

3 Syntax von Programmiersprachen

Syntax („Lehre vom Satzbau“)

- ▶ formale Beschreibung des Aufbaus der „Worte“ und „Sätze“, die zu einer Sprache gehören;
- ▶ im Falle einer **Programmiersprache** Festlegung, wie Programme aussehen müssen.

Hilfsmittel bei natürlicher Sprache

- ▶ Wörterbücher;
- ▶ Rechtschreibregeln, Trennungsregeln, Grammatikregeln;
- ▶ Ausnahmelisten;
- ▶ Sprachgefühl.

Hilfsmittel

Hilfsmittel bei Programmiersprachen

- ▶ Listen von **Schlüsselworten** wie **if**, **int**, **else**, **while**...
- ▶ Regeln, wie einzelne Worte (**Tokens**) z.B. **Namen** gebildet werden.
Frage: Ist `x10` ein zulässiger Name für eine Variable (oder `_ab` oder `A#B` oder `0A?B`)?...
- ▶ Grammatikregeln, die angeben, wie größere Komponenten aus kleineren aufgebaut werden.
Frage: Ist ein `while`-Statement im `else`-Teil erlaubt?
- ▶ Kontextbedingungen.
Beispiel: Eine Variable muss erst deklariert sein, bevor sie verwendet wird.

Hilfsmittel

Hilfsmittel bei Programmiersprachen

- ▶ Listen von **Schlüsselworten** wie `if`, `int`, `else`, `while`...

- ▶ Regeln, wie einzelne Worte (**Tokens**) z.B. **Namen** gebildet werden.

Frage: Ist `x10` ein zulässiger Name für eine Variable (oder `_ab` oder `A#B` oder `0A?B`)?...

- ▶ Grammatikregeln, die angeben, wie größere Komponenten aus kleineren aufgebaut werden.

Frage: Ist ein `while`-Statement im `else`-Teil erlaubt?

- ▶ Kontextbedingungen.

Beispiel: Eine Variable muss erst deklariert sein, bevor sie verwendet wird.

Hilfsmittel

Hilfsmittel bei Programmiersprachen

- ▶ Listen von **Schlüsselworten** wie `if`, `int`, `else`, `while`...
- ▶ Regeln, wie einzelne Worte (**Tokens**) z.B. **Namen** gebildet werden.
Frage: Ist `x10` ein zulässiger Name für eine Variable (oder `_ab` oder `A#B` oder `0A?B`)?...
- ▶ Grammatikregeln, die angeben, wie größere Komponenten aus kleineren aufgebaut werden.
Frage: Ist ein `while`-Statement im `else`-Teil erlaubt?
- ▶ Kontextbedingungen.
Beispiel: Eine Variable muss erst deklariert sein, bevor sie verwendet wird.

Hilfsmittel

Hilfsmittel bei Programmiersprachen

- ▶ Listen von **Schlüsselworten** wie `if`, `int`, `else`, `while`...
- ▶ Regeln, wie einzelne Worte (**Tokens**) z.B. **Namen** gebildet werden.
Frage: Ist `x10` ein zulässiger Name für eine Variable (oder `_ab` oder `A#B` oder `0A?B`)?...
- ▶ Grammatikregeln, die angeben, wie größere Komponenten aus kleineren aufgebaut werden.
Frage: Ist ein `while`-Statement im `else`-Teil erlaubt?
- ▶ Kontextbedingungen.
Beispiel: Eine Variable muss erst deklariert sein, bevor sie verwendet wird.

Programmiersprachen sind

- ▶ formalisierter als natürliche Sprache
- ▶ besser für maschinelle Verarbeitung geeignet.

Semantik („Lehre von der Bedeutung“)

- ▶ Ein Satz einer (natürlichen) Sprache verfügt zusätzlich über eine **Bedeutung**, d.h. teilt einem Hörer/Leser einen Sachverhalt mit (↑**Information**)
- ▶ Ein Satz einer Programmiersprache, d.h. ein Programm verfügt ebenfalls über eine **Bedeutung**...

