

# Informatik I: Einführung in die Programmierung

## 10. Programmentwicklung: Testen und Debuggen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



Prof. Dr. Peter Thiemann

9. Dezember 2020

# 1 Programmentwicklung



- Fehlertypen
- Syntaktische Fehler
- Laufzeitfehler
- Logische Fehler

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler  
Laufzeitfehler  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# Wie kommen Fehler ins Programm?



- Beim Schreiben von Programmen wird nicht immer alles auf Anhieb richtig gemacht.
- Besonders in einfach erscheinenden Fällen: Schreibfehler, zu kurz gedacht, falsche Annahmen, ...
- “Rund **50%** des Programmieraufwands wird für die Identifikation und Beseitigung von Fehlern aufgewendet.”
- “The first 90 percent of the code accounts for the first 90 percent of the development time. The remaining 10 percent of the code accounts for the other 90 percent of the development time.” — Tom Cargill, Bell Labs
- Auch “fertige” Software hat noch **1–18 Fehler pro 1000 Zeilen Code!**
- Wichtig: **Werkzeuge** für die Fehlersuche und für die Qualitätskontrolle durch automatisches Testen

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler  
Laufzeitfehler  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Wir wollen ein Programm entwickeln, das den Wert eines arithmetischen Ausdrucks, repräsentiert durch einen Ausdrucksbaum, über den ganzen Zahlen errechnet.
- Zum Beispiel: `Node ('*', Node ('+', leaf(2), leaf(5)), leaf(6))`  $\mapsto$  42
- Methode: Traversierung des Ausdrucksbaums.
- Annahme: der Baum ist nicht leer

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler  
Laufzeitfehler  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Evaluating an Expression Tree

```
def exprval(tree)
  if tree.mark == '+':
    return exprval(tree.left)+exprval(tree.right)
  elif tree.mark == '-':
    return exprval(tree.left)-exprval(tree.right)
  elif tree.mark == '*':
    return exprval(tree.left)*exprval(tree.right)
  elif tree.mark == '/':
    return exprval(tree.left)/exprval(tree.right))
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler  
Laufzeitfehler  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Syntaxfehler

Das Programm entspricht nicht der formalen Grammatik. Solche Fehler bemerkt der Python-Interpreter vor der Ausführung. Sie sind meist einfach zu finden und zu reparieren.

## Laufzeitfehler

Während der Ausführung passiert nichts (das Programm hängt) oder es gibt eine Fehlermeldung (**Exception**).

## Logische Fehler

Alles „läuft“, aber die Ausgaben und Aktionen des Programms sind anders als erwartet. Das sind die gefährlichsten Fehler. Beispiel: *Mars-Climate-Orbiter*.

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische

Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:

Fehlerfreies

Programmieren?

Zusammen-

fassung

- Der Interpreter/IDE gibt Zeile und Punkt an, an dem der Fehler festgestellt wurde.
- Das tatsächliche Problem kann aber mehrere Zeilen vorher liegen!
- Typische mögliche Fehler:
  - Schlüsselwort als Variablennamen benutzt
  - Es fehlt ein ':' für ein mehrzeiliges Statement (`while`, `if`, `for`, `def`, usw.)
  - Nicht abgeschlossener Multi-Zeilen-String (drei öffnende Anführungszeichen)
  - Unbalancierte Klammern
  - `=` statt `==` in Booleschen Ausdrücken
  - Die Einrückung!
- Oft helfen Editoren mit Syntaxunterstützung.
- Wenn nichts anderes mehr hilft: Sukzessives Auskommentieren

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Unser Programm enthält 2 Syntaxfehler.
- Das syntaktisch korrekte Programm:

## Evaluating an Expression tree

```
def expreval(tree):  
    if tree.mark == '+':  
        return expreval(tree.left)+expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '-':  
        return expreval(tree.left)-expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '*':  
        return expreval(tree.left)*expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '/':  
        return expreval(tree.left)/expreval(tree.right)
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# Laufzeitfehler: Das Programm „hängt“



