

# Informatik I: Einführung in die Programmierung

## 12. Programmentwicklung: Testen und Debuggen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



Bernhard Nebel  
21. November 2017

# 1 Programmentwicklung



- Fehlertypen
- Syntaktische Fehler
- Laufzeit-Fehler
- Semantische Fehler

- Programm-entwicklung
- Fehlertypen
  - Syntaktische Fehler
  - Laufzeit-Fehler
  - Semantische Fehler
- Debuggen
- Tests
- Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?
- Zusammenfassung

21. November 2017

B. Nebel – Info I

3 / 39

## Wie kommen Fehler ins Programm?



- Beim Schreiben von Programmen wird nicht immer alles auf Anhieb **richtig** gemacht.
- Tatsächlich ist ja oft nicht einmal klar, was das „Richtige“ ist.
- Selbst für die klaren Fälle: Schreibfehler, zu kurz gedacht, falsche Annahmen
- Man schätzt, dass rund **50%** des Programmieraufwands für die Identifikation und Beseitigung von Fehlern aufgewendet wird.
- Wichtig: **Tools** für die Fehlersuche und für die Qualitätskontrolle durch automatisches Testen

- Programm-entwicklung
- Fehlertypen
  - Syntaktische Fehler
  - Laufzeit-Fehler
  - Semantische Fehler
- Debuggen
- Tests
- Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?
- Zusammenfassung

21. November 2017

B. Nebel – Info I

4 / 39

## Beispiel



- Wir wollen ein Programm entwickeln, das den Wert eines arithmetischen Integer-Ausdrucks, der durch ein Ausdrucksbaum beschrieben wird, errechnet.
- Zum Beispiel: ['\*', ['+', [2, None, None], [5, None, None]], [6, None, None]]  $\mapsto$  42
- Methode: Rekursive Traversierung des Ausdrucksbaums.

### Evaluating an expression tree

```
def expraval(tree)
  if tree[0] == '+':
    return expraval(tree[1])+exprval(tree[2])
  elif tree[0] == '-':
    return expraval(tree[1])-expraval(tree[2])
  elif tree[0] == '*':
    return expraval(tree[1])*expraval(tree[3])
  elif tree[0] == '/':
    return expraval(tree[1])/expraval(tree[2])
```

- Programm-entwicklung
- Fehlertypen
  - Syntaktische Fehler
  - Laufzeit-Fehler
  - Semantische Fehler
- Debuggen
- Tests
- Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?
- Zusammenfassung

21. November 2017

B. Nebel – Info I

5 / 39

## Arten von möglichen Fehlern

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

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

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

## Syntaktische Fehler

- Der Interpreter gibt Zeile und Punkt an, an dem der Fehler festgestellt wurde (in IDLE wird die Zeile markiert)
- Das tatsächliche Problem kann aber mehrere Zeilen vorher liegen!
- Typische mögliche Fehler:
  - Python-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 Python-Syntaxunterstützung.
- Im schlechtesten Fall: Sukzessives Löschen und Probieren

## Das Beispielprogramm

- Unser Programm enthält 2 syntaktische Fehler.
- Das syntaktisch korrekte Programm:

### Evaluating an expression tree

```
def exprval(tree):  
    if tree[0] == '+':  
        return exprval(tree[1])+exprval(tree[2])  
    elif tree[0] == '-':  
        return exprval(tree[1])-exprval(tree[2])  
    elif tree[0] == '*':  
        return exprval(tree[1])*exprval(tree[3])  
    elif tree[0] == '/':  
        return exprval(tree[1])/exprval(tree[2])
```

## 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** oder **Endlosrekursion** (d.h. kommt nie zum Basisfall, in Python wird bei Rekursion schnell abgebrochen!)
    - **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**)

## Laufzeitfehler: Exceptions



- 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.
      - **Beispiel**: Zugriff auf Teilbaum mit Indexwert 3
    - `KeyError`: Ist ähnlich wie `IndexError`, aber für *Dictionaries* (lernen wir noch).
    - `AttributeError`: Ein nicht existentes Attribut wurde versucht anzusprechen (lernen wir noch).
  - Es gibt einen **Stack-Backtrace** und eine genaue Angabe der Stelle.
- Nachdenken oder Fehler durch Ausgabe von Variablenwerten versuchen zu verstehen
- Dann Fehler einkreisen und identifizieren (siehe **Debugging**).