Syntax vs. Semantik

Die Bedeutung eines Programms ist

- ▶ alle möglichen **Ausführungen** der beschriebenen Berechnung (↑**operationelle Semantik**); oder
- ▶ die definierte **Abbildung** der Eingaben auf die Ausgaben (↑**denotationelle Semantik**).

Achtung!

Ist ein Programm **syntaktisch korrekt**, heißt das noch lange nicht, dass es auch das „richtige“ tut, d.h. **semantisch korrekt** ist!!!

Syntax vs. Semantik

Die Bedeutung eines Programms ist

- ▶ alle möglichen **Ausführungen** der beschriebenen Berechnung (↑**operationelle Semantik**); oder
- ▶ die definierte **Abbildung** der Eingaben auf die Ausgaben (↑**denotationelle Semantik**).

Achtung!

Ist ein Programm **syntaktisch korrekt**, heißt das noch lange nicht, dass es auch das „richtige“ tut, d.h. **semantisch korrekt** ist!!!

Syntax vs. Semantik

Die Bedeutung eines Programms ist

- ▶ alle möglichen **Ausführungen** der beschriebenen Berechnung (↑**operationelle Semantik**); oder
- ▶ die definierte **Abbildung** der Eingaben auf die Ausgaben (↑**denotationelle Semantik**).

Achtung!

Ist ein Programm **syntaktisch korrekt**, heißt das noch lange nicht, dass es auch das „richtige“ tut, d.h. **semantisch korrekt** ist!!!

3.1 Reservierte Wörter

- ▶ `int`
⇒ Bezeichner für Basistypen;
- ▶ `if, else, then, while...`
⇒ Schlüsselwörter für Programmkonstrukte;
- ▶ `(,), ", ', {, }, ,, ;`
⇒ Sonderzeichen;

3.2 Was ist ein erlaubter Name?

Schritt 1:

Festlegung erlaubter Zeichen:

```
letter ::= $ | _ | a | ... | z | A | ... | Z
digit  ::= 0 | ... | 9
```

- ▶ letter und digit bezeichnen **Zeichenklassen**, d.h. Mengen von Zeichen, die gleich behandelt werden.
- ▶ Das Symbol „|“ trennt zulässige Alternativen.
- ▶ Das Symbol „...“ repräsentiert die Faulheit, alle Alternativen wirklich aufzuzählen.

3.2 Was ist ein erlaubter Name?

Schritt 1:

Festlegung erlaubter Zeichen:

```
letter ::= $ | _ | a | ... | z | A | ... | Z
digit  ::= 0 | ... | 9
```

- ▶ **letter** und **digit** bezeichnen **Zeichenklassen**, d.h. Mengen von Zeichen, die gleich behandelt werden.
- ▶ Das Symbol „|“ trennt zulässige Alternativen.
- ▶ Das Symbol „...“ repräsentiert die Faulheit, alle Alternativen wirklich aufzuzählen.

3.2 Was ist ein erlaubter Name?

Schritt 2:

Festlegung der Zeichenanordnung:

$$\text{name} \quad ::= \quad \text{letter (letter | digit)}^*$$

- ▶ Erst kommt ein Zeichen der Klasse **letter**, dann eine (eventuell auch leere) Folge von Zeichen entweder aus **letter** oder aus **digit**.
- ▶ Der Operator „*“ bedeutet „beliebig oft wiederholen“ („weglassen“ ist 0-malige Wiederholung).
- ▶ Der Operator „*“ ist ein **Postfix**-Operator. Das heißt, er steht hinter seinem Argument.

Beispiele

_178

Das_ist_kein_Name

x

_

\$Password\$

...sind legale Namen.

5ABC

!Hallo!

x'

a=b

-178

...sind keine legalen Namen.

Achtung

Reservierte Wörter sind als Namen verboten.

Beispiele

_178

Das_ist_kein_Name

x

_

\$Password\$

...sind legale Namen.

5ABC

!Hallo!

x'

a=b

-178

...sind keine legalen Namen.

Achtung

Reservierte Wörter sind als Namen verboten.