- Das Programm wartet auf eine Eingabe (→ kein Fehler, Eingabe machen).
  - Es wartet auf Daten aus anderer Quelle (ggfs. Timeout vorsehen).
  - Es befindet sich in einer **Endlosschleife**.
    - **Beispiel:** in einer `while`-Schleife wird die Schleifenvariable nicht geändert!
- **Abbrechen** mit Ctrl-C oder *Restart Shell* in IDLE.
- Dann Fehler einkreisen und identifizieren (siehe **Debugging**)

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler

**Laufzeitfehler**  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Typische Fehler:
  - `NameError`: Benutzung einer nicht initialisierten Variablen.
  - `TypeError`: Anderer Typ erwartet als dann tatsächlich benutzt wird.
  - `IndexError`: Zugriff auf Sequenz über einen Index, der zu klein oder zu groß ist.
  - `KeyError`: Ähnlich wie `IndexError`, aber für *Dictionaries* (lernen wir noch kennen).
  - `AttributeError`: Ein nicht existentes Attribut wurde versucht anzusprechen.
    - **Beispiel**: Zugriff auf Attribut `rigt`
- Es gibt einen **Stack-Backtrace** und eine genaue Angabe der Stelle.

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Der Fehler tritt bei einer bestimmten Eingabe auf.
- Suche **kleinere Eingabe**, bei der Fehler ebenfalls auftritt.
  - **Beispiel:** Die Eingabe ist ein Baum
  - Tritt der Fehler bereits bei einem Teilbaum auf?
  - Liegt es an der Markierung der Wurzel?
  - Schneide Teilbäume (auf sinnvolle Art und Weise) ab um kleinere Eingaben zu erhalten.
- Erstelle einen **Testfall** aus der kleinen Eingabe und der erwarteten Ausgabe (s.u.).

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Führe den so erstellten Testfall aus.
  - Das Ergebnis sollte fehlerhaft, d.h. anders als die erwartete Ausgabe, sein.
  - Gehe von der Fehlerstelle schrittweise **rückwärts** bis alles (Inhalte von Variablen und Attributen) wieder richtig erscheint.
- ⇒ Der Fehler wurde durch die letzte Anweisung manifestiert.
- Enthält die Anweisung selbst einen Fehler?
  - Falls nicht: Warum wurde sie ausgeführt? Das kann an umschließenden (fehlerhaften) bedingten Anweisungen liegen!

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Start mit dem Beispielausdruck

```
>>> e = Node('*', Node('+', leaf(2), leaf(5)), leaf(6))
```

```
>>> print(expreval(e))
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

```
  File "<stdin>", line 7, in expreval
```

```
  File "<stdin>", line 3, in expreval
```

```
NameError: name 'exprval' is not defined
```

## Verkleinern! Probiere linken Teilbaum

```
>>> print(expreval(e.left))
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
  File "<stdin>", line 1, in <module>
```

```
  File "<stdin>", line 3, in expreval
```

```
NameError: name 'exprval' is not defined
```

Programm-

entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische

Fehler

**Laufzeitfehler**

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:

Fehlerfreies

Programmieren?

Zusammen-

fassung

## Weiter verkleinern! Probiere linken Teilbaum vom linken Teilbaum

```
>>> print(e.left.left)
Node(2, None, None)
>>> print(expreval(e.left.left))
None
```

- Hoppla, **ein anderer Fehler!**
- Offenbar wird der Fall, dass der Baum ein Blatt ist, nicht korrekt behandelt!
- Abhilfe: Einfügen von `return tree.mark` am Ende.

## Nach der Korrektur

```
>>> print(e.left.left)
Node(2, None, None)
>>> print(expreval(e.left.left))
2
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler

**Laufzeitfehler**  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Zurück zum linken Teilbaum

```
>>> print(expreval(e.left))
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File "<stdin>", line 3, in expreval
NameError: name 'exprval' is not defined
```

