

Informatik II Skript Sommersemester 2015

Finn Ickler

8. Mai 2015

Inhaltsverzeichnis

1	14.4.2015	2
2	16.4.2015	3
3	21.4.2015	5
4	23.4.2015	7
5	28.4.2015	8
6	30.4.2015	11
7	5.5.2015	14
8	7.6.2015	16

1 14.4.2015

Scheme

Ausdrücke , Auswertung und Abstaktion

Dr Racket

Definitonsfenster

Willkommen bei [DrRacket](#), Version 6.1.1 [3m].

Sprache: **Die Macht der Abstraktion**; memory limit: **128 MB**.

> [Interaktionsfenster](#)

Die Anwendung von Funktionen wird in Scheme ausschließlich in Präfixnotation durchgeführt

Mathematik	Scheme
$44 - 2$	<code>(-44 2)</code>
$f(x, y)$	<code>(f x y)</code>
$\sqrt{81}$	<code>(sqrt 81)</code>
9^2	<code>(expt 92)</code>
$3!$	<code>(! 3)</code>

Allgemein: (`<funktion><argument1><argument2>...`)

`(+ 40 2)` und `(odd? 42)` sind Beispiele für Ausdrücke, die bei Auswertung einen Wert liefern.

(Notation: \rightsquigarrow)

`(+ 40 2)` \rightsquigarrow 42


`(odd? 42)` \rightsquigarrow #f

Reduktion

Interaktionsfenster:

$$\underbrace{Read \rightarrow Eval \rightarrow Print \rightarrow Loop}_{REPL}$$

Literale sethen für einen konstanten Wert (auch: Konstante) und sind nicht weiter reduzierbar.

Literal		Sorte, Typ
#f, #t	(true, false, Wahrheitswert)	boolean
"x"	(Zeichenketten)	String
0 1904 42 -2	(ganze Zahl)	Integer
0.42 3.14159	(Fließkommazahl)	real
1\2, 3\4, -1\10	(rationale Zahlen)	rational
	(Bilder)	image

2 16.4.2015

Auswertung zusammengesetzter Ausdrücke in mehreren Schritten (Steps), von “innen nach außen“, bis keine Reduktion mehr möglich ist.

$(+ ((+ 20 20) (+ 1 1))) \rightsquigarrow (+ 40 ((+ 1 1))) \rightsquigarrow (+ 40 2) \rightsquigarrow 42$

Achtung: Scheme rudnet bei Arithmetik mit Fließkommazahlen (interne Darstellung ist binär).

Beispiel: Auswertung eines zusammengesetzten Ausdrucks

```
; Achtung: Arithmetik mit Fließkommazahlen (real)\\
unterliegt Rundung!
(+ 0.7
  (- (/ 1/2 0.25)
    (/ 0.6 0.3)))

(- (+ 0.7
    (/ 1/2 0.25))
  (/ 0.6 0.3))

; Arithmetik mit rationalen Zahlen (rational) ist exakt
(- (+ 7/10
    (/ 1/2 1/4))
  (/ 6/10 3/10))
```

Ein Wert kann an einen Namen (auch Identifizier) gebunden werden, durch
 (define <id><e>) <id>Identifizier <e>Ausdruck

Erlaubte konsistente Wiederverwendung, dient der Selbstdokumentation von Programmen

Achtung: Dies ist eine sogenannte Spezialform und kein Ausdruck. Insbesondere besitzt diese Spezialform keinen Wert, sondern einen Effekt Name <id> wird an den Wert von <e> gebunden.

Namen können in Scheme beliebig gewählt werden, solange

- (1) die Zeichen () [] { } “ , ‘ ‘ ; # | \ nicht vorkommen
- (2) dieser nicht einem numerischen Literal gleicht.
- (3) kein Whitespace (Leerzeichen, Tabulator, Return) enthalten ist.