Programm-entwicklung  
Fehlertypen  
Syntaktische Fehler  
Laufzeit-Fehler  
Semantische Fehler  
Debuggen  
Tests  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

## Das korrigierte Programm



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

### Evaluating an expression tree

```
def expreval(tree):  
    if tree[0] == '+':  
        return expreval(tree[1])+expreval(tree[2])  
    elif tree[0] == '-':  
        return expreval(tree[1])-expreval(tree[2])  
    elif tree[0] == '*':  
        return expreval(tree[1])*expreval(tree[2])  
    elif tree[0] == '/':  
        return expreval(tree[1])/expreval(tree[2])  
    else:  
        return tree[0]
```

Programm-entwicklung  
Fehlertypen  
Syntaktische Fehler  
Laufzeit-Fehler  
Semantische Fehler  
Debuggen  
Tests  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

## Semantische Fehler: Unerfüllte Erwartungen



- Ein semantischer 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 Werte werden ohne Konversion verglichen.
  - Tatsächlich kann man hier eigentlich erst von einem Fehler sprechen, wenn man das erwartete Verhalten **formal spezifiziert** hatte. Aber auch informelle Vorgaben können natürlich verletzt werden.
  - Auf jeden Fall kann man das erwartete Verhalten (partiell) durch Beispiele einfach beschreiben.
- Durch Nachdenken versuchen, den relevanten Programmteil zu identifizieren, dann einkreisen (siehe **Debugging**).

Programm-entwicklung  
Fehlertypen  
Syntaktische Fehler  
Laufzeit-Fehler  
Semantische Fehler  
Debuggen  
Tests  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

## Semantische Fehler in unserem Programm



- Gibt es semantische Fehler in unserem Programm?
- Wir hatten Integer-Arithmetik gefordert, aber „/“ liefert eine Gleitkommazahl!

### Evaluating an expression tree

```
def expreval(tree):  
    if tree[0] == '+':  
        return expreval(tree[1])+expreval(tree[2])  
    elif tree[0] == '-':  
        return expreval(tree[1])-expreval(tree[2])  
    elif tree[0] == '*':  
        return expreval(tree[1])*expreval(tree[2])  
    elif tree[0] == '/':  
        return expreval(tree[1])//expreval(tree[2])  
    else:  
        return tree[0]
```

Programm-entwicklung  
Fehlertypen  
Syntaktische Fehler  
Laufzeit-Fehler  
Semantische Fehler  
Debuggen  
Tests  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

## 2 Debuggen



- Print-Anweisungen
- Debugger
- Debugging-Techniken

Programm-entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen  
Debugger  
Debugging-Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammenfassung

## 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?)
- Die Verbesserungen heißen **Bugfixes** – und sollten das Problem dann lösen!

Programm-entwicklung

Debuggen

Print-Anweisungen  
Debugger  
Debugging-Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies  
Programmieren?

Zusammenfassung

## Debuggen a la Mr.Robot



*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?

Zusammenfassung

## Debug-Techniken



Für das Debugging gibt es verschiedene Methoden:

- 1 Nachdenken (inklusive mentaler Simulation der Programmausführung oder `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?

Zusammenfassung

## Debuggen mit Print-Statements



- Wenn ein System ein abweichendes Verhalten zeigt, versucht man interne Werte zu messen (z.B. bei Hardware mit einem Oszilloskop)
- In Python (und vielen anderen Sprachen/Systemen) kann man einfach `print`-Anweisungen einfügen und das Programm dann laufen lassen.
- Ist die einfachste Möglichkeit, Verhalten eines Programmes zu beobachten, speziell wenn man bereits einen Verdacht hat.
  - **Achtung:** Solche zusätzlichen Ausgaben können natürlich das Verhalten (speziell das Zeitverhalten) signifikant ändern!
- Eine generalisierte Form ist das *Logging*, bei dem man `prints` generell in seinen Code integriert und dann Schalter hat, um das Loggen an- und abzustellen.

Programm-entwicklung

Debuggen  
Print-Anweisungen  
Debugger  
Debugging-Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies Programmieren?

Zusammenfassung

## Debugger – generell



- 1 *Post-Mortem-Tools:* Analyse des Programmzustands nach einem Fehler
  - Stack Backtrace wie in Python
  - Früher: Speicherbelegung (Hex-Dump)
  - Heute: Variablenbelegung (global und lokal im Stapeldiagramm)
- 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 Programmausführung bzw. setze fort

Programm-entwicklung

Debuggen  
Print-Anweisungen  
Debugger  
Debugging-Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies Programmieren?

