

Phase 3: Komponenten (Testen)

Echtzeitsysteme 2 - Vorlesung/Übung

Peter Ulbrich
Fabian Scheler
Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

<http://www4.cs.fau.de/~{scheler,ulbrich,wosch}>
{ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de



Übersicht

- Warum Testen?
- Testarten
- Wo kommen Testfälle her?
- Wie gut hat man getestet?
- Spezifikation von Testfällen
- Implementierung von Testfällen
- Performanztests



Warum Testen?

- verschiedene Möglichkeiten, Aussagen über Programme zu treffen:
 - **informelle Methoden**
 - Inspection, Review, Walkthrough, ...
 - **analytische Methoden**
 - Metriken, Coding Standards, ...
 - **formale Methoden**
 - Model Checking, ...
 - **dynamisches Testen**
 - Black-Box, White-Box, Regressionstests, ...



Warum Testen?

- verschiedene Möglichkeiten, Aussagen über Programme zu treffen:

- **informelle Methoden**

- Inspection, Review, Walkthrough, ...

- **analytische Methoden**

- Metriken, Coding Standards, ...

- **formale Methoden**

- Model Checking, ...

- **dynamisches Testen**

- Black-Box, White-Box, Regressionstests, ...

Aussagen über die
Qualität

Aussagen über das
Verhalten

- Verhalten eines Programms beurteilen

- Programm ausführen

- formale Methoden sind oft sehr mühsam, aufwendig, unmöglich, ...



Testarten

- Testfälle in den Phasen der SW-Entwicklung
- Black-Box vs. White-Box



Tests nach den Phasen der SW-Entwicklung

- **Modultest** (engl. *module testing*)
Diskrepanzen zwischen der Implementierung und der im Entwurf / in der Spezifikation festgelegten Funktion / Schnittstelle
- **Integrationstest** (engl. *integration testing*)
Probleme beim Zusammenspiel mehrerer Module
- **Systemtest** (engl. *system testing*)
Black-Box-Test: tatsächliche Leistung vs. geforderte Leistung hinsichtlich Vollständigkeit, Volumen, Stresstest und Leistung
- **Abnahmetest** (engl. *acceptance testing*)
Erfüllt das Produkt den Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich Korrektheit, Robustheit, Performanz und Dokumentation



Black-Box vs. White-Box

■ Black-Box Testing

- keine Kenntnis der internen Struktur
- Testfälle basieren auf Spezifikation, Programmcode wird ignoriert
- synonym: *functional, data-driven, i/o-driven*

→ **Frage:** Wurden alle Anforderungen implementiert?

■ White-Box Testing

- Kenntnis der internen Struktur zwingend erforderlich
- Testfälle basieren auf Programmcode, Spezifikation wird ignoriert
- synonym: *structured, glass-box, logic-driven, path-oriented*

→ **Frage:** Wurden nur Anforderungen implementiert?



Problem: Black-Box Testing

- Beispiel OSEK OS:
 - 4 Conformance Klassen: BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
 - 3 Scheduling Verfahren: NON, MIXED, FULL
 - 2 Statusklassen: STANDARD, EXTENDED
 - 24 Varianten für jeden Testfall
- kein Wissen über die interne Struktur vorhanden
 - Parameter könnten sich gegenseitig beeinflussen
 - alle Kombinationen müssen getestet werden:
kombinatorische Explosion
- Kombination mit White-Box Testing
 - Unabhängigkeit der Parameter kann evtl. sicher gestellt werden
 - Reduktion der Testfälle bzw. deren Varianten