Beispiel: euro→US\$

Achtung: Groß- \ Kleinschreibung ist irrelevant.

```
; Bindung von Werten an Namen
(define absoluter-nullpunkt -273.15)
(define pi 3.141592653)
(define Gruendungsjahr-SC-Freiburg 1904)
(define top-level-domain-germany "de")
(define minutes-in-a-day (* 24 60))
(define vorwahl-tuebingen (sqrt 1/2))
```

Eine lambda-Abstraktion (auch Funktion, Prozedur) erlaubt die Formatierung von Ausdrücken, in denen mittels Parametern von konkreten Werten abstrahiert wird.

(lambda (<p1><p2 >...) <e>

<e>Rumpf: enthält Vorkommen der Parameter <p_n>

(lambda(...)) ist eine Spezialform. Wert der lambda-Abstraktion ist #<procedure>

. Anwendung (auch Application) des lambda-Aufrufs führt zur Ersetzung aller Vorkommen der Parameter im Rumpf durch die angegebenen Argumente.

```
; Abstraktion: Ausdruck mit "Loch" ⊙
(lambda (⊙) (* ⊙ (* 155 minutes-in-a-day)))

; Zuwachs der Weltbevoelkerung innerhalb von days Tagen
(define population-growth-in-days
  (lambda (days) (* days (* 155 minutes-in-a-day))))

(population-growth-in-days 7)
```

(lambda (days) (* days (* 155 minutes-in-a-day))) 365) ~~~~
 (* 365 (* 155 minutes-in-a-day)) ~~~~81468000

In Scheme leitet ein Semikolon einen Kommentar ein, der bis zum Zeilenende reicht und

vom System bei der Auswertung ignoriert wird.

Prozeduren sollten im Programm ein- bis zweizeilige Kurzbeschreibungen direkt vorangestellt werden.

3 21.4.2015

Eine Signatur prüft, ob ein Name an einen Wert einer angegebenen Sorte (Typ) gebunden wird. Signaturverletzungen werden protokolliert.

(: <id><signatur>)

Bereits eingebaute Signaturen

natural	\mathbb{N}	boolean
integer	\mathbb{Z}	string
rational	\mathbb{Q}	image
real	\mathbb{R}	...
numver	\mathbb{C}	

(: ...) ist eine Spezialform und hat keinen Wert, aber einen Effekt: Signaturprüfung

Prozedur Signatur spezifizieren sowohl Signaturen für die Parameter P_1, P_2, \dots, P_n als auch den Ergebniswert der Prozedur,

(: <Signatur P_1 >... <Signatur P_n >- > <Signatur Ergebnis>)

Prozedur Signaturen werden bei jeder Anwendung einer Prozedur auf Verletzung geprüft. Testfälle dokumentieren das erwartete Ergebnis einer Prozedur für ausgewählte Argumente:

(check-expect < e_1 >< e_2 >)

Werte Ausdruck < e_1 > aus und teste, ob der erhaltene Wert der Erwartung < e_2 > entspricht (= der Wert von < e_2 >) Einer Prozedur sollte Testfälle direkt vorangestellt werden.

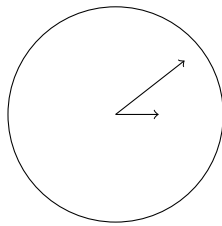
Spezialform: kein Wert, sondern Effekt: Testverletzung protokollieren

Konstruktionsanleitung für Prozeduren:

- (1) Kurzbeschreibung (ein- bis zweizeiliger Kommentar mit Bezug auf Parametername)
- (2) Signaturen
- (3) Testfälle
- (4) Prozedurrumpf

Top-Down-Entwurf (Programmieren durch "Wunschdenken")

Beispiel: Zeichne Ziffernblatt (Stunden- und Minutenzeiger) zu Uhrzeit h:m auf einer analogen 24h-Uhr