3.3 Ganze Zahlen

Werte, die direkt im Programm stehen, heißen **Konstanten**.
Ganze nichtnegative Zahlen bestehen aus einer nichtleeren Folge von Ziffern:

`number ::= digit digit*`

- ▶ Wie sähe die Regel aus, wenn wir führende Nullen verbieten wollen?

Beispiele

17

12490

42

0

00070

...sind `int`-Konstanten

"Hello World!"

0.5e+128

...sind keine `int`-Konstanten

Reguläre Ausdrücke

Die Alternative hat eine geringere Bindungsstärke als die Konkatenation. D.h. $ab|c$ steht für die Wörter ab oder c und nicht für ab oder ac .

Ausdrücke, die aus Zeichen(-klassen) mithilfe von

- | (Alternative)
- * (Iteration)
- (Konkatenation) sowie
- ? (Option)

...aufgebaut sind, heißen **reguläre Ausdrücke** (↑Automatentheorie).

Der Postfix-Operator „?“ besagt, dass das Argument eventuell auch fehlen darf, d.h. einmal oder keinmal vorkommt.

Gelegentlich sind auch ϵ , d.h. das „leere Wort“ sowie \emptyset , d.h. die leere Menge zugelassen.

Beispiele

Reguläre Ausdrücke reichen zur Beschreibung **einfacher** Mengen von Worten aus.

- ▶ **(letter letter)***
⇒ alle Wörter gerader Länge (über \$, _, a, . . . , z, A, . . . , Z);
- ▶ letter* **test** letter*
⇒ alle Wörter, die das Teilwort **test** enthalten;
- ▶ **_ digit*** 17
⇒ alle Wörter, die mit **_** anfangen, dann eine beliebige Folge von Ziffern aufweisen, die mit **17** aufhört;
- ▶ **exp ::= (e|E)(+|-)? digit digit***
float ::= digit digit* exp | digit* (digit . | . digit) digit* exp?
⇒ alle Gleitkommazahlen...

Beispiele

Reguläre Ausdrücke reichen zur Beschreibung **einfacher** Mengen von Worten aus.

▶ **(letter letter)***

⇒ alle Wörter gerader Länge (über
\$, _, a, . . . , z, A, . . . , Z);

▶ **letter* test letter***

⇒ alle Wörter, die das Teilwort test enthalten;

▶ **_ digit* 17**

⇒ alle Wörter, die mit _ anfangen, dann eine beliebige Folge von Ziffern aufweisen, die mit 17 aufhört;

▶ **exp ::= (e|E)(+|-)? digit digit***

float ::= digit digit* exp |

digit* (digit . | . digit) digit* exp?

⇒ alle Gleitkommazahlen...

Beispiele

Reguläre Ausdrücke reichen zur Beschreibung **einfacher** Mengen von Worten aus.

- ▶ **(letter letter)***
⇒ alle Wörter gerader Länge (über \$, _, a, . . . , z, A, . . . , Z);
- ▶ **letter* test letter***
⇒ alle Wörter, die das Teilwort test enthalten;
- ▶ **_ digit* 17**
⇒ alle Wörter, die mit _ anfangen, dann eine beliebige Folge von Ziffern aufweisen, die mit 17 aufhört;
- ▶ **exp ::= (e|E)(+|-)? digit digit***
float ::= digit digit* exp | digit* (digit . | . digit) digit* exp?
⇒ alle Gleitkommazahlen...

Beispiele

Reguläre Ausdrücke reichen zur Beschreibung **einfacher** Mengen von Worten aus.

- ▶ $(\text{letter letter})^*$
⇒ alle Wörter gerader Länge (über $\$, _, a, \dots, z, A, \dots, Z$);
- ▶ $\text{letter}^* \text{test letter}^*$
⇒ alle Wörter, die das Teilwort **test** enthalten;
- ▶ $_ \text{digit}^* 17$
⇒ alle Wörter, die mit $_$ anfangen, dann eine beliebige Folge von Ziffern aufweisen, die mit 17 aufhört;
- ▶ $\text{exp} ::= (\text{e|E})(+|-)? \text{digit digit}^*$
 $\text{float} ::= \text{digit digit}^* \text{exp} \mid$
 $\text{digit}^* (\text{digit} \cdot \mid \cdot \text{digit}) \text{digit}^* \text{exp}?$
⇒ alle Gleitkommazahlen...

