

Programmierparadigmen – Einstieg

Programmierparadigmen

Johannes Brauer

4. April 2020

Beispiele

Zur Wiedererweckung von Kenntnissen aus den vergangenen Semestern

Interpretieren Sie diesen Programmcode:

```
(defn power [x y]
  (if (= y 0) 1
      (* x (power x (- y 1)))))
```

Aufgabe

Schreiben Sie eine statische Java-Methode, die ein Array von doubles als Argument akzeptiert und den Durchschnitt der Zahlen liefert.

Lösung

```
public static double average (double[] numbers) {
  double sum = 0;
  for (int i = 0; i < numbers.length; i++) {
    sum += numbers[i];
  }
  return sum / numbers.length;
}
```

versus

```
(defn average
  [numbers]
  (/ (apply + numbers) (count numbers)))
```

Frage: Was tut die Methode isBlank?

```
public class StringUtils {
  public static boolean isBlank(String strng) {
    int strngLen;
    if (strng == null || (strngLen = strng.length()) == 0) {
      return true;
    }
    for (int i = 0; i < strngLen; i++) {
      if ((Character.isWhitespace(strng.charAt(i)) == false)) {
        return false;
      }
    }
    return true;
  }
}
```

Zum Vergleich:

```
(defn blank? [strng]
  (every? #(Character/isWhitespace %) strng))
```

Aufgabe

Gegeben ist eine Liste mit Preisen:

```
final List<BigDecimal> prices = Arrays.asList(
    new BigDecimal("10"), new BigDecimal("30"), new BigDecimal("17"),
    new BigDecimal("20"), new BigDecimal("15"), new BigDecimal("18"),
    new BigDecimal("45"), new BigDecimal("12"));
```

Schreiben Sie Java-Code, der alle Preise größer als 20, rabattiert um 10%, aufsummiert.

Lösung

Java < 8

```
BigDecimal totalOfDiscountedPrices = BigDecimal.ZERO;

for(BigDecimal price : prices) {
    if(price.compareTo(BigDecimal.valueOf(20)) > 0)
        totalOfDiscountedPrices =
            totalOfDiscountedPrices.add(price.multiply(BigDecimal.valueOf(0.9)));
}
```

Java >= 8

```
final BigDecimal totalOfDiscountedPrices =
    prices.stream()
        .filter(price -> price.compareTo(BigDecimal.valueOf(20)) > 0)
        .map(price -> price.multiply(BigDecimal.valueOf(0.9)))
        .reduce(BigDecimal.ZERO, BigDecimal::add);
```

Clojure

```
(def prices (map bigdec [10 30 17 20 15 18 45 12]))

(def totalOfDiscountedPrices
  (reduce + 0
    (map (fn [p] (* p 0.9M))
      (filter (fn [p] (> p 20M))
        prices))))

;; oder syntaktisch gezuckert
(def totalOfDiscountedPrices2
  (->> prices
    (filter #(> % 20M))
    (map #(* % 0.9M))
    (reduce + 0)))
```

Aufgabe: Mehr Geld bitte!

Sie senden einen Brief an Ihre Eltern mit dem Inhalt:

```
SEND
+MORE
-----
MONEY
```

Wieviel Geld erhalten Sie? Die Aufgabe besteht darin, jedem Buchstaben aus $\{S, E, N, D, M, O, R, Y\}$ eine unterschiedliche Ziffer aus $\{0, \dots, 9\}$ zuzuordnen, so dass die Gleichung

$$SEND + MORE = MONEY$$

erfüllt wird.

Aufgabe: Lösen Sie das Problem in einer Programmiersprache Ihrer Wahl! Beachten Sie die Nebenbedingungen.