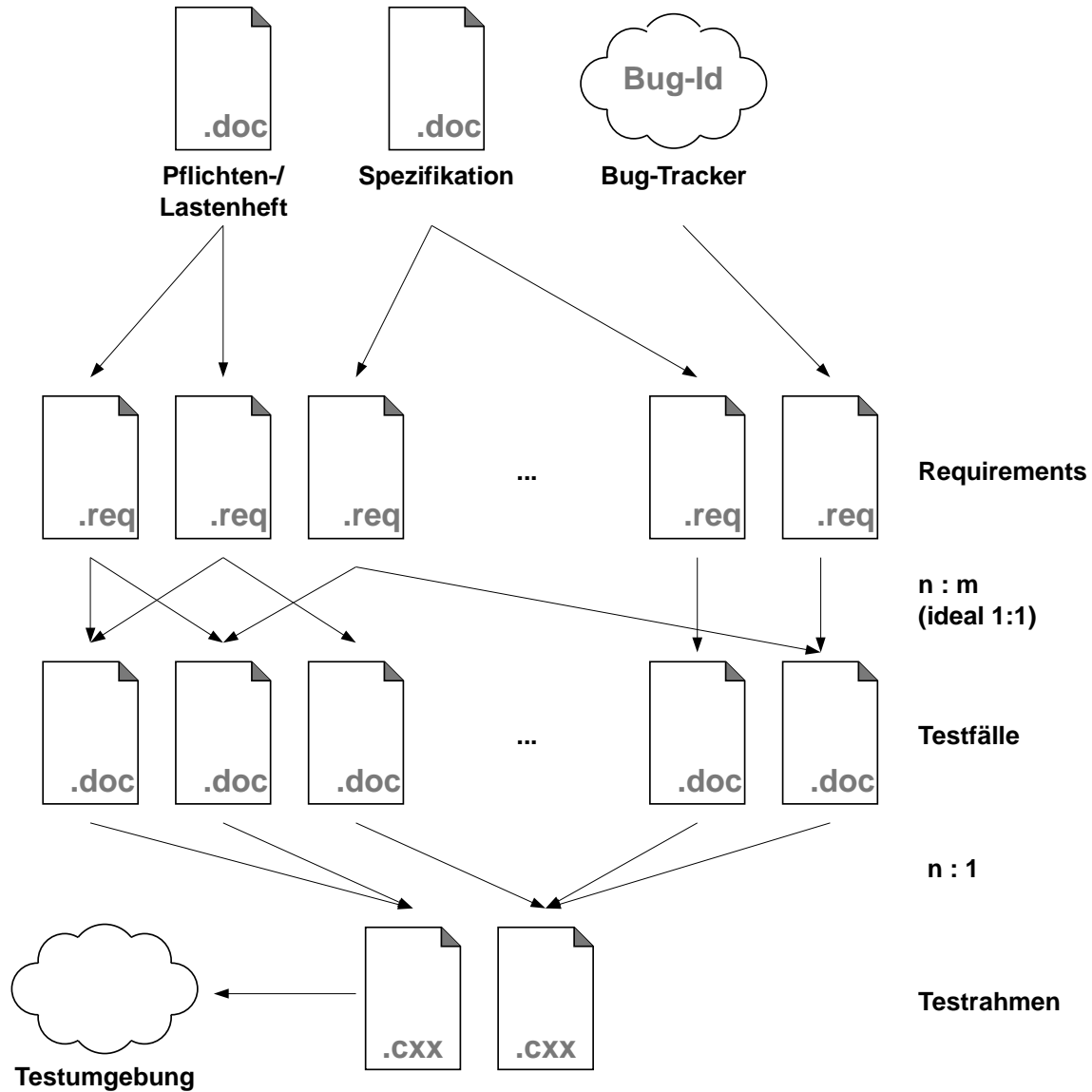


Wo kommen Testfälle her?