- Kleinstes Beispiel, das den Fehler verursacht.
- `e.left` beginnt mit '+', also muss dort der Fehler sein.
- Korrigiere dort `exprval` nach `expreval`

## Nach der Korrektur

```
>>> print(e.left)
Node('+', Node(2, None, None), Node(5, None, None))
>>> print(expreval(e.left))
7
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler

**Laufzeitfehler**  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Zurück zum kompletten Beispiel

```
>>> print (expreval (e))
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File "<stdin>", line 7, in expreval
AttributeError: 'Node' object has no attribute 'rigt'
```

- Keiner der Teilbäume liefert noch einen Fehler
- Problem muss an der Wurzel beim Operator '\*' liegen
- Korrigiere dort `rigt` nach `right`

## Nach der Korrektur

```
>>> print (expreval (e))
42
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen  
Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler  
Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# Das korrigierte Programm



- Unser Programm enthält 3 Fehler, die zu **Exceptions** führen.
- Das korrekte Programm:

## Evaluating an Expression Tree

```
def expreval(tree):  
    if tree.mark == '+':  
        return expreval(tree.left)+expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '-':  
        return expreval(tree.left)-expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '*':  
        return expreval(tree.left)*expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '/':  
        return expreval(tree.left)/expreval(tree.right)  
    else:  
        return tree.mark
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Ein logischer Fehler liegt vor, wenn das Verhalten/die Ausgabe des Programms von der **Erwartung** abweicht, die der Programmier hat.
  - **Beispiele:** Statt Addition wird eine Multiplikation durchgeführt, metrische und imperiale Messwerte werden ohne Konversion verglichen.
- Tatsächlich liegt hier erst dann ein Fehler vor, wenn das erwartete Verhalten **(formal) spezifiziert** war. Aber auch informelle Vorgaben können natürlich verletzt werden.
- **Best practice:** Beschreibe das erwartete Verhalten durch **Beispiele** / Testfälle.
- Unvollständig, aber besser als nichts!

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische

Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:

Fehlerfreies

Programmieren?

Zusammen-

fassung

# Logische Fehler in unserem Programm



- Gibt es logische Fehler in unserem Programm?
- Forderung: ganzzahlige Arithmetik, aber Operator „/“ liefert Gleitkommazahl!

## Evaluating an Expression Tree