Zusammenfassung

## Debugger – in Python



- 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.
    - Man kann Breakpoints setzen, indem man im Quellcode eine Zeile rechts-klickt (Mac: Ctrl-Klick).
    - Stepping mit den Go/Step usw. Knöpfen.

Programm-entwicklung

Debuggen  
Print-Anweisungen  
Debugger  
Debugging-Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies Programmieren?

Zusammenfassung

## Debugging-Techniken



- 1 Formulieren Sie eine Hypothese, warum der Fehler auftritt und an welcher Stelle des Programms sich dieser Fehler manifestiert!
- 2 Konzentrieren Sie sich auf diese Stelle und **instrumentieren** Sie die Stelle (Breakpoints oder `print`-Anweisungen)
- 3 Versuchen Sie zu verstehen, wie es zu dem Fehler kommt: Was ist die tiefere Ursache?
- 4 Formulieren Sie einen **Bugfix** erst dann, wenn Sie glauben, das **Problem verstanden** zu haben. Einfache Lösungen sind oft nicht hilfreich.
- 5 Testen Sie nach dem Bugfix, ob das Problem tatsächlich beseitigt wurde.
- 6 Lassen Sie weitere Tests laufen (s.u.).
- 7 Wenn es nicht weiter geht, stehen Sie auf, gehen Sie an die frische Luft und trinken eine Tasse Kaffee!

Programm-entwicklung

Debuggen  
Print-Anweisungen  
Debugger  
Debugging-Techniken

Tests

Ausblick:  
Fehlerfreies Programmieren?

Zusammenfassung

## 3 Automatische Tests

- Testgetriebene Entwicklung
- Unittests
- doctest
- pytest

## Testfälle erzeugen

- Um **fehlerhaftes Verhalten** zu provozieren, müssen wir das Programm natürlich testen.
- Man startet das Programm auf Daten (bzw. interagiert) und wartet, bis es **crasht**.
- Am besten systematisch Testfälle sammeln, die man immer wieder für das Programm nutzen kann
- Systematisch testen:
  - Basisfälle und andere Grenzfälle
  - Decken Sie jeden Zweig in Ihrem Code durch einen Test ab
  - Gibt es Interaktionen zwischen verschiedenen Programmteilen, versuchen Sie auch diese abzudecken
  - **Wichtig:** Tests, die zur Entdeckung eines Fehlers geführt haben, sollten auf jeden Fall für spätere Wiederholungen aufbewahrt werden

## Testgetriebene Entwicklung

- **Regressionstest:** Wiederholung von Tests um sicher zu stellen, dass nach Änderungen der Software keine neuen (oder alten) Fehler eingeschleppt wurden.
- Eine Möglichkeit die **Entwicklung** eines Systems voran zu treiben ist, als erstes Tests zu formulieren, die dann Stück für Stück erfüllt werden.
- Die **Qualität** des Systems kann dann mit Hilfe der Anzahl der bestandenen Tests gemessen werden.

## Modultests oder Unittests

- Um zu garantieren, dass die Einzelteile eines System funktionieren, benutzt man sogenannte **Unittests**.
- Dieses sind Testfälle für Teile eines Systems (Modul, Funktion, usw.).
- Normalerweise werden diese automatisch ausgeführt.
- In Python gibt es u.a. zwei Werkzeuge/Module:
  - 1 `unittest` - ein komfortables (aber auch aufwändig zu bedienendes) Modul für die Formulierung und Verwaltung von Unit-Tests
  - 2 `doctest` - ein einfaches Modul, das Testfälle aus den docstrings extrahiert und ggfs. automatisch ausführt.

- Fügen Sie Testfälle aus Shellinteraktionen in ihre docstrings ein, z.B. so:

### Testbeispiel

```
import doctest

def expreval(tree):
    """Takes an integer expression tree and evaluates it.

    >>> expreval([5, None, None])
    5
    >>> expreval(['*', [7, None, None], [6, None, None]])
    42

    """
    ...
```

Programm-entwicklung  
Debuggen  
Tests  
Testgetriebene Entwicklung  
Unittests  
doctest  
pytest  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

- Nach dem Laden des Programms kann man alle solche Tests ausführen lassen.

### Python-Interpreter

```
>>> ===== RESTART =====
>>> doctest.testmod()
TestResults(failed=0, attempted=30)
```

- Man kann dies automatisieren, indem man am Ende der Datei folgendes hinschreibt:

### Testbeispiel

```
if __name__ == "__main__":
    doctest.testmod()
```

- Das \_\_name\_\_-Attribut ist gleich "\_\_main\_\_", wenn das Modul mit dem Python-Interpreter gestartet wird oder es in IDLE geladen wird.