Minutenzeiger legt $\frac{360^\circ}{60}$ Grad pro Minute zurück (also $\frac{360}{60} \cdot m$)
 Studentenzeiger legt $\frac{360}{12}$ pro Stunde zurück ($\frac{360}{12} \cdot h + \frac{360}{12} \cdot \frac{m}{60}$)

```
; Grad, die Minutenzeiger pro Minute zuruecklegt
(define degrees-per-minute 360/60)

; Grad, die Stundenzeiger pro voller Stunde zuruecklegt
(define degrees-per-hour 360/12)

; Zeichne Ziffernblatt zur Stunde h und Minute m
(: draw-clock (natural natural -> image))
(check-expect (draw-clock 4 15) (draw-clock 16 15))
(define draw-clock
  (lambda (h m)
    (clock-face (position-hour-hand h m)
                 (position-minute-hand m))))

; Winkel (in Grad), den Minutenzeiger zur Minute m einnimmt
(: position-minute-hand (natural -> rational))
(check-expect (position-minute-hand 15) 90)
(check-expect (position-minute-hand 45) 270)
(define position-minute-hand
  (lambda (m)
    (* m degrees-per-minute)))

; Winkel (in Grad), den Stundenzeiger zur Stunde h einnimmt
(: position-hour-hand (natural natural -> rational))
(check-expect (position-hour-hand 3 0) 90)
(check-expect (position-hour-hand 18 30) 195)
(define position-hour-hand
  (lambda (h m)
    (+ (* (modulo h 12) degrees-per-hour)
       ; h mod 12 in {0,1,...,11}
       (* (/ m 60) degrees-per-hour))))
```

```

; Zeichne Ziffernblatt mit Minutenzeiger um dm und
; Stundenzeiger um dh Grad gedreht
(: clock-face (rational rational -> image))
(define clock-face
  (lambda (dh dm)
    (clear-pinhole
     (overlay/pinhole
      (circle 50 "outline" "black")
      (rotate (* -1 dh) (put-pinhole 0 35 (line 0 35 "red")))
      (rotate (* -1 dm) (put-pinhole 0 45 (line 0 45 "blue"))))))))

```

4 23.4.2015

Substitutionsmodell

Reduktionsregeln für Scheme (Fallunterscheidung je nach Ausdrücken) wiederhole, bis keine Reduktion mehr möglich

- literal (1, "abc", #t, ...) $l \rightsquigarrow l$ [eval_{lit}]
- Identifier id(pi, clock-face,...) $id \rightsquigarrow$ gebundene Wert [eval_{id}]
- lambda Abstraktion $(\text{lambda } (\dots) \dots) \rightsquigarrow \text{lambda}(\dots) \dots$ [eval_λ]
- Applikationen $(f\ e_1\ e_2 \dots)$

$$f, e_1, e_2 \text{ reduzieren erhalte: } f', e_1', e_2' \quad (1)$$

- (2) $\begin{cases} \text{Operation } f' \text{ auf } e_1' \text{ und } e_2' \text{ [apply}_{prim}] & \text{falls } f' \text{ primitiv ist} \\ \text{Argumentenwerte in den Rumpf von } f' \text{ einsetzen, dann reduzieren} & \text{falls } f' \text{ lambda Abstraktion} \end{cases}$

Beispiel:

$(+ 40 2) \rightsquigarrow_{evalid} (\# <procedure +> 40 2) \rightsquigarrow 42$

$(\text{position-minute-hand } 30)$	\rightsquigarrow eval id \rightsquigarrow eval lambda \rightsquigarrow eval id \rightsquigarrow apply prim	$((\text{lambda } (m) (* \text{degrees-per-minute } m)) 30)$ $(* \text{degrees-per-minute } 30)$ $(\# <procedure *> \frac{360}{60} 30)$ 180
-------------------------------------	---	--

Bezeichnen $(\text{lambda } (x) (* x x))$ und $\text{lambda } (r) (* r r)$ die gleiche Prozedur? \Rightarrow JA!