Lösungsansatz: „Rohe Gewalt“

- Alles durchprobieren!
- Man braucht 8 ineinander geschachtelte Schleifen.
- Achtung: Acht Variablen (S, E, N, D, M, O, R, Y) können zehn verschiedene Werte annehmen. Ergibt 10^8 Möglichkeiten.
- Allerdings verringern einschränkende Bedingungen die Zahl der Möglichkeiten:
 - S und M dürfen nicht 0 sein.
 - Da M als Übertrag entsteht, kann M nur 1 sein.
 - Die Werte der Variablen müssen paarweise verschieden sein.
- Weitere Überlegungen über Zusammenhänge zwischen den Ziffern können das Verfahren beschleunigen (s. u.).
- Lösung z. B. in Clojure:

```
(for [s (range 1 10)
     e (range 0 10)
     n (range 0 10)
     d (range 0 10)
     m (range 1 2)
     o (range 0 10)
     r (range 0 10)
     y (range 0 10)
     :let [z [s e n d m o r y]]
     :when (and (distinct? s e n d m o r y)
                 (= (+ (* 1000 s) (* 100 e) (* 10 n) d
                       (* 1000 m) (* 100 o) (* 10 r) e)
                   (+ (* m 10000) (* 1000 o) (* 100 n) (* 10 e) y)))]
  z)
```

Resultat:

```
  9567
+ 1085
-----
10652
```

Lösungsansatz: Constraint Satisfaction

- Einfaches Modell durch Spezifikation der folgenden Gleichung als Einschränkung:

$$\begin{aligned} &1000 * S + 100 * E + 10 * N + D \\ &+ 1000 * M + 100 * O + 10 * R + E \\ &= 10000 * M + 1000 * O + 100 * N + 10 * E + Y \end{aligned}$$

- Den Variablen E, N, D, O, R, Y wird die Domäne $\{0 \dots 9\}$, der Variablen S die Domäne $\{1 \dots 9\}$ und M die Domäne $\{1\}$ zugeordnet.
- Außerdem muss die Einschränkung $all_different([S, E, N, D, M, O, R, Y])$ hinzugefügt werden.
- Das Modell ist nicht effizient, weil alle Variablen bis auf eine schon belegt sein müssen, bevor die „Haupteinschränkung“ geprüft werden kann.

Verfeinertes CSP-Modell

- Nutzung der Überträge der Addition für die Zerlegung der „großen“ Einschränkung in mehrere kleine:

$$\begin{aligned}E + D &= Y + 10 * C1 \\C1 + N + R &= E + 10 * C2 \\C2 + E + O &= N + 10 * C3 \\C3 + S + M &= 10 * M + O\end{aligned}$$

- Die Domänen der Variablen:

$$\begin{aligned}E, N, D, O, R, Y &:= \{0, \dots, 9\} \\S &:= \{1, \dots, 9\} \\M &:= \{1\} \\C1, C2, C3 &:= \{0, 1\}\end{aligned}$$

- Die „kleinen“ Einschränkungen werden während der Belegungsphase früher geprüft und damit inkonsistente Belegungen ausgesondert.

Ziele

- Antworten auf die Fragen:
 - Was ist ein Programmierparadigma?
 - Welche Paradigmen gibt es?
 - **Was wissen Sie noch über funktionale Programmierung?**

Hier ein paar Testfragen zu dem Thema!

Software-Technik – eine unreife Technologie?

Hat die Software-Technik ein Problem?

fragt [Rat12]

- Warum ist kein Software-Projekt so einfach wie es scheint?
- Warum wird kein Software-Projekt rechtzeitig und unter Einhaltung des Budgets fertig?
- Warum hat jede nicht-triviale Software Fehler?
- Warum tut Software oft nicht das, was sie tun soll?
- Warum ist es so schwierig, Änderungen an Software vorzunehmen?
- Gleichgültig, wie klar der Plan eines Projekts zu Beginn war, warum wird daraus am Ende immer ein riesiger Haufen Morast?
- Alle kennen das Problem und scheinen es zu akzeptieren!?
- Die Software-Industrie reagiert mit Puffern für Zeit und Budget und der Akzeptanz mittelmäßiger Software!?

Viele Software-Projekte werden durch falsche Annahmen von vornherein gefährdet.