Programm-entwicklung  
Debuggen  
Tests  
Testgetriebene Entwicklung  
Unittests  
doctest  
pytest  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

- Ruft man `doctest.testmod(verbose=True)` auf, bekommt man den Ablauf der Tests angezeigt.
- Will man eine Leerzeile in der Ausgabe der Test-Session haben, so muss man `<BLANKLINE>` eintippen, da eine Leerzeile als Ende des Testfalls interpretiert wird.
- Will oder kann man nicht die gesamte Ausgabe angeben, kann man Auslassungspunkte schreiben: `...` Dabei muss allerdings ein *Flag* angegeben werden:  
`# doctest: +ELLIPSIS`
- Mehr unter: <http://docs.python.org/3.3/library/doctest.html>

Programm-entwicklung  
Debuggen  
Tests  
Testgetriebene Entwicklung  
Unittests  
doctest  
pytest  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung

- `py.test` ist ein umfassender Framework, um Tests zu schreiben
- Sie müssen `py.test` installieren, z.B. durch `pip3 install pytest`.
- Idee: Funktionen werden getestet, indem man **Testfunktionen** schreibt (und ausführt). Testfunktionen müssen immer den Prefix `test_` besitzen.
- Für die zu testenden Funktionen werden die erwarteten Rückgabewerts als **Assertions** formuliert.
- `assert`-Anweisung: `assert Bedingung[, String]`
- `assert` sichert zu, dass die Bedingung wahr ist. Wenn das nicht der Fall ist, wird eine **Exception** ausgelöst, und der String ausgegeben.

Programm-entwicklung  
Debuggen  
Tests  
Testgetriebene Entwicklung  
Unittests  
doctest  
pytest  
Ausblick: Fehlerfreies Programmieren?  
Zusammenfassung



```

Testbeispiel
import pytest
...
def test_expreval_b():
    """Test of expreval that fails."""
    expr = ['*', ['+', [3, None, None],
                    [5, None, None]],
            [6, None, None]]
    assert expreval(expr) == 42

if __name__ == "__main__":
    # -v switches verbose on
    pytest.main("-v %s" % __file__)
    
```

Programm-entwicklung  
 Debuggen  
 Tests  
 Testgetriebene Entwicklung  
 Unittests  
 doclest  
 pytest  
 Ausblick:  
 Fehlerfreies Programmieren?  
 Zusammenfassung

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 = ['*', ['+', [3, None, None],
                    [5, None, None]],
            [6, None, None]]
    > assert expreval(expr) == 42
E     assert 48 == 42
E     + where 48 = expreval(['*', ['+', [3, None, None], [5, None, None]], [6, None, None]])

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

Programm-entwicklung  
 Debuggen  
 Tests  
 Testgetriebene Entwicklung  
 Unittests  
 doclest  
 pytest  
 Ausblick:  
 Fehlerfreies Programmieren?  
 Zusammenfassung

Programm-entwicklung  
 Debuggen  
 Tests  
 Ausblick:  
 Fehlerfreies Programmieren?  
 Zusammenfassung

Programm-entwicklung  
 Debuggen  
 Tests  
 Ausblick:  
 Fehlerfreies Programmieren?  
 Zusammenfassung

- Können wir (von Menschen erschaffene) Software für AKWs, Flugzeuge, Autos, usw. vertrauen?
- Testmethoden werden immer besser – decken immer mehr Fälle ab!
- Manchmal können maschinelle Beweise (d.h. für alle Fälle gültig) die Korrektheit zeigen!
- Aktive Forschungsrichtung innerhalb der Informatik
- Natürlich kann aber auch wieder die Spezifikation (gegen die geprüft wird) falsch sein.
- Auch kann das Beweissystem einen Fehler besitzen.
- Aber wir *reduzieren die Fehlerwahrscheinlichkeit!*
- Heute wird auch über die *probabilistische Korrektheit* nachgedacht und geforscht.



- Fehlerfreie Programmentwicklung gibt es nicht.
- Man unterscheidet zwischen syntaktischen, Laufzeit- und semantischen Fehlern.
- Fehler findet man durchs Debuggen.
- Fehler finden mit Hilfe von eingesetzten Print-Anweisungen oder Debuggern.
- Fehler verstehen und beseitigen: Bugfix.
- Automatische Tests erhöhen die Qualität von Software!
- Python bietet als einfachste Möglichkeit das `doctest`-Modul. Eine komfortablere Möglichkeit ist `pytest`.