```
def expreval(tree):  
    if tree.mark == '+':  
        return expreval(tree.left)+expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '-':  
        return expreval(tree.left)-expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '*':  
        return expreval(tree.left)*expreval(tree.right)  
    elif tree.mark == '/':  
        return expreval(tree.left)//expreval(tree.right)  
    else:  
        return tree.mark
```

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Welche Beispiele hätten wir gebraucht?

- Ein Beispiel für einen konstanten Ausdruck.
- Je ein Beispiel pro Operator.
- Für die Division ein Beispiel, wo ganzzahlig dividiert werden muss.  
Z.B. Node ('/', leaf(5), leaf(3))

## Diese Beispiele hätten alle Fehler identifiziert!

- Für jeden booleschen Ausdruck im Programm gibt es je einen Test, der den Ausdruck wahr bzw. falsch macht.
- Für jede Anweisung im Programm gibt es einen Test, der zu ihrer Ausführung führt.
- (Kann eine solche Menge von Tests automatisch bestimmt werden?)

Programm-  
entwicklung

Fehlertypen

Syntaktische  
Fehler

Laufzeitfehler

Logische Fehler

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# 2 Debuggen



- Print-Anweisungen
- Debugger
- Debugging-Techniken

Programm-  
entwicklung

**Debuggen**

Print-Anweisungen

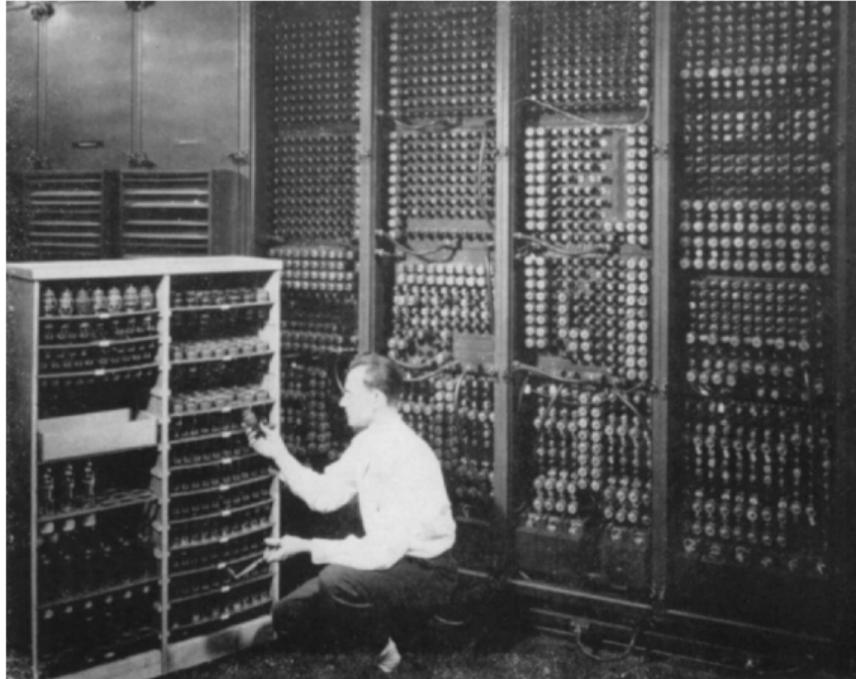
Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

Programm-  
entwicklung

**Debuggen**

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

9/9

0800 Anctan started  
 1000 " stopped - anctan ✓ { 1.2700 9.037 847 025  
 1300 (033) MP-MC ~~4.5216000~~ 9.037 846 995 correct  
 (033) PRO 2 2.130476415 ~~2.130476415~~ 4.615925059 (-4)  
 correct 2.130476415

Relays 6-2 in 033 failed special speed test  
 in relay 11,000 test.

Relays changed

1100 Started Cosine Tape (Sine check)  
 1525 Started Multi-Adder Test.

1545  Relay #70 Panel F  
 (moth) in relay.

First actual case of bug being found.  
 1650 Anctan started.  
 1700 closed down.

Relay  
2145  
Relay 3370

 Programm-  
entwicklung

**Debuggen**

 Print-Anweisungen  
 Debugger  
 Debugging-  
Techniken

Tests

 Ausblick:  
 Fehlerfreies  
 Programmie-  
ren?

 Zusammen-  
fassung

# Debuggen = Käfer jagen und töten



- In den frühen Computern haben Motten/Fliegen/Käfer (engl. *Bug*) durch Kurzschlüsse für Fehlfunktionen gesorgt.
- Diese Käfer (oder andere Ursachen für Fehlfunktionen) zu finden heißt *debuggen*, im Deutschen manchmal *entwanzen*.
- Hat viel von **Detektivarbeit** (wer ist der Schuldige?)
- Aber nicht mystifizieren; vieles ist heute systematisiert und automatisierbar.
- Die Verbesserungen heißen **Bugfixes** – und sollten das Problem dann lösen!

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

*Most coders think debugging software is about fixing a mistake, but that is bullshit. Debugging is actually all about finding the bug, **about understanding why the bug was there to begin with, about knowing that its existence was no accident.** It came to you to deliver a message, like an unconscious bubble floating to the surface, popping with a revelation you've secretly known all along.*

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Das Wichtigste

Versuche minimale Eingaben zu finden, die den Fehler hervorrufen!

## Nachvollziehen der Berechnung bis zum Fehler

- 1 Kleine Beispiele von Hand oder mit `pythontutor`