So ist es meistens falsch, anzunehmen, dass

- der Anwender bei Projektbeginn genau weiß, was er will,
- der Anwender das, wovon er weiß, dass er es will, vollständig mitteilen kann,
- der Entwickler ausreichend verstanden hat, was der Anwender mitteilen konnte,
- das kommunizierte Wissen ausreicht, um die vom Anwender gewollten Funktionen produzieren zu können,
- der Entwickler eine wissenschaftlich begründete Methode besitzt, um das Verstandene in Software zu übertragen,
- der Anwender versteht, was der Entwickler außer den vorgelegten Beispielen noch leisten könnte,
- der Anwender also wüsste, welche Software möglich wäre, wenn der Entwickler besser über seine Bedürfnisse unterrichtet wäre.

Ein „berühmtes“ Beispiel

W. Gibbs in Scientific American:

- 1994 sollte der Denver International Airport als gigantisches, technisches Wunderwerk mit einem voll-automatischen unterirdischen Gepäcktransportsystem eingeweiht werden.
- Die gesamte Hardware incl. 400 Telecars war pünktlich fertig; die Software fehlte.
- Die Eröffnung musste immer wieder verschoben werden.
- Neun Monate später konnte der Software-Hersteller noch keine Prognose zum Fertigstellungstermin abgeben.

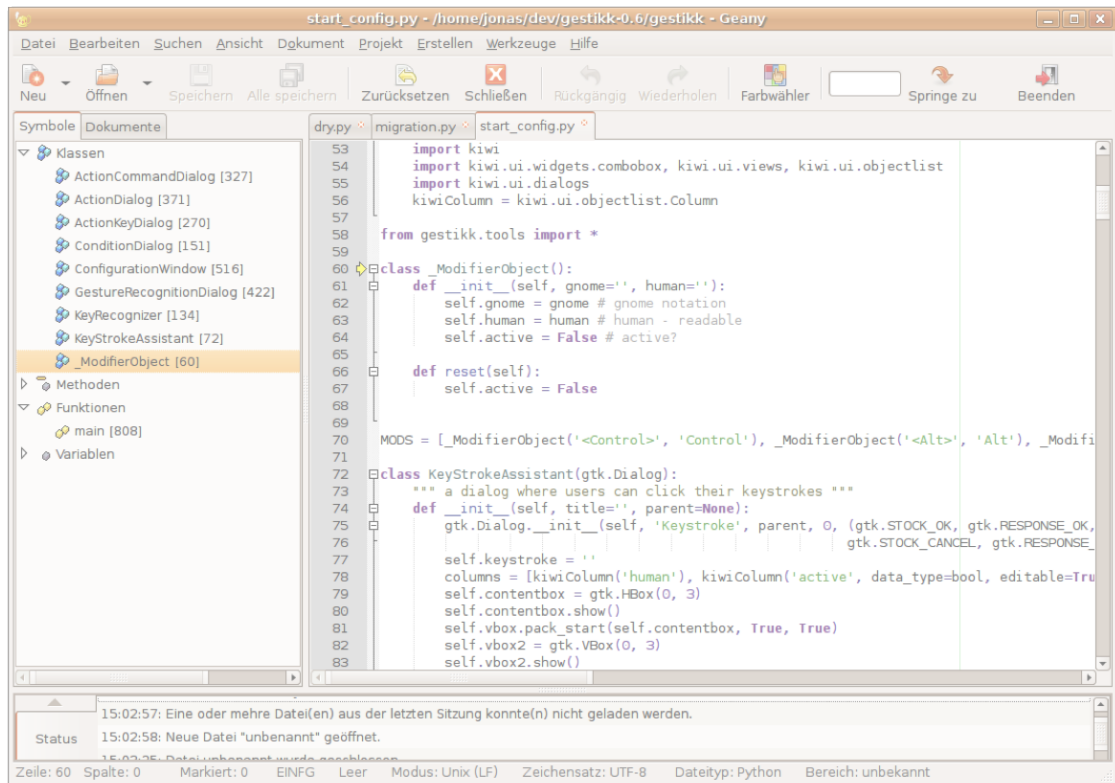
Thomas C. Hales bemerkt in Formal Proof

[Hal08]