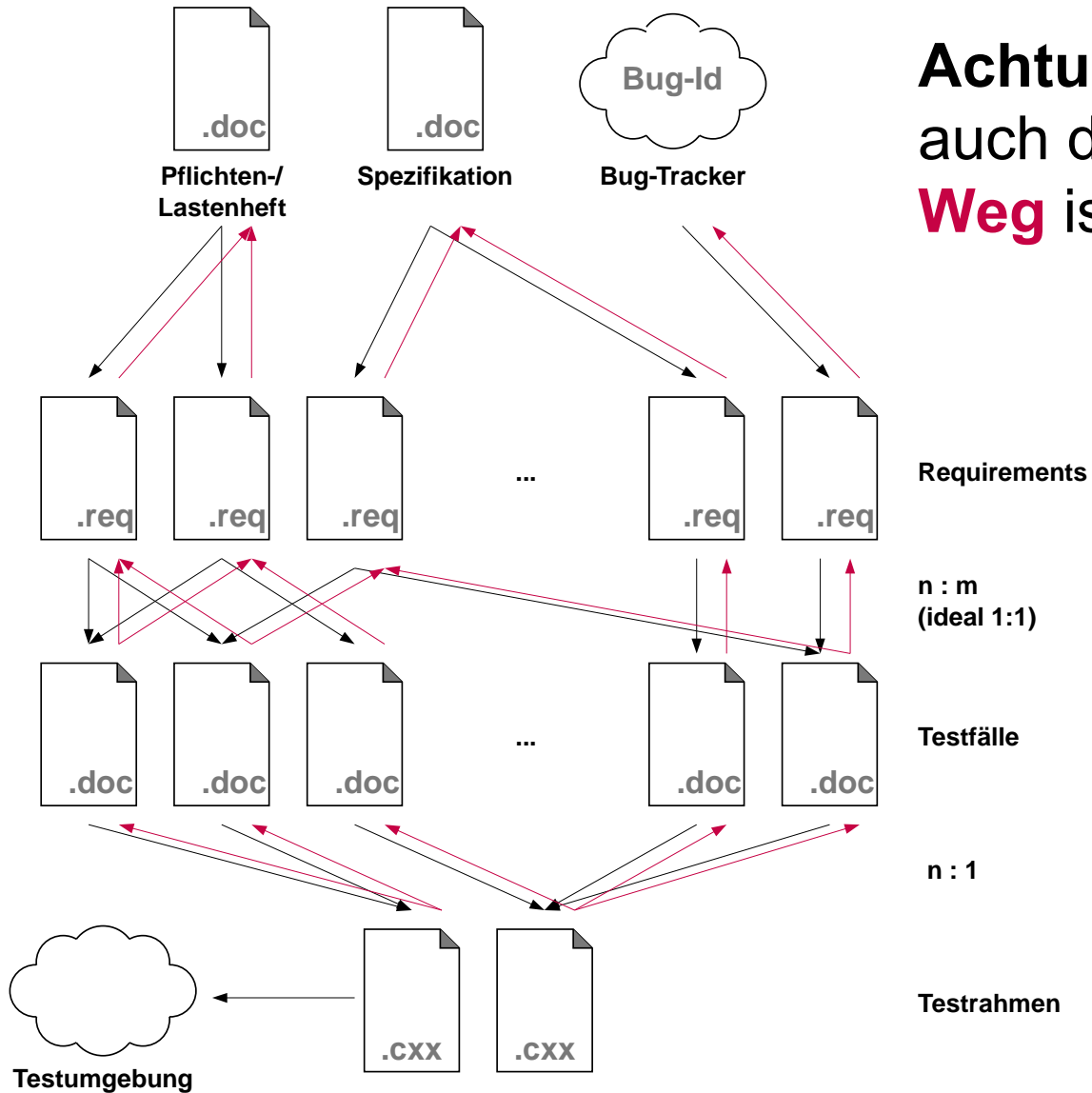
- Prozess
- Konstruktionshilfen für
 - Black-Box Testing
 - White-Box Testing



Prozess



Prozess



Achtung:
auch der **umgekehrte Weg** ist wichtig!!!