- 2 Modifikation des Programms zur Ausgabe von bestimmten Variablenwerten an bestimmten Stellen (Einfügen von `print`-Anweisungen)
- 3 Einsatz von Debugging-Werkzeugen:  
**Post-Mortem-Analyse**-Tools und **Debugger**

Programm-  
entwicklung

**Debuggen**

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Beobachten von internen Werten (vgl. bei Hardware mit einem Oszilloskop)
- In vielen Sprachen/Systemen können `print`-Anweisungen eingefügt werden.
- Einfachste Möglichkeit das Verhalten eines Programmes zu beobachten.
  - **Achtung:** Zusätzliche Ausgaben können das Verhalten (speziell das Zeitverhalten) signifikant ändern!
- Eine generalisierte Form ist das *Logging*, bei dem `prints` generell im Code integriert sind und mit Schaltern an- und abgestellt werden können.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## 1 *Post-Mortem-Tools*: Analyse des Programmzustands nach einem Fehler

- Stack Backtrace wie in Python
- Früher: Speicherbelegung (Hex-Dump)
- Heute: Variablenbelegung (global und lokal in der Kellertabelle)

## 2 *Interaktive Debugger*

- Setzen von Breakpoints (u.U. konditional)
- Inspektion des Programmzustands (Variablenbelegung)
- Ändern des Zustands
- Einzelschrittausführung (Stepping / Tracing):

Step in: Mache einen Schritt, ggfs. in eine Funktion hinein

Step over: Mache einen Schritt, führe dabei ggfs. eine Funktion aus

Step out: Beende den aktuellen Funktionsaufruf

Go/Continue: Starte Ausführung bzw. setze fort

Quit: Beendet alles.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- 1 pdb ist ein Konsolen-orientierter Debugger, der auch Post-Mortem-Analyse anbietet (siehe <http://docs.python.org/3.3/library/pdb.html>).
- 2 IDLE enthält einen weniger mächtigen, aber einfach zu bedienenden GUI-Debugger. Im Debug-Menü:
  - *Goto File/Line*: Wenn der Cursor in einer Traceback-Zeile steht, springt der Editor zur angegebenen Stelle.
  - *Stack Viewer*: Erlaubt eine Post-Mortem-Analyse des letzten durch eine Exception beendeten Programmlaufs.
  - *Debugger*: Startet den Debug-Modus:
    - Es erscheint ein Fenster, in dem der Aufruf-Stapel, globale und lokale Variablen angezeigt werden. Ggfs. wird auch der aktuelle Quellcode angezeigt.
    - Zum Setzen von Breakpoints, muss im Quellcode eine Zeile rechts-geklickt werden (Mac: Ctrl-Klick).
    - Stepping mit den Go/Step usw. Knöpfen.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung



- 1 Formuliere eine Hypothese, warum der Fehler auftritt, an welcher Stelle des Programms sich der Fehler manifestiert, welche Variablen betroffen sind!
- 2 **Instrumentiere** die Stelle, sodass die betroffenen Variablen inspiziert werden können (Breakpoints oder `print`-Anweisungen)
- 3 Versuche zu verstehen, wie es zu dem Fehler kommt: Was ist die tiefere Ursache?
- 4 Formuliere einen **Bugfix** erst dann, wenn das **Problem verstanden** ist. Einfache Lösungen sind oft nicht hilfreich.
- 5 Teste nach dem Bugfix, ob das Problem tatsächlich beseitigt wurde.
- 6 Weitere Tests laufen lassen (s.u.).
- 7 Wenn es nicht weiter geht: frische Luft und eine Tasse Kaffee hilft!

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen

Debugger

Debugging-  
Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# 3 Automatische Tests



- Testgetriebene Entwicklung
- Unittests
- pytest

Programm-  
entwicklung

Debuggen

**Tests**

Testgetriebene  
