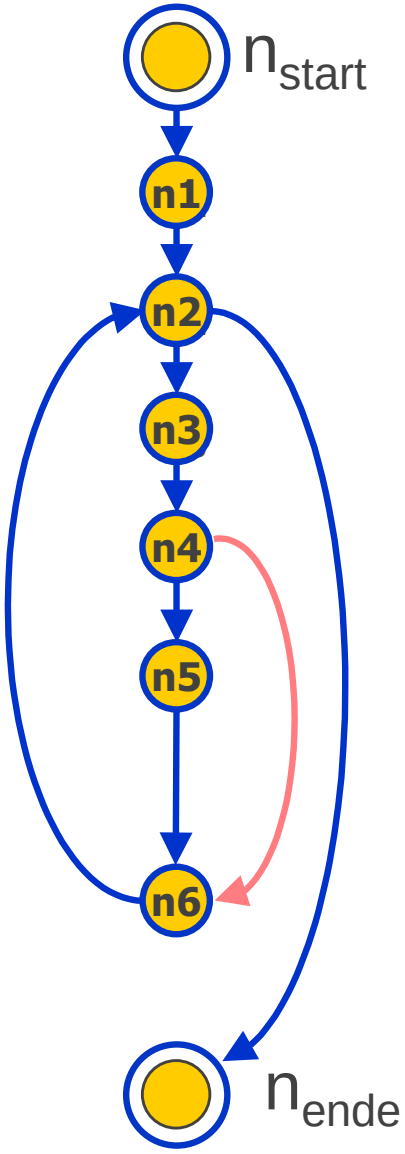
Überdeckungstests



Zweigüberdeckung (C1)

- Testfälle
  - <B, #>

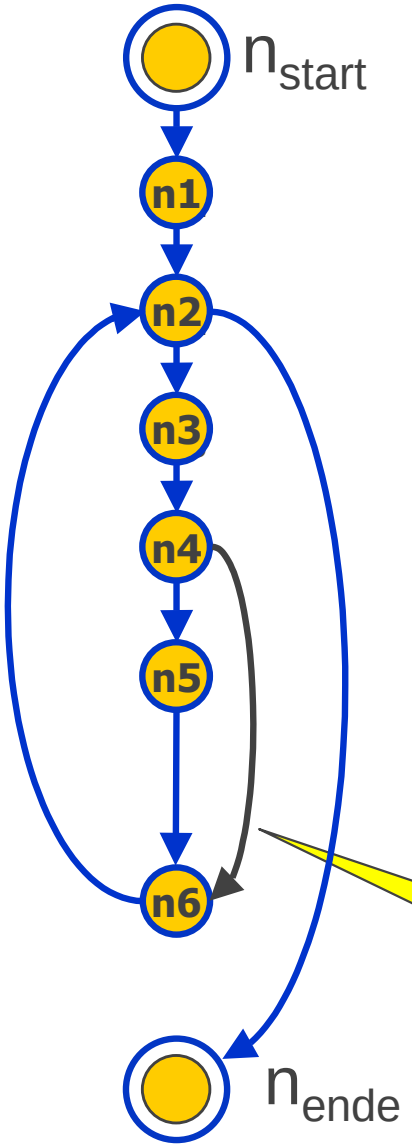
Überdeckungstests



Zweigüberdeckung (C1)

- Testfälle
  - <B, #> <A, #>
- Hilft, nicht ausführbare Zweige zu finden
- Anweisungsüberdeckung vollständig enthalten
- Berücksichtigt weder Kombination von Zweigen noch komplexe Bedingungen
- Gilt als das minimale Testkriterium

Überdeckungstests



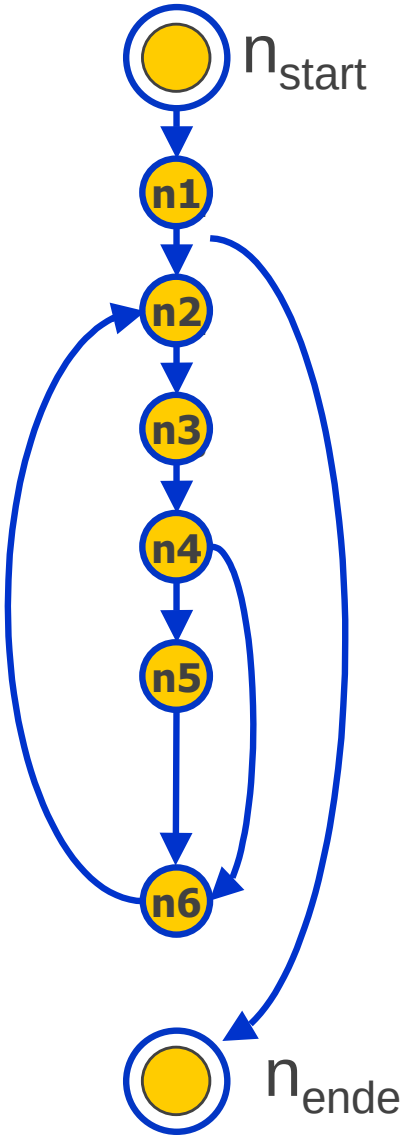
Bedingungsüberdeckung (C2)