Konstruktionshilfen: Black-Box

- **Äquivalenzklassentest** (engl. *partition testing*)
Eingabewerte, die zu identischen Ergebnissen führen sollen, werden zu Äquivalenzklassen zusammengefasst, z.B. Klassifikationsbäume (Daimler-Chrysler).
Ableitung der Äquivalenzklassen aus der **Spezifikation**.
- **Grenzwerttest** (engl. *boundary value testing*)
Eingabewerte an den Grenzen der Äquivalenzklassen
- **Cause-Effect-Graphing**
Eingabedaten ausgehend von Ursache-Wirkung-Überlegungen
- **Error-Guessing**
Aus Erfahrung erwarteter Fehler, bezogen auf die Spezifikation
- **Zufallstest** (engl. *random testing*)
Zufällige Eingabewerte, die einer bestimmten Verteilung gehorchen, Simulation realer Eingabewerte



Konstruktionshilfen: White-Box

- **Äquivalenzklassentest** (engl. *partition testing*)
Eingabewerte, die zu identischen Ergebnissen führen sollen, werden zu Äquivalenzklassen zusammengefasst, z.B. Klassifikationsbäume (Daimler-Chrysler).
Ableitung der Äquivalenzklassen anhand des **Programmcodes**.
- **Grenzwerttest** (engl. *boundary value testing*)
Eingabewerte an den Grenzen der Äquivalenzklassen
- **Mehrfachbedingungstest** (engl. *multiple condition testing*)
Bei Verzweigungen, die mehrere Bedingungen enthalten, werden alle Bedingungen getestet.



Wie gut hat man getestet?

- **minimale Anzahl** von Testfällen
- Testabdeckung – **Coverage**
 - funktionale Coverage
 - Code Coverage
 - Datenfluss Coverage



Minimale Anzahl von Testfällen

■ McCabe's Cyclomatic Complexity

- Maß für die Anzahl der unabhängigen Pfade durch ein Programm
- untere Schranke für die Anzahl der Testfälle

■ Function-Point-Metrik

- 1) Zähle Funktionen und zu verarbeitende Daten
→ unjustierter Function-Point-Wert
 - 2) Bewertung bestimmter, nicht-funktionaler Systemeigenschaften
→ justierter Function-Point-Wert
 - 3) Bezug des justierten Function-Point-Wertes mit Referenzdaten
→ Aufwandsabschätzung
- McCabe: justierter Function-Point-Wert * 1,2
→ untere Schranke für die Anzahl der Testfälle



Funktionale Coverage

- wurden alle Anforderungen getestet
 - existiert zu jeder Anforderung mindestens ein Testfall
- Requirement Tracing!



Code Coverage (1)

- welcher Anteil des Programmcodes wurde getestet?
- keine Testfälle an sich, Maß für die Testabdeckung
- **Statement Coverage** $S_c = s / S$
 - **s** = Anzahl der erreichten Statements
 - **S** = Anzahl aller Statements
 - findet
 - nicht erreichbaren Code
 - nicht getesteten Code
 - vom Compiler nicht geprüften Code
- **Branch Coverage** $B_c = b / B$
 - **b** = Anzahl ausgewerteter Verzweigungsmöglichkeiten
 - **B** = Anzahl aller Verzweigungsmöglichkeiten
 - Structured Programming:
100% Branch Coverage → 100% Statement Coverage



Code Coverage (2)

■ Path Coverage $P_c = p / P$

- p = Anzahl getesteter Pfade durch ein Programm
- P = Anzahl aller Pfade durch ein Programm
- 100% Path Coverage impliziert 100% Branch Coverage
- kombinatorische Explosion: sehr aufwendig
- Beschränkung auf nicht-pathologische Pfade

■ Conditional Coverage $C_c = c / C$

- c = Anzahl ausgewerteter logischer Entscheidungen
- C = Anzahl aller logischen Entscheidungen
- Ähnlich, aber nicht gleich Path Coverage → Beispiel:

```
if(A() || B()) {  
    ...  
} else {  
    ...  
}
```

| A() | B() |
|-------|-------|
| false | false |
| true | false |
| false | true |
| true | true |

} 100%
} 50%

Path Coverage
Conditional Coverage



Datenfluss Coverage (1)

- jede Variable ist definiert durch
 - Definition (*Definition*)
 - Verwendung (*Use*)
- **DU-Path**

Pfad in der Programmausführung von der Definition einer Variablen bis zu ihrer Verwendung ohne erneute Definition derselben Variable



Datenfluss Coverage (2)