Entwicklung  
Unittests  
pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Testen eines Programms heißt, **fehlerhaftes Verhalten zu provozieren**.
- Ein **Testfall** besteht aus einer Eingabe und dem erwarteten Ergebnis. Die Testfälle bilden eine **Testsuite**.
- **Schon vor dem Programmieren** systematisch Testfälle erstellen:
  - Basisfälle und Grenzfälle (z.B. erstes bzw letztes Element in einer Datenstruktur)
  - Jede Anweisung im Code soll durch einen Testfall abgedeckt (d.h. ausgeführt) werden
  - Versuche Eingaben zu finden, die die Bedingungen im Programm unabhängig voneinander wahr bzw. falsch machen (soweit möglich).
- **Beim Programmieren**: Tests, die zur Entdeckung eines Fehlers geführt haben, müssen aufbewahrt werden!

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung  
Unittests  
pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Viele Testfälle ergeben sich schon aus der Typsignatur!
- `list[T]`: ein Test mit leerer Liste, mehrere Tests mit nicht-leeren Listen verschiedener Länge mit Elementen variiert gemäß `T`
- `Optional[T]`: ein Test mit `None`, Tests mit Werten variiert gemäß `T`
- `Union[T1, T2, ...]`: Tests mit Werten gemäß `T1`, Tests mit Werten gemäß `T2`, ...
- `Any`: Tests zumindest mit allen Grundtypen (`int`, `float`, `str`, `bool`, ...)
- Recordtyp/Datenklasse: Generiere Testfälle gemäß den Typen der Attribute und kombiniere
- `tuple[T1, T2, ...]`: Kombiniere Testfälle gemäß `T1`, `T2`, dots
- `Literal[V1, V2, ...]`: Die Werte dieses Typs sind genau `V1`, `V2` usw. Also je ein Testfall mit `V1`, `V2`, ...

## Testgetriebene Entwicklung

- Formuliere zu Beginn mit dem Auftraggeber Testfälle, die nach und nach während der Entwicklung erfüllt werden.
- Der **Fortschritt der Entwicklung** des Systems kann anhand der Anzahl der bestandenen Tests gemessen werden.

## Regressionstest

Wiederholung von Tests um sicher zu stellen, dass nach Änderungen der Software keine neuen (oder alten) Fehler eingeschleppt wurden.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

unittests

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- **Unittests** überprüfen, dass die Einzelteile eines System funktionieren.
- Diese sind Testfälle für Teile eines Systems (Modul, Funktion, usw.).
- Um Regressionstests zu ermöglichen, werden die Unittests automatisch ausgeführt.
- In Python gibt es eine Reihe von Werkzeugen zur Automatisierung.
- Als Beispiel für ein umfassendes Framework zur Automatisierung von Tests verwenden wir **pytest**.
- Installation durch `pip3 install pytest`.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

**Unittests**

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Für jede FUT (**function under test**) werden **Testfunktionen** geschrieben.
- Der Name einer Testfunktion beginnt mit “test\_...”.
- Die Testfunktion enthält Aufrufe der FUT, wobei die erwarteten Rückgabewerte als **Assertions** formuliert sind.
- Syntax der assert-Anweisung:  
assert *Bedingung* [, *String*]
- assert überprüft die *Bedingung*.
  - Wenn sie wahr ist, wird die Testfunktion weiter ausgeführt.
  - Wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, wird eine **Exception** ausgelöst und der *String* ausgegeben.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

Unittests

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

### Beispiel für einen Testfall