Achtung: Das hat Einfluß auf das Korrekte Einsetzen von Argumenten für Prozeduren (siehe apply)

Prinzip der Lexikalischen Bindung

Das bindene Vorkommen eines Identifiers *id* kann im Programmtext systematisch bestimmt werden: Suche strikt von innen nach außen, bis zum ersten

(1) (lambda (r) <Rumpf>

(2) (define <e>)

Übliche Notation in der Mathematik: Fallunterscheidung

$$\max(x_1, x_2) = \begin{cases} x_1 & \text{falls } x_1 \geq x_2 \\ x_2 & \text{sonst} \end{cases}$$

Tests (auch Prädikate) sind Funktionen, die einen Wert der Signatur boolean liefern.

Typische primitive Tests.

(: = (number number -> boolean))

(: < (real real -> boolean))

auch >, <=, >=

(: String=? (string string -> boolean))

auch string>?, string<=?

(: zero? (number -> boolean))

odd?, even?, positive?, negative?

Binäre Fallunterscheidung if

if

< *e*₁ > Mathematik:

$$\langle e_2 \rangle = \begin{cases} e_1 & \text{falls } t_1 \\ e_2 & \text{sonst} \end{cases}$$

< *e*₂ >)

5 28.4.2015

Die Signatur one of lässt genau einen der ausgewählten Werte zu.

(one of <*e*₁> <*e*₂> ... <*e*₁>)

```
; Punkte der Heimmannschaft bei Ergebnis h:a
(: heim-punkte (natural natural -> (one-of 3 0 1)))
(check-expect (heim-punkte 2 0) 3)
(check-expect (heim-punkte 1 4) 0)
(check-expect (heim-punkte 3 3) 1)
(define heim-punkte
  (lambda (h a)
    (cond ((> h a) 3)
```



```
((< h a) 0)
(else 1)))
```

Reduktion von if:

(if t_1 $\langle e_1 \rangle$ $\langle e_2 \rangle$)

① Reduziere t_1 , erhalte $t'_1 \rightsquigarrow$ ② $\begin{cases} \langle e_1 \rangle & \text{falls } t'_1 = \#t, \langle e_2 \rangle \text{ niemals ausgewertet} \\ \langle e_2 \rangle & \text{falls } t'_1 = \#f, \langle e_1 \rangle \text{ niemals ausgewertet} \end{cases}$

```
; Koennen wir unser eigenes `if' aus `cond' konstruieren? (Nein!)

; Bedingte Auswertung von e1 oder e2 (abhaengig von t1)
(check-expect (my-if (= 42 42) "Yes!" "No!") "Yes!")
(check-expect (my-if (odd? 42) "Yes!" "No!") "No!")
(define my-if
  (lambda (t1 e1 e2)
    (cond (t1 e1)
          (else e2))))

; Sichere Division x/y, auch fuer y = 0
(: safe-/ (real real -> real))
(define safe-/
  (lambda (x y)
    (my-if (= y 0)      ; <-- Funktion my-if wertet ihre Argumente
           x            ; vor der Applikation aus: (/ x y) wird
           (/ x y))))  ; in *jedem* Fall reduziert. :-()

(safe-/ 42 0)          ; Fuehrt zu Fehlermeldung "division by zero"
                      ; (Reduktion mit Stepper durchfuehren)
```

Spezifikation Fallunterscheidung (conditional expression):

(cond Mathematik:

$$\begin{array}{l} (\langle t_1 \rangle \langle e_1 \rangle) \\ (\langle t_2 \rangle \langle e_2 \rangle) \\ \dots \\ (\langle t_n \rangle \langle e_n \rangle) \\ (\text{else } \langle e_{n+1} \rangle) \end{array} \left\{ \begin{array}{l} e_1 \text{ falls } t_1 \\ e_2 \text{ falls } t_2 \\ \dots \\ e_n \text{ falls } t_n \\ e_{n+1} \text{ sonst} \end{array} \right.$$

Werte die Tests in den Reihenfolge $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ aus.

