I.2. Grundlagen von Programmiersprachen

- 1. Der Begriff „Informatik“
- 2. Syntax und Semantik von Programmiersprachen

1. Der Begriff „Informatik“

- **"Informatik" =** *Kunstwort* **aus** *Information* **und** *Mathematik*
  - Wissenschaft der Informationsverarbeitung mit großer Nähe zur Mathematik

- **Hauptaufgabe der Informatik**
  - ***Entwicklung formaler, maschinell ausführbarer Verfahren*** zur Lösung von Problemen der Informationsverarbeitung

- **Forderung der Durchführbarkeit mittels einer Maschine:**
  - Informationen müssen als ***maschinell verarbeitbare Daten*** dargestellt werden
  - Lösungsverfahren müssen bis ***ins Detail*** formal beschrieben werden.

Algorithmus

- **Ein Algorithmus ist ein Verfahren, welches**
  - in einem ***endlichen*** Text niedergelegt werden muss
  - ***effektiv*** (durch eine ***Maschine***) ***ausgeführt*** werden kann
  - aus (direkt maschinell ausführbaren) Elementaroperationen besteht und ***eindeutig*** festlegt, welche Elementaroperation als nächstes auszuführen ist (***Determinismus***)
  - ***Ein- und Ausgabe*** ermöglicht, wobei jeder Eingabe genau eine Ausgabe zugeordnet wird (***Determiniertheit***)
- **Anzahl und Ausführungszeit der Elementaroperationen sind beschränkt.**
- **Ein Algorithmus (Programm) wird durch eine Maschine schrittweise ausgeführt**
  - Die ausführende Instanz muss die Vorschrift ***interpretieren*** und ***korrekt*** ausführen.
  - Ein Algorithmus ***terminiert***, wenn er nach endlich vielen Schritten abbricht.

Deterministischer Algorithmus

Berechnung von |x-y|

```
1.   Lies Eingaben x und y.

2.   Falls x ≤ y: Weiter mit Schritt 3.
     Falls x > y: Weiter mit Schritt 4.

3.   Berechne a = y - x.
     Weiter mit Schritt 5.

4.   Berechne a = x - y.

5.   Gib a aus.
```

Indeterministischer Algorithmus

Berechnung von |x-y|

```
1.   Lies Eingaben x und y.
     Weiter mit Schritt 2 oder Schritt 3.

2.   Berechne a = x - y.
     Weiter mit Schritt 4.

3.   Berechne a = y - x.

4.   Falls a ≥ 0: Gib a aus.
     Falls a < 0: Gib -a aus.
```

Fragen

- **Wie kann man aus einer Lösungsidee einen Algorithmus konstruieren?**
  - "schrittweise Programmentwicklung"
- **Wie beweist man, dass ein Algorithmus tatsächlich das tut, was er tun soll?**
  - Verifikation: partielle Korrektheit
  - Terminierung
- **Wie "gut" ist ein Algorithmus?**
  - Speicherverbrauch, benötigte Zeit (***Effizienz***)
  - Aufwandsabschätzungen

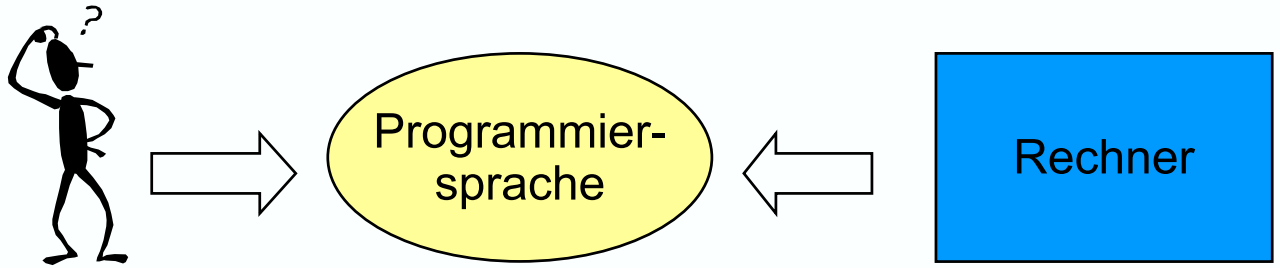
2. Syntax & Semantik von Programmiersprachen

Ein erstes Java-Programm:

```
public class Rechnung {

  public static void main (String [] arguments) {

     int x, y;
     x = 10;
     y = 23 * 33 + 3 * 7 * (5 + 6);
     System.out.print ("Das Resultat ist ");
     System.out.println (x + y);

  }

}
```