Programmverarbeitung

1. Phase (↑Scanner)

Identifizierung von

- ▶ reservierten Wörtern,
- ▶ Namen,
- ▶ Konstanten

Ignorierung von

- ▶ Whitespace,
- ▶ Kommentaren

⇒ Input wird mit regulären Ausdrücken verglichen und dabei in Wörter („Tokens“) zerlegt.

2. Phase (↑Parser)

Analyse der Struktur des Programms.

Programmverarbeitung

1. Phase (↑Scanner)

Identifizierung von

- ▶ reservierten Wörtern,
- ▶ Namen,
- ▶ Konstanten

Ignorierung von

- ▶ Whitespace,
- ▶ Kommentaren

⇒ Input wird mit regulären Ausdrücken verglichen und dabei in Wörter („Tokens“) zerlegt.

2. Phase (↑Parser)

Analyse der **Struktur** des Programms.

3.4 Struktur von Programmen

Programme sind **hierarchisch** aus Komponenten aufgebaut. Für jede Komponente geben wir Regeln an, wie sie aus anderen Komponenten zusammengesetzt sein können.

```
program    ::=  decl* stmt*
decl       ::=  type name ( , name )* ;
type       ::=  int
```

- ▶ Ein Programm besteht aus einer Folge von Deklarationen, gefolgt von einer Folge von Statements.
- ▶ Eine Deklaration gibt den Typ an, hier: `int`, gefolgt von einer Komma-separierten Liste von Variablennamen.

3.4 Struktur von Programmen

Programme sind **hierarchisch** aus Komponenten aufgebaut. Für jede Komponente geben wir Regeln an, wie sie aus anderen Komponenten zusammengesetzt sein können.

```
program    ::=  decl* stmt*
decl       ::=  type name ( , name )* ;
type       ::=  int
```

- ▶ Ein Programm besteht aus einer Folge von Deklarationen, gefolgt von einer Folge von Statements.
- ▶ Eine Deklaration gibt den Typ an, hier: **int**, gefolgt von einer Komma-separierten Liste von Variablennamen.

Anweisungen

```
stmt ::= ; | { stmt* } |  
      name = expr; | name = read(); |  
      write( expr ); |  
      if ( cond ) stmt |  
      if ( cond ) stmt else stmt |  
      while ( cond ) stmt
```

- ▶ Ein Statement ist entweder „leer“ (d.h. gleich ;) oder eine geklammerte Folge von Statements;
- ▶ oder eine Zuweisung, eine Lese- oder Schreiboperation;
- ▶ eine (einseitige oder zweiseitige) bedingte Verzweigung;
- ▶ oder eine Schleife.

Ausdrücke

$\text{expr} ::= \text{number} \mid \text{name} \mid (\text{expr}) \mid$
 $\text{unop expr} \mid \text{expr binop expr}$

$\text{unop} ::= -$

$\text{binop} ::= - \mid + \mid * \mid / \mid \%$

- ▶ Ein Ausdruck ist eine Konstante, eine Variable oder ein geklammerter Ausdruck
- ▶ oder ein unärer Operator, angewandt auf einen Ausdruck,
- ▶ oder ein binärer Operator, angewandt auf zwei Argumentausdrücke.
- ▶ Einziger unärer Operator ist (bisher) die Negation.
- ▶ Mögliche binäre Operatoren sind Addition, Subtraktion, Multiplikation, (ganzzahlige) Division und Modulo.

Bedingungen

`cond` ::= `true` | `false` | `(cond)` |
`expr comp expr` |
`bunop cond` | `cond bbinop cond`

`comp` ::= `==` | `!=` | `<=` | `<` | `>=` | `>`

`bunop` ::= `!`

`bbinop` ::= `&&` | `||`

- ▶ Bedingungen unterscheiden sich dadurch von Ausdrücken, dass ihr Wert nicht vom Typ `int` ist sondern `true` oder `false` (ein **Wahrheitswert** – vom Typ `boolean`).
- ▶ Bedingungen sind darum Konstanten, Vergleiche
- ▶ oder logische Verknüpfungen anderer Bedingungen.