- Testfälle
  - <A, E, I, O, U, @> <€>
- Enthält weder Anweisungs- noch Zweigüberdeckung
- Da beides minimale Testkriterien sind, ist eine alleinige einfache Bedingungüberdeckung nicht ausreichend

alle atomaren Bedingungen mind. einmal true & false

Der „else“ Zweig wird nie beschritten

Überdeckungstests

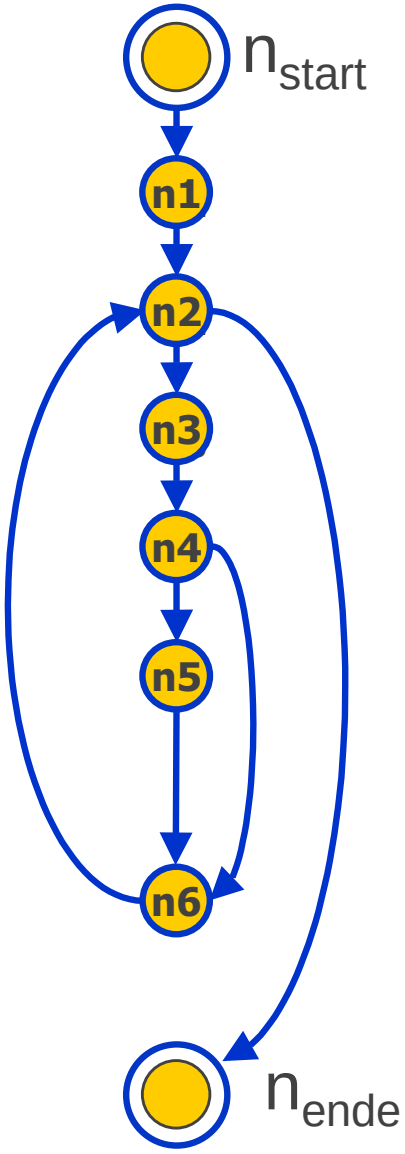


Mehrfach-Bedingungsüberdeckung

alle Kombinationen von atomaren Bedingungen gefordert

- Testfälle
  - <A, E, I, O, U, @>
    <A, E, I, O, U, €>
    <A, E, I, O, U, A>
    <A, @>, <A, €>
- Zweigüberdeckung enthalten
- Kombinationsexplosion: N atomare Bedingungen => 2N Möglichkeiten
- Kombinationen teilweise unmöglich!

Überdeckungstests



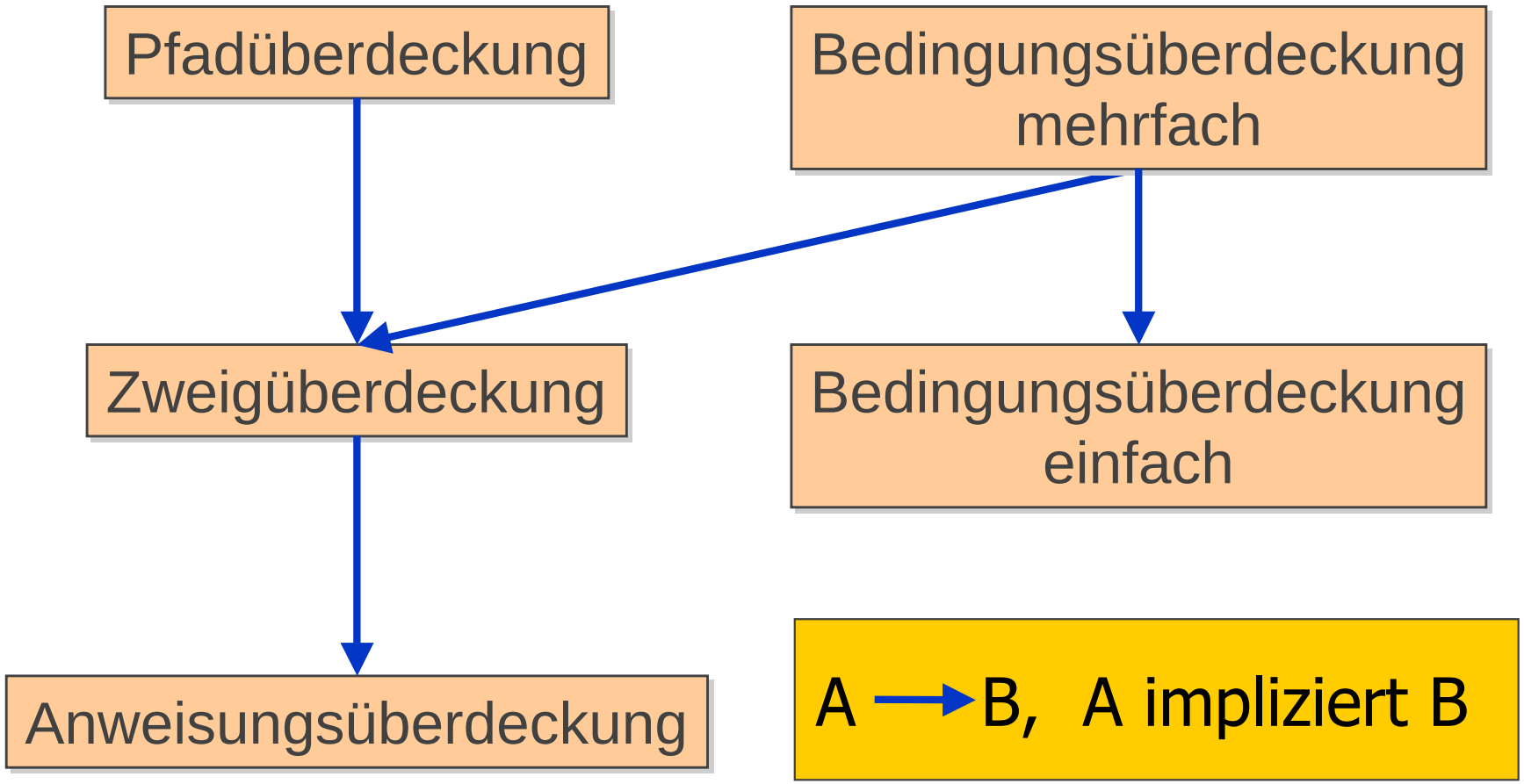
Pfadüberdeckung (C7)