Sobald $t_i \# t$ ergibt, werte Zweig e_i aus. e_i ist Ergebnis der Fallunterscheidung. Wenn $t_n \# t$ liefert, dann liefert

$\begin{cases} \text{Fehlermeldung „cond: alle Tests ergaben false“} & \text{falls kein else Zweig} \\ \langle e_{n+1} \rangle & \text{sonst} \end{cases}$

```

; Absolutwert von x
(: my-abs (real -> real))
(check-within (my-abs -4.2) 4.2 0.001) ; Wichtig:
(check-within (my-abs 4.2) 4.2 0.001) ; Tesfaelle decken alle
    Zweige
(check-within (my-abs 0) 0 0.001) ; der conditional
    expression an
(define my-abs
  (lambda (x)
    (cond ((< x 0) (- x))
          ((> x 0) x)
          (else 0))))

```

Reduktion von cond [eval_{cond}]

$(\text{cond } (<t_1><e_1>)(<t_2><e_2>)\dots(<t_n><e_n>))$

① Reduziere t_1 erhalte $t'_1 \rightsquigarrow$ ② $\begin{cases} <e_1> & \text{falls } t'_1 = \#t \\ (\text{cond } <t_2> <e_2>) & \text{sonst} \end{cases}$

$(\text{cond}) \rightsquigarrow$ „Fehlermeldung : alle Test ergaben false“

$(\text{cond } (\text{else } <e_{n+1}>)) \rightsquigarrow e_{n+1}$

cond ist syntaktisches Zucker (auch abgeleitete Form) für eine verbundene Anwendung von if

```

(cond (<t1><e1>)
      (<t2><e2>)
      ...
      (<tn><en>)
      (else <en+1>))

if (<t1>
   <e1>
   if <t2>
   if <e2>
   ...
   if <tn>
   <en>
   <en+1>))

```

Spezialform 'and' und 'or'

$(\text{or } <t_1> <t_2> \dots <t_n>) \rightsquigarrow (\text{if } <t_1> (\text{or } <t_2> \dots <t_n>) \#t)$

$(\text{or}) \rightsquigarrow \#f$

$(\text{and } <t_1> <t_2> \dots <t_n>) \rightsquigarrow (\text{if } <t_1> (\text{and } <t_2> \dots <t_n>) \#f)$

$(\text{and}) \rightsquigarrow \#t$

```

; Konstruktion komplexer Praedikate mittels `and' und `or':

```

```

(and #t #f) ; eval #f (Mathematik: Konjunktion)
(or  #t #f) ; eval #t  (Mathematik: Disjunktion)

```

```

; Kennzeichen am/pm fuer Stunde h

```

```
(: am/pm (natural -> (one-of "am" "pm" "???"))
(check-expect (am/pm 10) "am")
(check-expect (am/pm 13) "pm")
(check-expect (am/pm 25) "???")
(define am/pm
  (lambda (h)
    (cond ((and (>= h 0) (< h 12)) "am")
          ((and (>= h 12) (< h 24)) "pm")
          (else "???"))))
```

6 30.4.2015

Zusammengesetzte Daten

Ein Charakter besteht aus drei Komponenten

- Name des Charakters (name)
 - Handelt es sich um einen Jedi? (jedi?)
 - Stärke der Macht (force)
- } Datendefinition für zusammengesetzte Daten

Konkrete Charakter:

name	„Luke Skywalker“
jedi?	#f
force	25

```
; Ein Charakter (character) besteht aus
; - Name (name)
; - Jedi-Status (jedi?)
; - Stärke der Macht (force)
(: make-character (string boolean real -> character))
(: character? (any -> boolean))
(: character-name (character -> string))
(: character-jedi? (character -> boolean))
(: character-force (character -> real))
(define-record-procedures character
  make-character
  character?
  (character-name
   character-jedi?
   character-force))

; Definiere verschiedene Charaktere des Star Wars Universums
(define luke
  (make-character "Luke_Skywalker" #f 25))
(define r2d2
  (make-character "R2D2" #f 0))
(define dooku
  (make-character "Count_Dooku" #f 80))
```

```
(define yoda
  (make-character "Yoda" #t 85))
```