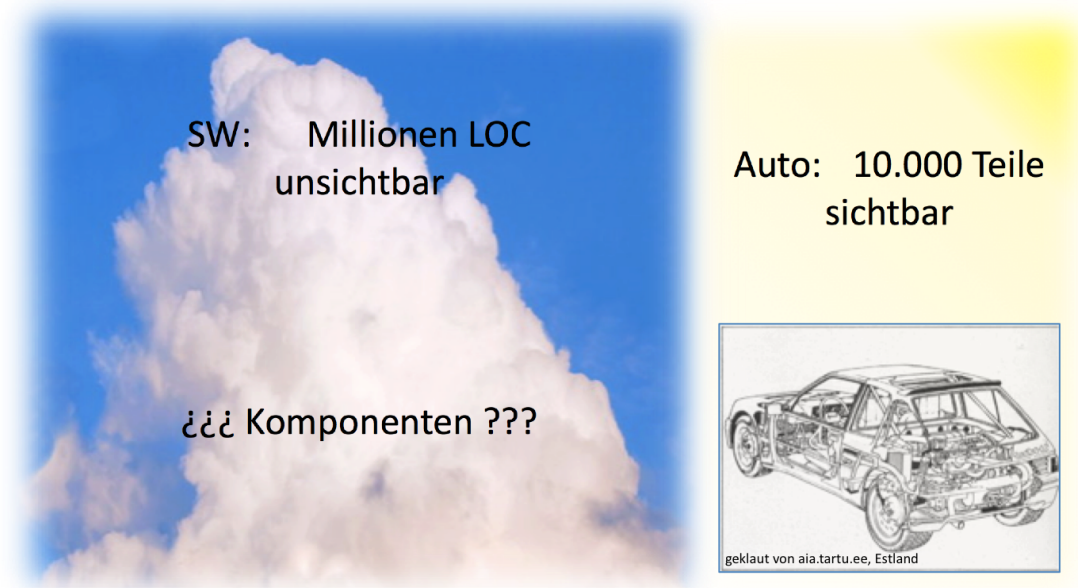
- On average, a programmer introduces **1.5 bugs per line while typing**. Most are typing errors that are spotted at once.
- About **one bug per hundred lines of computer code ships to market without detection**.
- Bugs are an accepted part of programming culture.
- The book that describes itself as the „bestselling software testing book of all time“ states that „testers shouldn’t want to verify that a program runs correctly“.
- Another book on software testing states „Don’t insist that every bug be fixed . . . When the programmer fixes a minor bug, he might create a more serious one.“
- Corporations may keep critical bugs off the books to limit legal liability. Only those bugs should be corrected that affect profit. **The tools designed to root out bugs are themselves full of bugs.**

Software besteht aus Millionen Code-Zeilen

- die einzige Sicht: Programmtext
- Baumstruktur links zeigt nicht die Abhängigkeit der Komponenten.



Software ist unsichtbar



Beispiel zur Schärfung des Problembewusstseins

- Aufgabenstellung (in Anlehnung an [KS07])

Auf einem Parkplatz stehen Personenkraftwagen und Motorräder ohne Beiwagen. Zusammen seien es n Fahrzeuge mit insgesamt m Rädern. Bestimme die Anzahl P der PKWs!

- Typische informelle Problemspezifikation.
- Gesucht ist eine Berechnungsvorschrift für die Funktion $P(n, m)$.

- Wie kann der Zusammenhang zwischen der Anzahl der PKWs $P(n, m)$, der Anzahl der Motorräder $M(n, m)$, der Anzahl der Räder m und der Anzahl der Fahrzeuge n formuliert werden?

$$\begin{aligned} P + M &= n \\ 4P + 2M &= m \end{aligned}$$

Beispiel zur Schärfung des Problembewusstseins (2)

- Lösung des Gleichungssystems:

$$\begin{aligned} M &= n - P \\ 4P + 2(n - P) &= m \\ 4P + 2n - 2P &= m \\ 2P &= m - 2n \\ P &= \frac{m - 2n}{2} \end{aligned}$$

- Problem scheinbar gelöst. Formel könnte in ein Programm übersetzt werden. ABER: Was liefert die Formel für $n = 3$ und $m = 9$?

$$P(3, 9) = \frac{9 - 2 \cdot 3}{2} = 1,5$$

- Anderthalb PKWs stehen auf dem Parkplatz!