alle Kombinationen von Zweigen gefordert

- Testfälle
  - <#>, <B, #>, <A, #>
    <A, B, B, B, B>
    <B, A, B, B, B>, ...
- Zweigüberdeckung enthalten
- Schleifen führen praktisch zu unendlichen vielen Testfällen
- Höchste Erfolgsaussichten, aber völlig unpraktikabel

Überdeckungstests

Übersicht...



Überdeckungstests

Vorteile

- Defizite in der Teststrategie aufdecken
- Nicht erreichbaren Code entdecken
- Anhaltspunkt für den Testfortschritt

Produkt wird gegen sich selbst geprüft

Nachteile

- 100% Abdeckung nicht praktikabel
- Codeabdeckung ist kein Kriterium für vollständiges Testen
- Fehlende Funktionalität wird nicht erkannt

Funktionales Testen

Es ist unzureichend, ein Programm lediglich gegen sich selbst zu testen

- => Testfälle aus der Programmspezifikation ableiten
- Programmstruktur wird nicht betrachtet

Ziel

- Möglichst umfassende, aber redundanzarme Prüfung der spezifizierten Funktionalität
- Überprüfung aller Programmfunktionen (Funktionsüberdeckung)

Funktionales Testen

- Hauptschwierigkeiten
  - » Ableitung der geeigneten Testfälle
  - » Vollständiger Funktionstest ist im allgemeinen nicht durchführbar
- Ziel der Testplanung
  - » Testfälle so auswählen, daß die Wahrscheinlichkeit groß ist, Fehler zu finden
- Testfallbestimmung:
  - ➜ Funktionale Äquivalenzklassenbildung
  - ➜ Grenzwertanalyse

Äquivalenzklassenbildung

- Motivation: Die Anzahl von Testfällen wird sinnvoll eingeschränkt indem die Testdaten in Äquivalenz-klassen zerlegt werden
- Annahme: Für jeden Repräsentaten aus einer Äquivalenzklasse reagiert das Programm auf die gleiche Weise
- Beispiele

Annahme: Jeder Fall wird gleich behandelt

» Klassen:	Vokal,	Konsonant,	kein Buchstabe
» Repräs.:	E	T	%
» Klassen:	$x<0$,	$0 \leq x \leq 9$,	$x>9$
» Repräs.:	-5	5	20

Grenzwertanalyse

- Motivation: Fehler treten typischerweise bei Extremwerten bzw. an den „Rändern“ von Äquivalenzklassen auf
- Annahme: Die „extremen“ Repräsentaten sind nicht nur ebenso geeignet wie „normale“, sondern darüber hinaus besonders wirksam
- Beispiele

Annahme: Jeder Fall wird gesondert behandelt

» Klassen:	Vokal,	Konsonant,	kein Buchstabe
» Repräs.:	A, I,..., U	B, Z	´\0´, @, [, ´\0377´
» Klassen:	$x<0$,	$0 \leq x \leq 9$,	$x>9$
» Repräs.:	-1	0,9	10

Testklassifizierung

Stärken und Schwächen

- Strukturelles Testen
  - findet: Abbruchfehler, unerreichbare Zweige, Endlosschleifen, inkonsistente Bedingungen
    => *Prüfung gegen sich selbst*

- Funktionales Testen
  - findet: falsche Antworten
    => *Prüfung gegen Spezifikation*