Zusammengesetzte Daten = Records in Scheme Record-Definition legt fest:

- Record-Signatur
- Konstruktor (baut aus Komponenten einen Record)
- Prädikat (liegt ein Record vor?)
- Liste von Selektoren (lesen jeweils eine Komponente des Records)

```
(define-record-procedure <t>
  make-<t>
  <t>?
  (<t>-<comp1> ... <t>-<comp2>))
;Liste der n Selektoren
```

Verträge des Konstruktors der Selektoren für Record- Signatur
 <t> mit Komponenten namens <comp₁> ... <comp_n>

```
(: make-<t> (<t1>...<t2>) -> <t>)
(: <t>-<comp1> (<t> -> <t1>))
(: <t>-<compn> (<t> -> <tn>))
```

Es gilt für alle Strings n, Booleans j und Integer f:

```
(character-name (make-character n j f) n)
(character-jedi? (make-character n j f) j)
(character-force (make-character n j f) f )
```

Spezialform check-property:

```
(check-property
  (for-all ((<id1> <sig1>) ...
            (<idn> <sign>))
    <e>))
```

↓

;Bezieht sich auf <id1> ... <idn>

Test erfolgreich, falls <e> für beliebig gewählte Bedeutungen für <id₁> ... <id_n>
 immer #t ergibt

Interaktion von Selektoren und Konstruktor:

```
(check-property
  (for-all ((n string)
            (j boolean)
            (f real))
    (expect (character-name (make-character n j f)) n)))

(check-property
  (for-all ((n string)
```

```

                (j boolean)
                (f real))
  (expect (character-jedi? (make-character n j f)) j)))

(check-property
  (for-all ((n string)
            (j boolean)
            (f real))
    (expect-within (character-force (make-character n j f)) f
      0.001)))

```

Beispiel: Die Summe von zwei natürlichen Zahlen ist mindestens so groß wie jeder dieser Zahlen: $\forall x_1 \in \mathbb{N}, x_2 \in \mathbb{N} : x_1 + x_2 \geq \max\{x_1, x_2\}$

```

; Für alle natürlichen Zahlen x1,x2 gilt: x1 + x2 ≥ max(x1,x2)
(check-property
  (for-all ((x1 natural)
            (x2 natural))
    (>= (+ x1 x2) (max x1 x2))))

```

Konstruktion von Funktionen, die bestimmte gesetzte Daten konsumiert.

- Welche Record-Componenten sind relevant für Funktionen?

→ Schablone:

```

(: sith? (character -> boolean))
(define sith?
  (lambda (c)
    ... (character-jedi? c)
    ... (character-force c) ...))

```

Konstruktion von Funktionen, die zusammengesetzte Daten konstruieren

- Der konstruktor muss aufgerufen werden

→ Schablone:

```

(define
  lambda (...)
    ... (make-<t>) ...)

```

- Konkrete Beispiele:

```

; Könnte Charakter c ein Sith sein?
(: sith? (character -> boolean))
(check-expect (sith? yoda) #f)
(check-expect (sith? r2d2) #f)
(define sith?
  (lambda (c)