Beispiel zur Schärfung des Problembewusstseins (3)

- Schlussfolgerung: m muss gerade sein.
- ABER: Was liefert die Formel für $n = 5$ und $m = 2$?
-

$$P(5, 2) = \frac{2 - 2 \cdot 5}{2} = -4$$

Vier PKWs „fehlen“ auf dem Parkplatz!

- Schlussfolgerung: Die Anzahl der Räder muss mindestens doppelt so groß sein wie die Anzahl der Fahrzeuge.
- ABER: Was liefert die Formel für $n = 2$ und $m = 10$?
-

$$P(2, 10) = \frac{10 - 2 \cdot 2}{2} = 3$$

- Problem: Unsinnigkeit des Ergebnisses nicht sofort erkennbar. (Wenn 3 von 2 Fahrzeugen PKWs sind, muss es noch ein „negatives“ Motorrad geben.)

Beispiel zur Schärfung des Problembewusstseins (4)

- Schlussfolgerung: Die Anzahl der Räder darf höchstens viermal so groß sein wie die Anzahl der Fahrzeuge.
- Fazit:
 - Die Problemspezifikation ist unvollständig. Das „Programm“ liefert nur dann sinnvolle Ergebnisse, wenn folgende Bedingung gilt:

$$m \text{ gerade und } 2n \leq m \leq 4n$$

- Fehlerhafte Abstraktion: In der mathematischen Formel sind m und n irgendwelche Zahlen, auf dem Parkplatz aber nicht.

Aufgabe Begründen Sie, warum mit dieser Bedingung die Lösung des Gleichungssystems die folgenden Anforderungen erfüllt:

- P ist eine ganze Zahl.
- P wird nicht negativ.
- P wird nicht größer als n .

Was ist ein Paradigma?

Das Wort Paradigma leitet sich vom griechischen Wort παράδειγμα (parádeigma) ab, das (lt. Menge-Güthling) übersetzt *Beispiel* oder *Vorbild* bedeutet.

Laut Duden sind Synonyme: [Fall]beispiel, Leitbild, Modell[fall], Muster[beispiel], Musterbild, Vorbild; (bildungssprachlich) Inkarnation, Prototyp; (bildungssprachlich veraltend) Exempel

Häufig wird das Wort im Sinne von *Denkmuster* gebraucht.

Was ist ein Programmierparadigma?

Begriffsbestimmung

Antwort lt. Wikipedia: ein fundamentaler Programmierstil

Was ist ein Programmierstil?

Antwort lt. Wikipedia: „Ein Programmierstil (engl. code conventions, coding conventions, coding standards) ist in der Programmierung das Erstellen von Quellcode nach bestimmten vorgegebenen Regeln.“

übliche Klassifikationen

Imperative Programmierung		Deklarative Programmierung	
Prozedurale Programmierung	Objektorientierte Programmierung	Funktionale Programmierung	Logische Programmierung

- Imperativ Programmieren heißt, zu beschreiben, **wie** die Lösung eines Problems zu erzielen ist.
- Deklarativ Programmieren heißt, zu beschreiben, **was** das zu lösende Problem ist.

Die „klassischen“ Programmierparadigmen

- Imperative Programmierung
 - Grundkonzepte: Variablen, Wertzuweisungen
 - Programm = Folge von Anweisungen, die eine Zustandsänderung bewirken
 - Strukturierte Sprachen
 - Modulare Sprachen
 - Objektorientierte Sprachen
 - Hybride Sprachen
- Funktionale (applikative) Programmierung
 - Grundkonzept: Funktion i.S.d. Mathematik
 - Programm = Ausdruck, der einen Wert als Ergebnis liefert

```
(defn power [x y]
  (if (= y 0) 1
      (* x (power x (- y 1)))))
```
- Logische (prädikative) Programmierung
 - Grundkonzept: Formale, mathematische Logik