Kombinierte Strategie

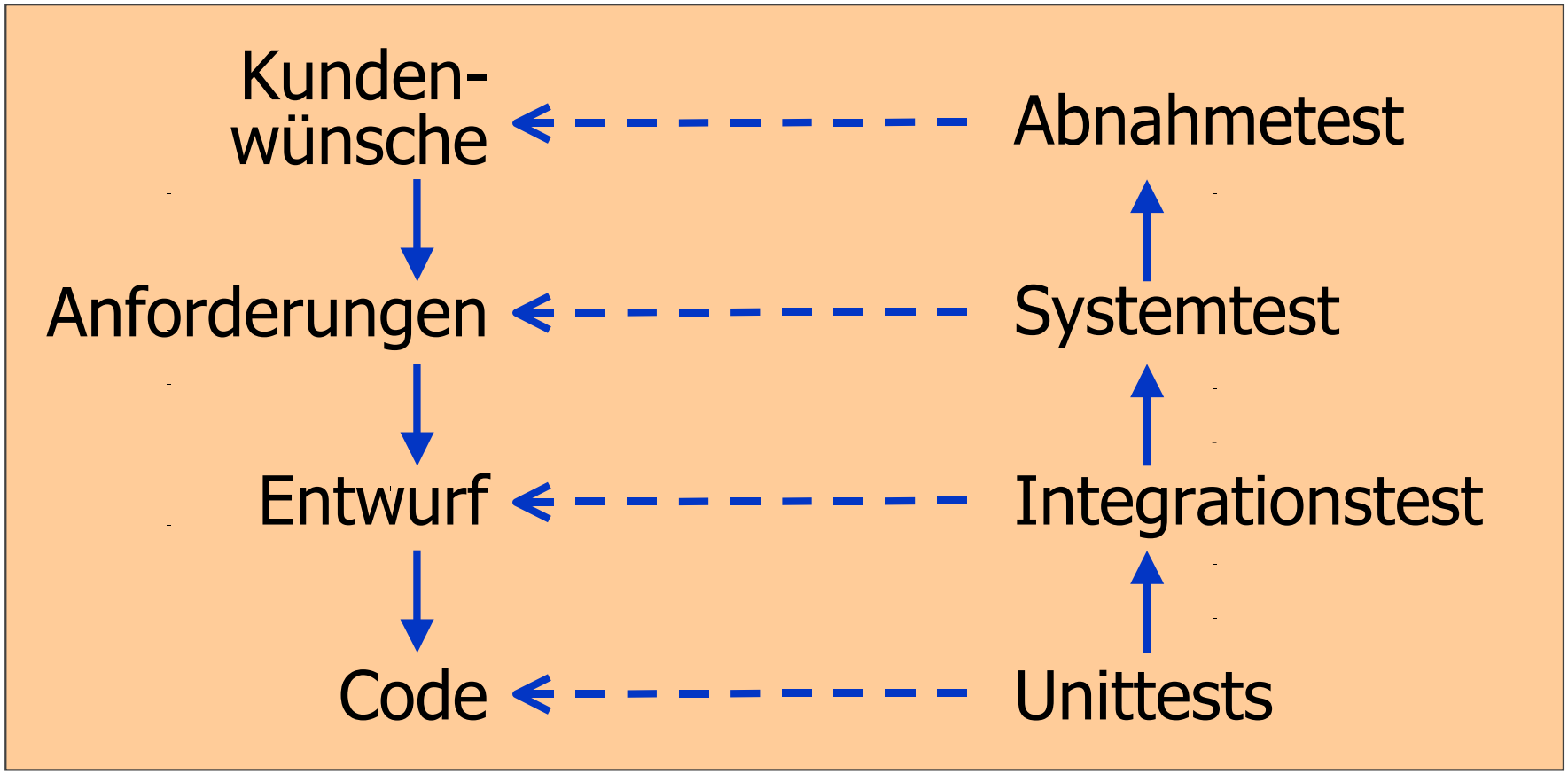
- Die Nachteile von strukurellen Verfahren...
  - » nicht implementierte Funktionen werden nicht aufgespürt
  - » das Ziel der Überdeckung produziert oft bzgl. der Funktionalität triviale Testfälle
- ... und die Nachteile von funktionalen Verfahren...
  - » Achillesfersen der Implementierung werden nicht herangezogen
  - » typischerweise höchstens 70% Zweigüberdeckung
- ...komplementieren sich gegenseitig

  ➜ kombinierter Ansatz

Kombinierte Strategie

- Zunächst Funktionstest...
  - » Anhand der Spezifikation Äquivalenzklassen bilden
  - » Grenzwerte ermitteln
  - » Testfälle erstellen
  - » => Funktionsumfang systematisch geprüft
- ...anschließend Strukturtest
  - » Oben erzielte Überdeckung analysieren
  - » Nicht benutzte Bedingungen / Pfade identifizieren
  - » Gewünschte Überdeckung erzielen
  - » => Sicherstellung der Robustheit & Validieren der Spezifikation