```

```

    (and (not (character-jedi? c))
         (> (character-force c) 0)))

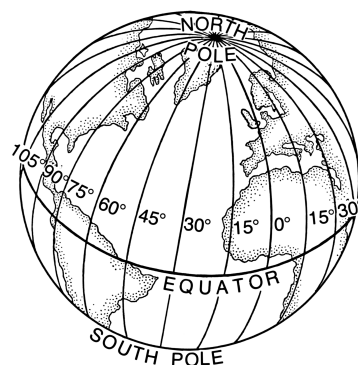
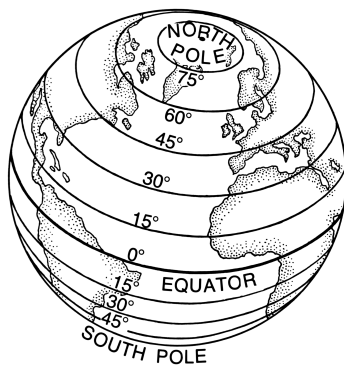
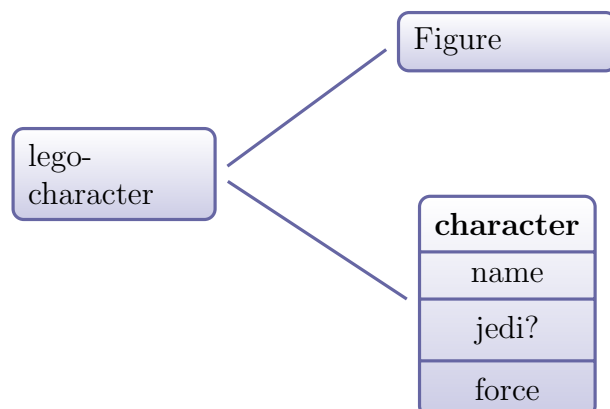
; Bilde den Charakter c zum Jedi aus (sofern c überhaupt Macht
  besitzt)
(: train-jedi (character -> character))

(check-expect (train-jedi luke) (make-character "Luke_Skywalker"
#t 50))
(check-expect (train-jedi r2d2) r2d2)

(define train-jedi
  (lambda (c)
    (make-character (character-name c)
                    (> (character-force c) 0)
                    (* 2 (character-force c)))))

```

7 5.5.2015



Position Nord/Südwest vom Äquator Position west/östlich vom Nullmeridian

Sei $\langle p \rangle$ ein Prädikat mit Signatur $(\langle t \rangle \rightarrow \text{boolean})$.

Eine Signatur der Form $(\text{predicate } \langle p \rangle)$ gilt für jeden Wert der Signatur $\langle t \rangle$ sofern $(\langle p \rangle) \rightsquigarrow \#t$

Signaturen des Typs $(\text{predicate } \langle p \rangle)$ sind damit spezifischer (restriktiver) als die Signatur $\langle t \rangle$ selbst.

`(define <newt>(signature <t>))`

Beispiele:

```
(define farbe
  (signature (one-of "Blatt" "Herz" "Blatt" "Eichel"
                    "Schell")))
```

```
; Ist x ein gültiger Breitengrad
; zwischen Südpol (-90°) und Nordpol (90°)?
(: latitude? (real -> boolean))
(check-expect (latitude? 78) #t)
(check-expect (latitude? -92) #f)
(define latitude?
  (lambda (x)
    (within? -90 x 90)))

; Ist x ein gültiger Längengrad westlich (bis -180°)
; bzw. östlich (bis 180°) des Meridians?
(: longitude? (real -> boolean))
(check-expect (longitude? 0) #t)
(check-expect (longitude? 200) #f)
(define longitude?
  (lambda (x)
    (within? -180 x 180)))

; Signaturen für Breiten-/Längengrade basierend auf
; den obigen Prädikaten
(define latitude
  (signature (predicate latitude?)))
(define longitude
  (signature (predicate longitude?)))
```

8 7.5.2015

Man kann jedes `one-of` durch ein `predicate` ersetzen.

```
(: f ((one-of 0 1 2) -> natural))
(define f
  (lambda (x)
    x))

; And then the "The Great one-of Extinction" of 2015 occurred
```



```
; .

(: g (predicate
      (lambda (x) (or (= x 0) (= x 1) (= x 2)))) -> natural))
(define g
  (lambda (x)
    x))
```

Geocoding: Übersetze eine Ortsangabe mittels des Google Maps Geocoding API (Application Programm Interface) in eine Position auf der Erdkugel.

```
(: geocoder (string -> (mixed geocode geocode-error)))
```

Ein geocode besteht aus

Signatur			
-	Adresse	(address)	string
-	Ortsangabe	(loc)	location
-	Nordostecke	(northeast)	location
-	Südwestecke	(southwest)	location
-	Typ	(type)	string
-	Genauigkeit	(accuracy)	string

```
(: geocode-address (geocode -> string))
(: geocode-loc (geocode -> location))
(: geocode-... (geocode -> ...))
```