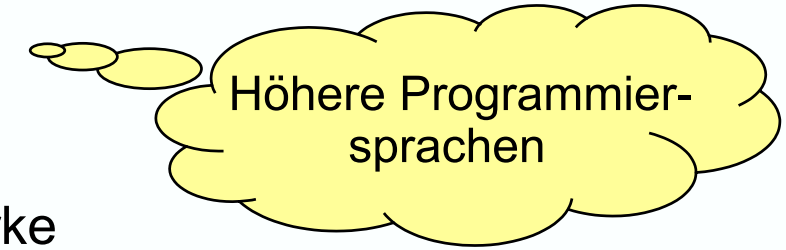
Programmiersprachen

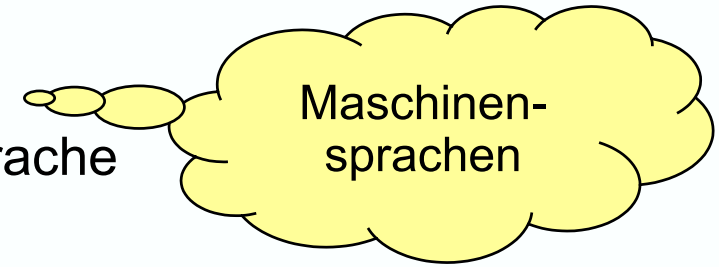
- **Die Programmiersprache bildet die *Schnittstelle* zwischen Mensch und Rechner**



Beide haben unterschiedliche Anforderungen

- **Mensch**
  - Erlernbarkeit
  - Lesbarkeit
  - Ausdrucksstärke
- **Rechner**
  - einfaches Übersetzen in Maschinensprache
  - Generierung von effizientem Code





Kenntnis verschiedener Sprachen

- Eigene Ideen bei der Software-Entwicklung können besser ausgedrückt werden
- Nötig, um in konkreten Projekten geeignete Sprache auszuwählen
- Erleichtert das Erlernen weiterer Programmiersprachen
- Nötig für den Entwurf neuer Programmiersprachen

Übersicht

Imperative Sprachen

- Folge von nacheinander ausgeführten Anweisungen

Prozedurale Sprachen

- Variablen, Zuweisungen, Kontrollstrukturen

Objektorientierte Sprachen

- Objekte und Klassen
- ADT und Vererbung

Deklarative Sprachen

- Spezifikation dessen, *was* berechnet werden soll
- Festlegung, wie Berechnung verläuft durch Compiler