Teststadien



A → B A wird vor B ausgeführt

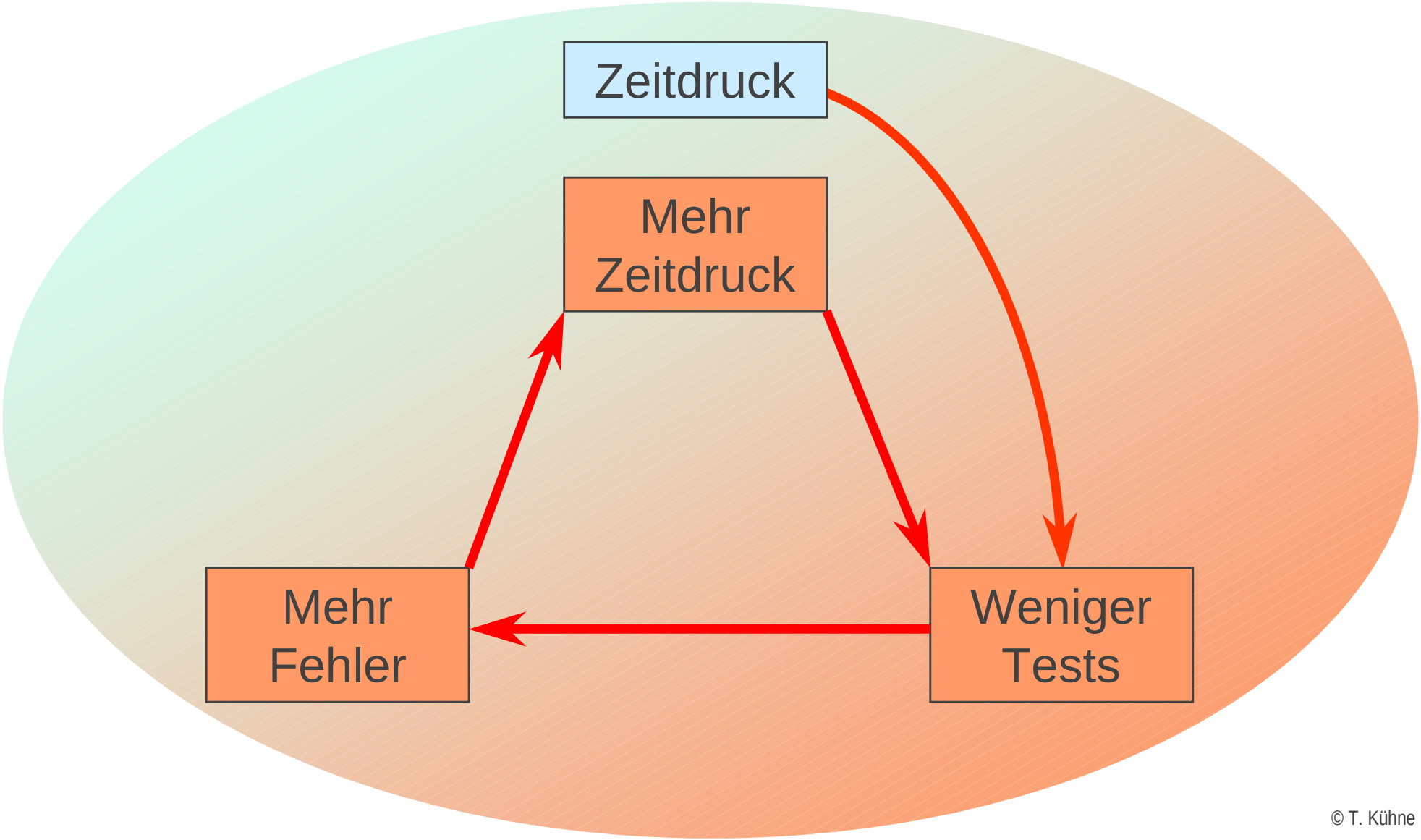
X -> Y X findet Fehler in Y

Teststadien

Sich anbietende Teststrategien

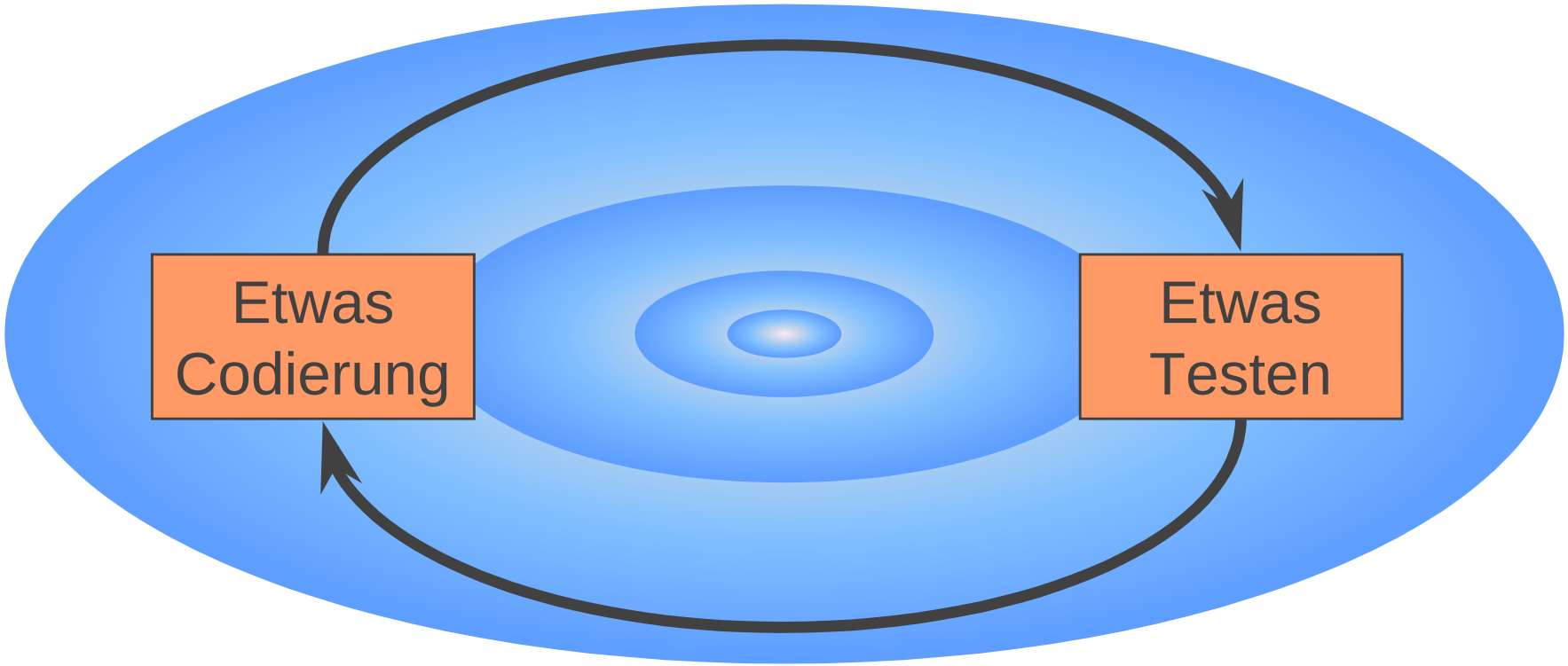
- Unit Test: Test von Codekomponenten,
  z.B. Code einer Methode, einer Klasse
  => strukturelles Testen
- Integrationstest: Test des Zusammenwirkens mehrerer Codekomponenten
  => strukturelles Testen
- Systemtest: Test des gesamten Systems gegen die Anforderungen
  => funktionales Testen
- Abnahmetest: Test des gesamten Systems mit echten Daten des Kunden