- Beispiel: Sprache Prolog mit Fakten und Regeln

Fakten:

- * Hans ist direkter Chef von Franz.
- * Franz ist direkter Chef von Heinz.
- * `direkterChef(hans, franz).`
- * `direkterChef(franz, heinz).`

Regeln:

- * Eine Person X ist Vorgesetzter von Y, wenn X direkter Chef von Y ist oder wenn X direkter Chef von Z und Z Vorgesetzter von Y ist.
- * `vorgesetzter(X,Y):-direkterChef(X,Y).`
- * `vorgesetzter(X,Y):-direkterChef(X,Z), vorgesetzter(Z,Y).`

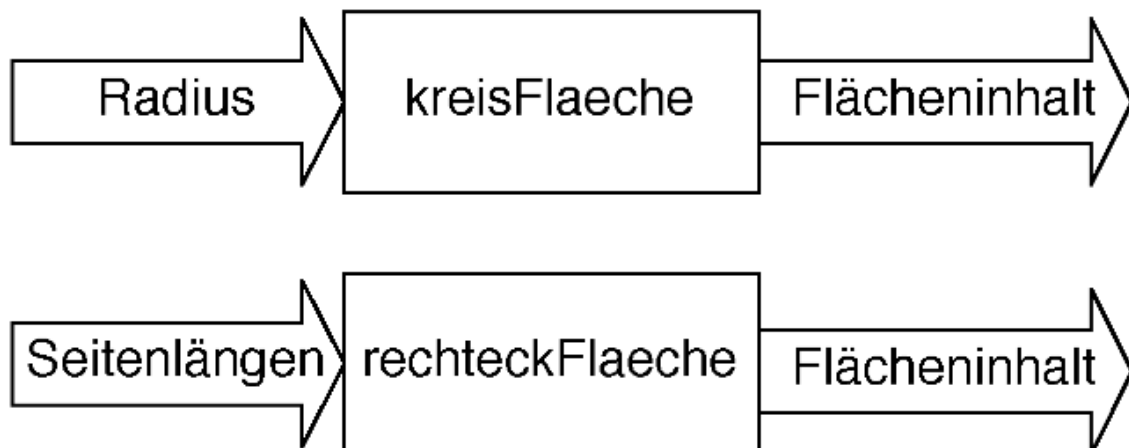
Eine detailliertere Übersicht

The principal programming paradigms

Prozedurorientiertes vs. objektorientiertes Denken

(Darstellung angelehnt an [Mös94])

- Prozedurorientiertes Denken: Algorithmen, Prozeduren stehen im Vordergrund, Daten sind „zweitrangig“.
- Beispiel: Flächenberechnung von geometrischen Figuren:



```

flaeche := kreisFlaeche(kreis);
flaeche := rechteckFlaeche (rechteck);
  
```

Merkmale der prozeduralen Programmierung

- in konventionellen Sprachen für jede Figurart eigene Prozedur erforderlich
- Fallunterscheidungen notwendig, wenn in einem Programm Figuren verschiedener Arten gleichzeitig vorkommen; sei z.B. *f* eine beliebige geometrische Figur:

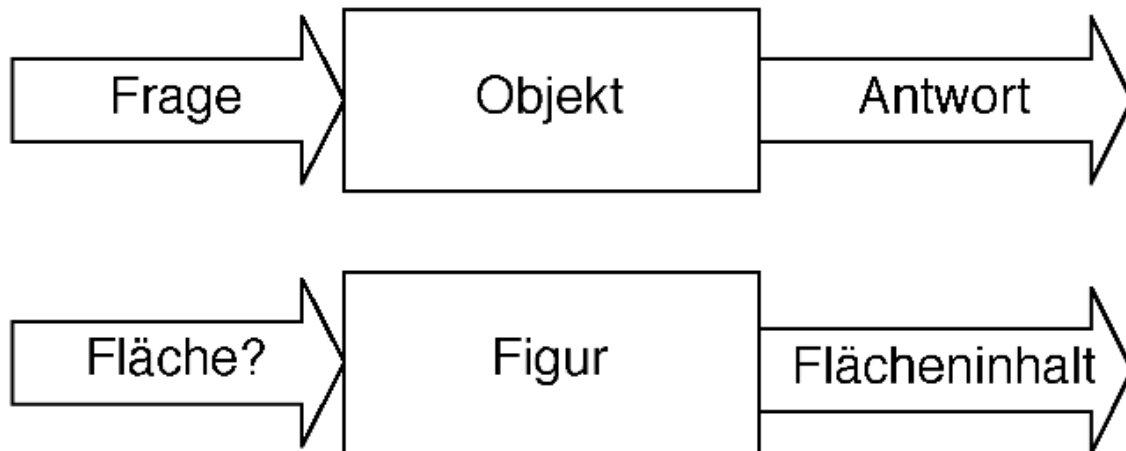
```

...
if f is Rechteck
  then flaeche := rechteckFlaeche(f)
elsif f is Kreis
  then flaeche := kreisFlaeche(f)
elsif f is Dreieck
  then flaeche := dreiecksFlaeche(f)
...
  
```

- Warum sind solche Fallunterscheidungen problematisch?

Objektorientiertes Denken ...

... stellt die Daten in den Mittelpunkt der Betrachtung:



```
flaeche := f flaechenInhalt
flaeche = f.flaechenInhalt();
```

Merkmale der Objektorientierten Programmierung:

- Ein Objekt antwortet auf den Empfang einer Frage (einer Nachricht).
- Das Figurobjekt „weiß selbst“ wie die Antwort (der Flächeninhalt) zu ermitteln ist.
- Fallunterscheidungen werden weitgehend überflüssig.

Die Überbrückung der „Abstraktionslücke“

Anwendungsdomäne _i (1 ≤ i ≤ n)				Anwendungsdomäne _{n+1}
Programm in S0	Programm in P1	Programm in OOS2	Programm in F3	Programm in DSL
	prozedurale Programmiersprache P1	objektorientierte Programmiersprache OOS2	funktionale Programmiersprache F3	DSL-Interpreter
Maschinensprache S0: 0000 1010 ...				

Bedeutung der Abstraktion in der Software-Technik

- Komplexität von Softwaresystemen überfordert
 - die Fähigkeit von Menschen, sie in Gänze zu erfassen,
 - die Fähigkeit der Entwickler, sie so zu bauen, dass sie den Anforderungen in korrekter Weise entspricht.
- Wenn ein Entwickler für eine Aufgabe sechs Monate benötigt, wie lange brauchen dann sechs Entwickler, wenn sie die Aufgabe gemeinsam erledigen sollen?

- Ohne leistungsfähige Abstraktionskonzepte ist die Beherrschung von Komplexität unmöglich.
- Die Zeit, die ein Programmierer benötigt, um eine Zeile Code zu schreiben, ist eine Konstante (unabhängig von der Programmiersprache).
- Daher ist das Abstraktionsniveau der von einer Programmiersprache bereitgestellten Ausdrucksmittel entscheidend
 - für die Beherrschung von Komplexität und
 - die Produktivität der Programmierer.

Eine Bezahl-App

Entwicklung beschrieben durch Wille Faler in <http://agile.dzone.com/news/one-night-clojure-makes-scala>
 „A simple metric generated with cloc“:

- Java version: 755 lines of code (LOC)
- Scala version: 200 LOC's
- Clojure version: 57 LOC's

Literaturverzeichnis

- [Hal08] Thomas C. Hales. Formal proof. *Notices of the AMS*, 55(11), 2008.
- [KS07] Herbert Klaeren and Michael Sperber. *Die Macht der Abstraktion*. B. G. Teubner, 1. edition, 2007.
- [Mös94] Hanspeter Mössenböck. *Objektorientierte Programmierung in Oberon-2*. Springer-Verlag GmbH, 2. edition, 1994.
- [Rat12] Amit Rathore. *Clojure in Action*. Manning Publications Co., 2012.