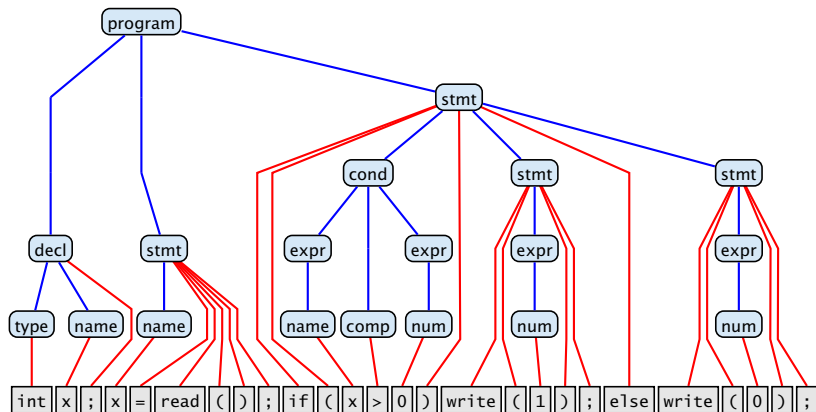
Beispiel

```
int x;  
x = read();  
if (x > 0)  
    write(1);  
else  
    write(0);
```

Die hierarchische Untergliederung von Programm-Bestandteilen veranschaulichen wir durch **Syntax-Bäume**.

Beispiel

Der komplette Syntaxbaum unseres Beispiels:

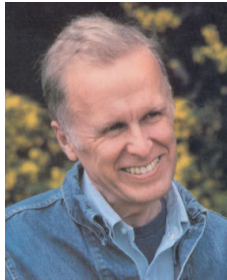


Bemerkungen

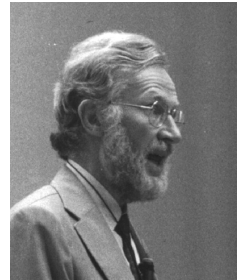
- ▶ Die vorgestellte Methode der Beschreibung von Syntax heißt **EBNF-Notation** (**E**xtended **B**ackus **N**aur **F**orm Notation).
- ▶ Ein anderer Name dafür ist **erweiterte kontextfreie Grammatik** (↑**Linguistik**, ↑**Automatentheorie**).
- ▶ Linke Seiten von Regeln heißen auch **Nichtterminale**.
- ▶ Tokens heißen auch **Terminale**.



Noam Chomsky,
MIT



John Backus, IBM
Turing Award
(Erfinder von Fortran)



Peter Naur,
Turing Award
(Erfinder von Algol60)

Kontextfreie Grammatiken

Achtung:

- ▶ Die regulären Ausdrücke auf den rechten Regelseiten können sowohl Terminale wie Nichtterminale enthalten.
- ▶ Deshalb sind kontextfreie Grammatiken **mächtiger** als reguläre Ausdrücke.

Beispiel:

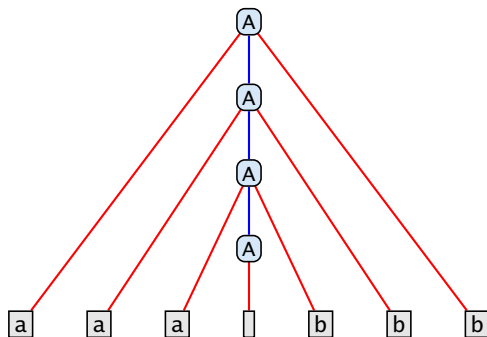
$$\mathcal{L} = \{\epsilon, ab, aabb, aaabbb, \dots\}$$

lässt sich mithilfe einer Grammatik beschreiben:

$$A ::= (a A b)?$$

Kontextfreie Grammatiken

Syntaxbaum für das Wort **aaabbb**:



Für \mathcal{L} gibt es aber keinen regulären Ausdruck
(↑Automatentheorie).