Ein Teufelskreis



Die Lösung

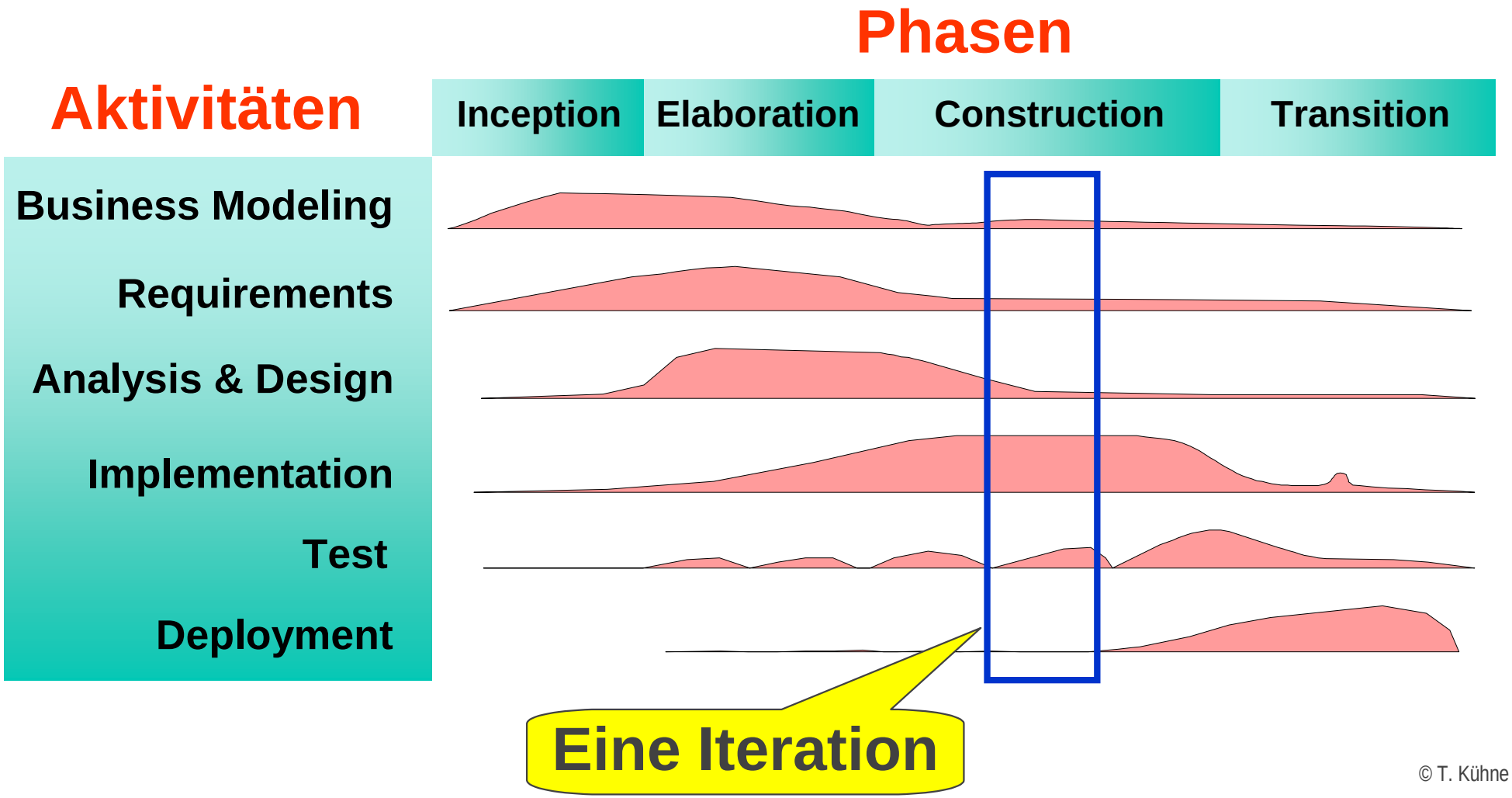
„Agile“ Prozeßmethoden



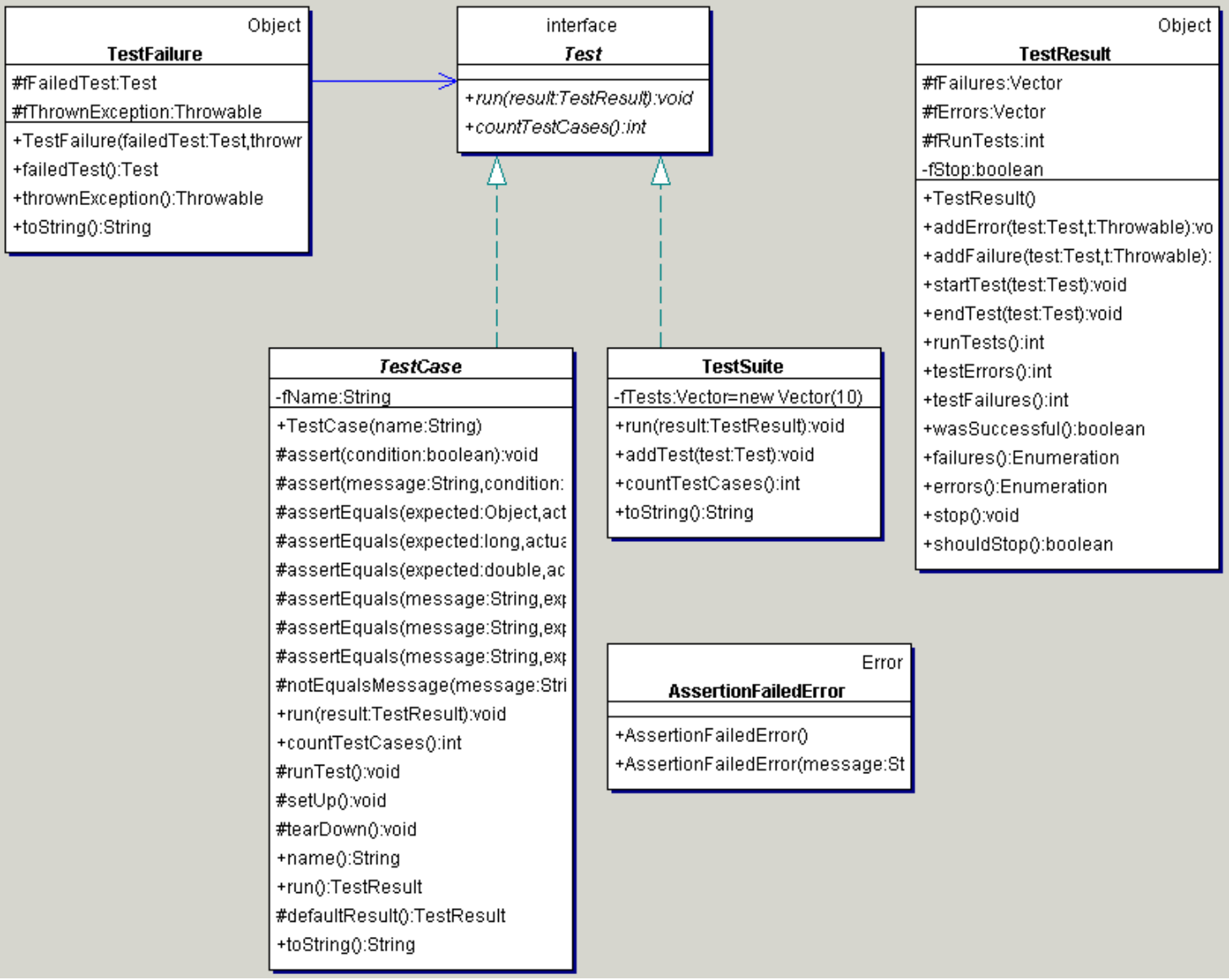
- Entwicklung und Testen als verschränkter Prozeß
- Testentwicklung vor Produktentwicklung!
- Werkzeugunterstützung benötigt...