```
import pytest
...
def test_expreval_b():
    """Test of expreval that fails."""
    expr = Node('*', Node('+', leaf(3), leaf(5)),
                 leaf(6))
    assert expreval(expr) == 42
```

- Ausführung mit pytest `expreval.py`

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

Unittests

**pytest**

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Verwendung von pytest (3)

Die Ausgabe in obigem Beispiel:

```
===== test session starts =====
expreval.py::test_expreval_b FAILED

===== FAILURES =====
----- test_expreval_b -----

    def test_expreval_b():
        """Test of expreval that fails."""
        expr = Node('*', Node('+', leaf(3), leaf(5)),
                    leaf(6))
>       assert expreval(expr) == 42
E       assert 48 == 42
E         + where 48 = expreval(Node('*', Node('+', leaf(3), leaf(5)), leaf(6)))

expreval.py:50: AssertionError
===== 1 failed, 1 passed in 0.02 seconds =====
```

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

Unittests

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Verwendung von pytest (4)



### Testsuite wie oben besprochen

```
import pytest
...
def test_expreval_1():
    """Testing expreval from example."""
    e = Node('*', Node('+', leaf(2), leaf(5)), leaf(6))
    assert expreval (e.left.left) == 2
    assert expreval (e.left) == 7
    assert expreval (e) == 42

def test_expreval_2():
    """Testing logical bug in expreeval"""
    assert expreval (Node ('/', leaf(2), leaf(3))) == 0
```

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

Unittests

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# Verwendung von pytest (5)

## Ausgabe vor Bugfix des logischen Fehlers

```
[Peters-MacBook-Pro:python thiemann$ pytest trees.py ]
===== test session starts =====
platform darwin -- Python 3.7.0, pytest-4.0.1, py-1.7.0, pluggy-0.8.0
rootdir: /Users/thiemann/svn/teaching/info2018/slides/python, inifile:
collected 2 items

trees.py .F [100%]

===== FAILURES =====
----- test_expreval_2 -----

    def test_expreval_2():
>     assert expreval (Node ('/', leaf(2), leaf(3))) == 0
E       AssertionError: assert 0.6666666666666666 == 0
E         + where 0.6666666666666666 = expreval(<trees.Node object at 0x10f4ed978>)
E         +   where <trees.Node object at 0x10f4ed978> = Node('/', <trees.Node obje
ct at 0x10f4ede48>, <trees.Node object at 0x10f4ed898>)
E         +     where <trees.Node object at 0x10f4ede48> = leaf(2)
E         +       and <trees.Node object at 0x10f4ed898> = leaf(3)

trees.py:35: AssertionError
===== 1 failed, 1 passed in 0.07 seconds =====
```

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene  
Entwicklung

Unittests

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

## Ausgabe nach Bugfix

```
[Peters-MacBook-Pro:python thiemann$ pytest trees.py ]
===== test session starts =====
platform darwin -- Python 3.7.0, pytest-4.0.1, py-1.7.0, pluggy-0.8.0
rootdir: /Users/thiemann/svn/teaching/info2018/slides/python, inifile:
collected 2 items

trees.py .. [100%]

===== 2 passed in 0.02 seconds =====
```

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Testgetriebene

Entwicklung

Unittests

pytest

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# 4 Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?



Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

**Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmie-  
ren?**

Zusammen-  
fassung

- Können wir (von Menschen erschaffener) Software für AKWs, Flugzeuge, Autos, usw. vertrauen?
  - Aktive Forschungsrichtungen innerhalb der Informatik
    - Verbesserung der Testmethoden — keine Garantie für Korrektheit
    - Maschinelle Beweise (d.h. für alle Fälle gültig) der Korrektheit
  - Kein Schutz gegen Fehler in der Spezifikation gegen die geprüft wird!
  - Auch das Beweissystem kann Fehler besitzen.
- Aber wir *reduzieren die Fehlerwahrscheinlichkeit!*
- Heute wird auch über die *probabilistische Korrektheit* nachgedacht und geforscht.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

# 5 Zusammenfassung



Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung

- Fehlerfreie Programmentwicklung gibt es nicht.
- Wir unterscheiden zwischen syntaktischen Fehlern, Laufzeitfehlern und logischen Fehlern.
- Fehlersuche: Debuggen
- Checkliste Ursachenforschung
- Der Debuggingprozess: Eingabe minimieren, Testfall erstellen, Werte beobachten, Hypothese entwickeln
- Fehler verstehen und beseitigen: Bugfix.
- Testgetriebene Entwicklung, Erstellung sinnvoller Testfälle
- Automatische Tests erhöhen die Qualität von Software!
- `pytest` ist ein Werkzeug zur Automatisierung von Regressionstests.

Programm-  
entwicklung

Debuggen

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammen-  
fassung