- **all-defs**
mindestens ein Pfad von jeder Definition zu mindestens einer Verwendung
- **all-p-uses / some-c-uses** > all-defs
mindestens ein Pfad von jeder Definition zu jeder erreichbaren Verwendung innerhalb von Bedingungen oder mindestens einer Berechnung, falls keine erreichbare Verwendung innerhalb einer Bedingung existiert
- **some-p-uses / all-c-uses** > all-defs
analog zu all-p-uses / some-c-uses
- **all-uses** > all-p-uses / some-c-uses | some-p-uses / all-c-uses
mindestens ein Pfad von jeder Definition zu jeder erreichbaren Verwendung
- **all-DU-paths**
alle DU-Pfade für jede Definition



Spezifikation von Testfällen

- die Spezifikation enthält
 - **Testfallbezeichner**
 - **Requirements**, die getestet werden
 - **Vorbedingungen**, **Eingabedaten**
 - **erwartetes Ergebnis**



Spezifikation von Testfällen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

```
TESTCASE SetRelAlarm2 Bezeichner
@SCHEDULE n,m,f
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
@STATUS s,e
@SCENARIO
Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten
Alarm, der bei seinem Ablauf einen Task aktiviert.
@RESULT
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
@REQUIREMENTS
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
TESTCASE END
```



Spezifikation von Testfällen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

Vorbedingungen /
Eingabewerte

```
TESTCASE SetRelAlarm2
```

```
@SCHEDULE n,m,f
```

```
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
```

```
@STATUS s,e
```

```
@SCENARIO
```

```
Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten  
Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.
```

```
@RESULT
```

```
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
```

```
@REQUIREMENTS
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
```

```
TESTCASE END
```



Spezifikation von Testfällen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

```
TESTCASE SetRelAlarm2
```

```
@SCHEDULE n,m,f
```

```
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
```

```
@STATUS s,e
```

```
@SCENARIO
```

Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.

```
@RESULT
```

```
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
```

erwartetes
Ergebnis

```
@REQUIREMENTS
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
```

```
TESTCASE END
```



Spezifikation von Testfällen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

```
TESTCASE SetRelAlarm2
@SCHEDULE n,m,f
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
@STATUS s,e
@SCENARIO
```

Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.

```
@RESULT
```

Der Aufruf liefert E_OS_STATE.

```
@REQUIREMENTS
```

```
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
```

```
TESTCASE END
```

geprüfte
Requirements



Implementierung von Testfällen

- Testrahmen
- Testumgebung



Testrahmen

- genau definierte Anwendung
- enthält Implementierung eines oder mehrerer Testfälle
- Ablauf wird durch die Testumgebung gesteuert



Testrahmen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

```
...
TASK (task1) {
    ...
    /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
    if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
        PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
    }
    if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
        Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for Alarm1!");
    }

    sequence[counter] = 'a';
    counter++;

    /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
    if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
        PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
    }
    ...
    TerminateTask();
}
...
```



Testrahmen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

```
...
TASK (task1) {
    ...
    /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
    if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
        PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
    }
    if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
        Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for Alarm1!");
    }

    sequence[counter] = 'a';
    counter++;

    /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
    if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
        PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
    }
    ...
    TerminateTask();
}
...
```

Testfallbezeichner



Testrahmen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

Testfallimplementierung

```
...
TASK (task1) {
    ...
    /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
    if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
        PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
    }
    if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
        Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for Alarm1!");
    }

    sequence[counter] = 'a';
    counter++;

    /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
    if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
        PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
    }
    ...
    TerminateTask();
}
...
```



Testrahmen

■ Beispiel ProOSEK Testfall:

Ablaufsteuerung

```
...
TASK (task1) {
    ...
    /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
    if((status = GetAlarmBase(alarm1, &base)) != E_OK) {
        PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!", status);
    }
    if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
        Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for Alarm1!");
    }

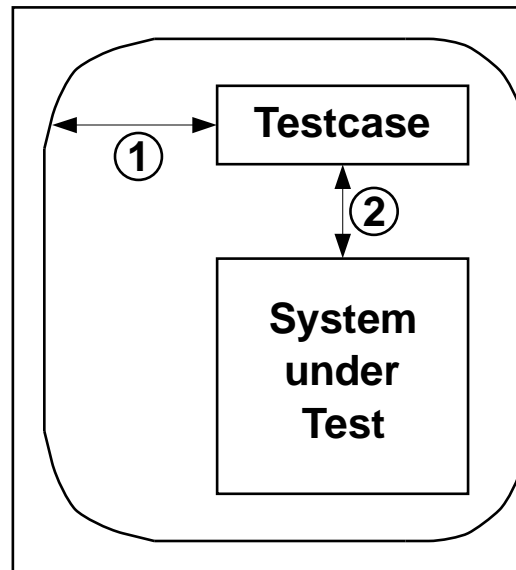
    sequence[counter] = 'a';
    counter++;

    /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
    if((status = SetAbsAlarm(alarm1, 255, 0)) != E_OK) {
        PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!", status);
    }
    ...
    TerminateTask();
}
...
```



Testumgebung

- Bereitstellung einer Test-API
 - Kontrolle des Testablaufs
- **Ausführung** der Testfälle
- **Auswertung** und **Protokollierung** der Ergebnisse