Ein geocode-error besteht aus:

Signatur			
-	Fehlerart	(level)	(one-of "TCP" "HTTP" "JSON" "API")
-	Fehlermeldung	(message)	string

Gemischte Daten

Die Signatur


```
(mixed <t1> ... <tn>)
```

ist gültig für jeden Wert, der mindestens eine der Signaturen $\langle t_1 \rangle \dots \langle t_n \rangle$ erfüllt.

Beispiel: Data-Definition

Eine Antwort des Geocoders ist entweder

- ein Geocode (geocode) oder
- eine Fehlermeldung (geocode-error)

Beispiel (eingebaute Funktion string->number)

```
(: string->number (string -> (mixed number (one-of #f))))
(string->number "42") ~> 42
(string-> number "foo") ~> #f
```

```
(define geocoder-response
  (signature (mixed geocode geocode-error)))

(: sand13 geocoder-response)
(define sand13
  (geocoder "Sand_13,_Tübingen"))

(geocode-address sand13)
(geocode-type sand13)
(location-lat (geocode-loc sand13))
(location-lng (geocode-loc sand13))
(geocode-accuracy sand13)

(: lady-liberty geocoder-response)
(define lady-liberty
  (geocoder "Statue_of_Liberty"))

(: alb geocoder-response)
(define alb
  (geocoder "Schwäbische_Alb"))

(: A81 geocoder-response)
(define A81
  (geocoder "A81,_Germany"))
```

Erinnerung:

Das Prädikat $\langle t \rangle?$ einer Signatur $\langle t \rangle$ unterscheidet Werte der Signatur $\langle t \rangle$ von allen anderen Werten:

```
(: <t>? (any -> boolean))
```

Auch: Prädikat für eingebaute Signaturen

```
number?
complex?
real?
rational?
integer?
natural?
string?
boolean?
```

Prozeduren, die gemischte Daten der Signaturen $\langle t_1 \rangle \dots \langle t_n \rangle$ konsumieren:
Konstruktionsanleitung:

```
(: <t> ((mixed <t1> ... <tn>) -> ...))
(define <t>
  (lambda (x)
    (cond
      ((<t1>? x) ...)
      ...
      ((<tn>? x) ...))))
```

Mittels let lassen sich Werte an lokale Namen binden,

```
(let (
  (<id1> <e1>)
  (...)
  (<idn> <en>))
  <e>
)
```

Die Ausdrücke $\langle e_1 \rangle \dots \langle e_n \rangle$ werden parallel ausgewertet. $\Rightarrow \langle id_1 \rangle \dots \langle id_n \rangle$ können in $\langle e \rangle$ (und nur hier) verwendet werden. Der Wert des let Ausdrucks ist der Wert von $\langle e \rangle$.

```
; Liegt der Geocode r auf der südlichen Erdhalbkugel?
; (Breitengrad < 0°?)
(: southern-hemisphere? (string -> boolean))

(check-expect (southern-hemisphere? "Cape_Town") #t)
(check-expect (southern-hemisphere? "Tübingen") #f)
(check-error  (southern-hemisphere? "Mos_Eisley") "Unknown_
  location")

(define southern-hemisphere?
  (lambda (r)
    (let ((gc (geocoder r)))
      (cond ((geocode? gc)
```

```
(< (location-lat (geocode-loc gc)) 0))
((geocode-error? gc)
 (violation "Unknown_location"))))
```

ACHTUNG:

'let' ist verfügbar auf ab der Sprachebene "Macht der Abstraktion".

'let' ist syntaktisches Zucker.

(let (((lambda (<id ₁ > ... <id _n >)
(<id ₁ > <e ₁ >)		<e>
(...)	≡	<e ₁ >
(<id _n > <e _n >))		<e ₂ > ...
<e>		<e _n >
)		