Verschränkter Ansatz

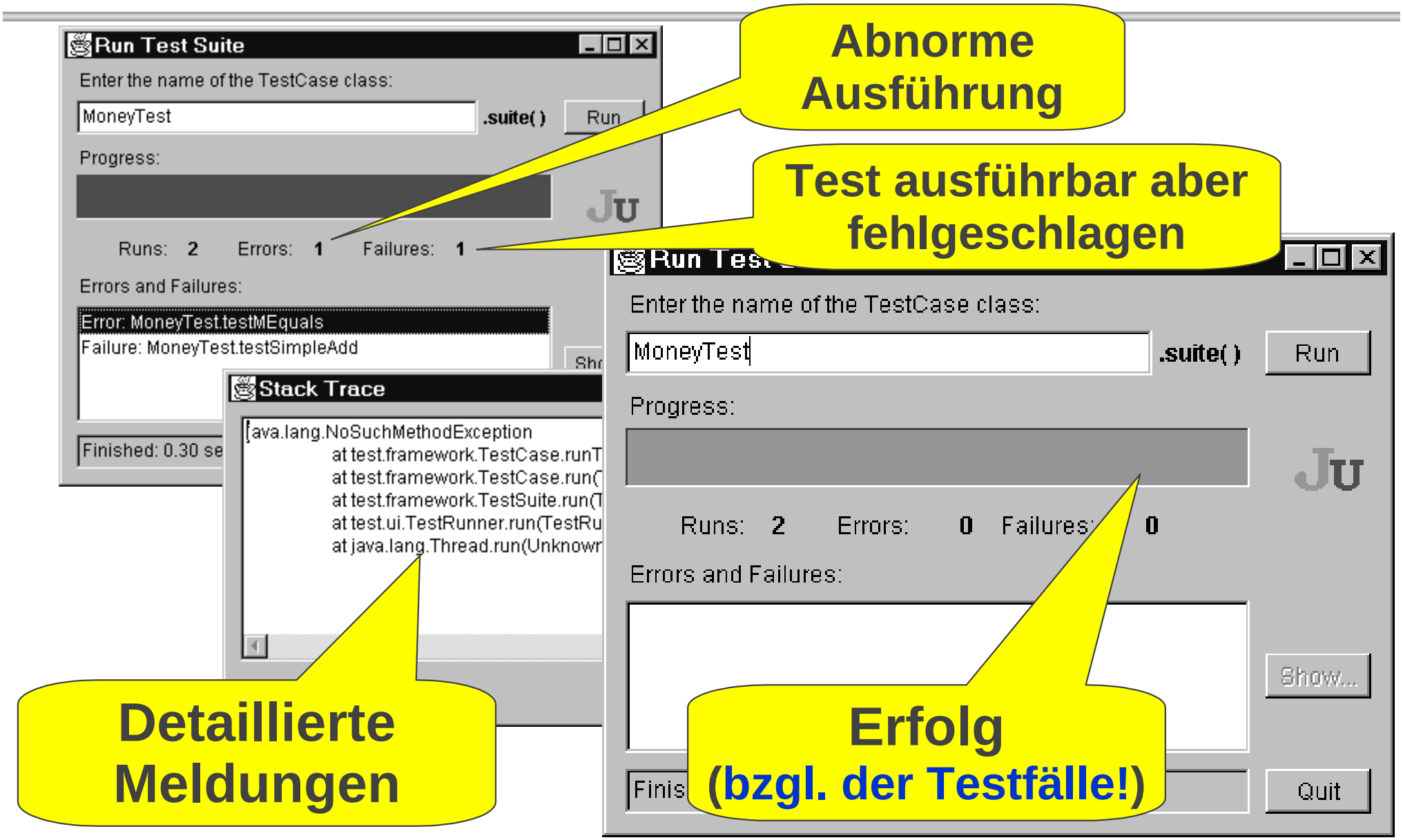
„Validiere früh, validiere oft“



JUnit Testframework



Benutzungsschnittstelle



Beispiel

```
public class MoneyTest extends TestCase {
     private Money f12CHF, f14CHF;

     protected void setUp() {
          f12CHF= new Money(12, "CHF");
          f14CHF= new Money(14,
     }

     public void testSimpleAdd() {
          Money expected= new Money(26, "CHF");
          Money result= f12CHF.add(f14CHF);
          assertTrue(expected.equals(result));
     }
...
```

Erzeugen von Testdaten

Ein Testfall
(automatische Erkennung anhand des "test"-Prefixes)

Forderung nach "true"

Beispiel

```
...
public void testEquals() {
     assertTrue(!f12CHF.equals(null));
     assertEquals(f12CHF, f12CHF);
     assertEquals(m12CHF, new Money(12, "CHF"));
     assertTrue(!f12CHF.equals(f14CHF));
}

public static Test suite() {
     TestSuite suite= new TestSuite();
     suite.addTest(new MoneyTest("testEquals"));
     suite.addTest(new MoneyTest("testSimpleAdd"));
     return suite;
}
```

Forderung nach Gleichheit

Eine Testsuite (optional)

Auch Suites sind als Testfälle zugelassen

Nochmal: Das Imageproblem

Negative Stimmen

- Testen sei nicht kreativ
  - » Produkt wird nicht mitgestaltet
  - » Testprozedur starr festgelegt

Positive Stimmen

- Testen ist eine anerkannte Herrausforderung
  - » Geschicktes Vorgehen notwendig, um ein System auf hohem fachlichen und technischen Niveau mit wirksamen Testfällen zu bestücken
  - » Dramatische Kosteneinsparung durch frühe Validierung

Testen: Zusammenfassung

- In der Praxis unverzichtbar
  - » je früher Fehler gefunden werden desto besser (kostengünstiger)
  - » Entwicklung ist deshalb typischerweise ein iterativer, rückgekoppelter, Prozeß
- Qualität nicht nur überprüfen sondern, wenn möglich, „hineinkonstruieren“
  - » systematische Verfahren
  - » => Software Engineering

Qualitätssicherung

„Kapitulationserklärung“ der Softwaretechnik

- Es gibt *vier* Faktoren bei der Software-entwicklung
- Der Kunde darf *drei* Faktoren priorisieren
- Der vierte Faktor ergibt sich aus dieser Wahl!
- **Qualität** darf nicht zum Stiefkind werden!