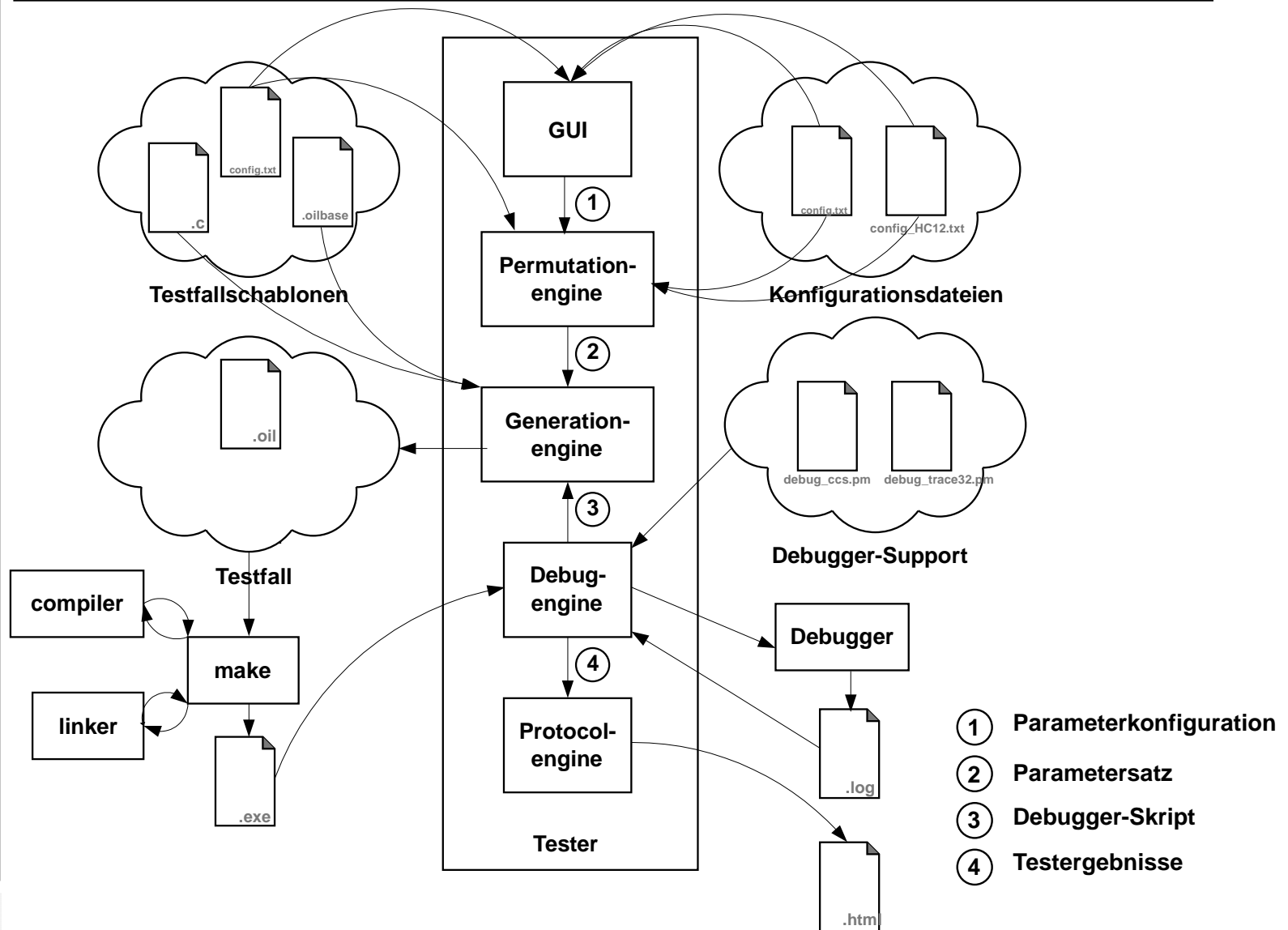


① Test-API

② SUT-API



Testumgebung – ProOSEK Testsuite



Testumgebung – ProOSEK Testsuite

- Umfang:
 - > 40 Perl-Module
 - > 15 allgemeine, architektur- und testfallspezifische Konfigurationsdateien
 - > 20 architektur-spezifische Header- und Implementierungsdateien
 - sehr viele Testfälle, allgemein und architektur-spezifisch
 - > 20000 LOC Perl + ASCII
- Vorteil
 - hohes Maß an Generizität, leicht erweiterbar
- Problem
 - hohes Maß an Komplexität
 - wer testet die TestSuite?



Performanztests

- Speicherbedarf
- Laufzeit



Speicherbedarf

- Wie viel Speicher wird benötigt?
 - Programmcode
 - Stack
 - Daten (lesbar / schreibbar)
- statische Auswertung des übersetzten Programms bzw. der Map-Datei
 - Speicherbedarf des Programmcodes
 - Speicherbedarf des Stacks (Worst Case, Average Case, ...)
 - Speicherbedarf der Daten



Laufzeit (1)

- **statisch: *instruction counting***
 - Laufzeiten der Instruktionen sind bekannt
→ Gesamtlaufzeit kann berechnet werden
 - enorm schwierig, viele Faktoren müssen beachtet werden, um brauchbare Ergebnisse zu erzielen
 - Pipeline des Prozessors
 - Speicherhierarchie
 - Out-of-Order-Execution
 - Branch Prediction
 - Eingabedaten
 - ...



Laufzeit (2)

■ dynamisch: Messung

- Primitive: `start()`, `stop()`, `get_time()`
- Messungen immer mehrmals durchführen
 - Ergebnisse mitteln
 - Median
 - Standardabweichung, Varianz

■ Achtung

- Kontextwechsel
- geschachtelte Messungen
- Unterbrechungen
- Kalibrierung
- misst man auch wirklich die WCET?



Zusammenfassung

- **Warum testet man**
 - um das Verhalten von Software zu erproben
- **Welche Testarten gibt es?**
 - Modul-, Integrations-, System-, Abnahmetests
 - Black-Box, White-Box Tests
- **Wo kommen Testfälle her?**
 - Requirement Engineering
 - Konstruktionshilfen
- **Hat man ausreichend getestet?**
 - minimale Anzahl von Testfällen
 - Coverage
- **Testfallspezifikation**
- **Testfallimplementierung**
 - Testrahmen, Testumgebung



Ergebnis

- Einfach Testumgebung: `make <testcase>`
 - führt Testfall aus
 - protokolliert Ergebnisse
- funktionale Tests
 - funktionaler Test von mindestens 50% der Module
 - Spezifikation & Implementierung
 - keine Coverage-Messungen
- Performanztests
 - keine Messung des Speicherbedarfs
 - Messung aller relevanten WCETs mit AbsInt aiT
 - Vernachlässigung des Betriebssystems