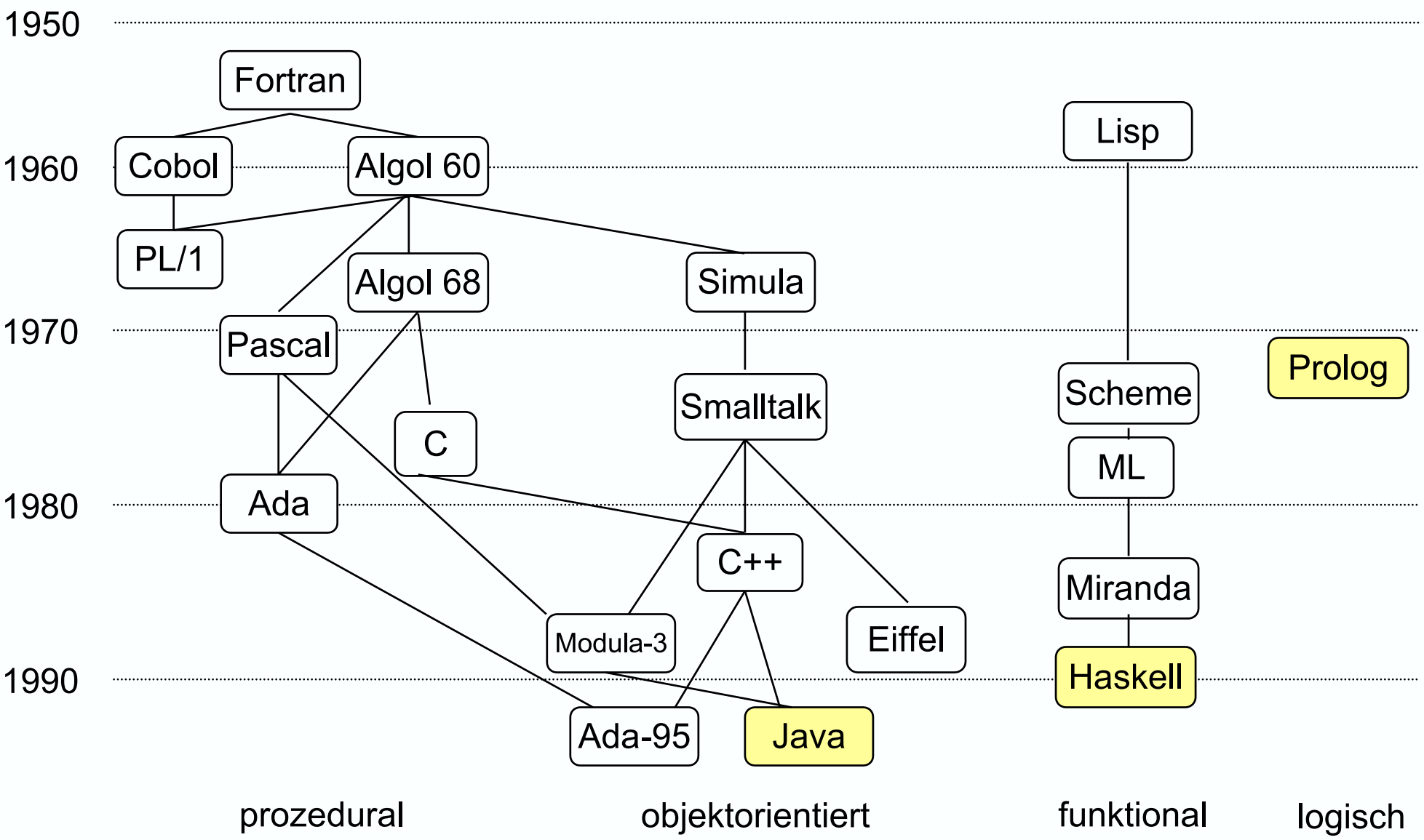
Funktionale Sprachen

- keine Seiteneffekte
- Rekursion

Logische Sprachen

- Regeln zur Definition von Relationen

Wichtige Programmiersprachen



Programmiersprachen - Definition

- **Programmiersprachen sind Sprachen, deren Syntax und Semantik genau festgelegt ist.**

- **Syntax:**
  - Definition aller ***zulässigen Wörter / Programme***, die in einer Sprache formuliert werden können

- **Semantik:**
  - ***Bedeutung*** der zulässigen Wörter / Programme
  - Syntaktisch ***falsche*** Wörter / Programme haben ***keine*** Semantik

Alphabet, formale Sprache

- **Alphabet**
  - ***nichtleere endliche*** Menge von Zeichen („Buchstaben“, Symbolen)

- **Wort über einem Alphabet**
  - ***endliche Folge*** von Buchstaben, die auch ***leer*** sein kann (ε leere Wort)
  - A* bezeichnet die ***Menge aller Wörter*** über dem Alphabet A (inkl. dem leeren Wort)

- **Formale Sprache**
  - Sei A ein Alphabet. Eine (formale) Sprache (über A) ist ***eine beliebige Teilmenge von A****.

- **Endliche Beschreibungsvorschrift für unendliche Sprachen**
  - ***Grammatik***, die Sprache erzeugt, oder ***Automat***, der Sprache erkennt

Beispiele

Beispiel 1

- $A_1 = \{ 0,1\}$, $A_1^* = \{\varepsilon , 0, 1, 01, 10, 11, 000, 100 , \ldots \}$
- $L = \{0, 1, 10, 11, 100, 101, .. \} \subseteq A_1^*$, die Menge der Binärdarstellungen natürlicher Zahlen (mit Null, ohne führende Nullen)

Beispiel 2

- $A_2 = \{(,), +, -, *, /, a\}$, $A_2^* = \{\varepsilon, (), (+-a), (a*a), \ldots \}$
- die Sprache der korrekt geklammerten Ausdrücke EXPR $\subseteq A_2^*$:
  EXPR = { (((a))), (a + a), (a - a)*a + a /(a + a) -a, .. }

Grammatik - informell

- **Definiert *Regeln*, die festlegen, welche Wörter über einem *Alphabet* zur Sprache gehören und welche nicht.**

- **Beispiel: Grammatik für "Hund-Katze-Sätze"**

1	Satz	→	Subjekt Prädikat Objekt
2	Subjekt	→	Artikel Attribut Substantiv
3	Artikel	→	ε
4	Artikel	→	der
5	Artikel	→	die
6	Artikel	→	das
7	Attribut	→	ε
8	Attribut	→	Adjektiv
9	Attribut	→	Adjektiv Attribut
10	Adjektiv	→	kleine
11	Adjektiv	→	bissige
12	Adjektiv	→	große
13	Substantiv	→	Hund
14	Substantiv	→	Katze
15	Prädikat	→	jagt
16	Objekt	→	Artikel Attribut Substantiv

Grammatik - informell

Grammatik für "Hund-Katze-Sätze"

- durch diese Grammatik können z.B. die folgenden Sätze gebildet (abgeleitet) werden
  - "der kleine bissige Hund jagt die große Katze"
  - "die kleine Katze jagt der bissige Hund"
  - "das große Katze jagt der kleine große bissige kleine …. Katze"
- folgende "Sätze" werden nicht durch diese Grammatik gebildet
  - "die Katze der Hund"
  - "Katze und Hund"
  - "der Hund jagt die Katze die jagt Hund"

Grammatik - Definition - 1

- **Definition:**
  - Eine Grammatik G ist definiert durch ein ***Viertupel (N, T, P, S)***

- **N: endliche Menge der *Nichtterminalsymbole (Variablen)***
  - sind Symbole für syntaktische ***Abstraktionen***
  - **Beispiel**: Satz, Subjekt, Prädikat, Objekt, Artikel, Attribut, Substantiv, Adjektiv
  - kommen nicht in den Wörtern der Sprache vor
  - werden durch Anwendung der ***Produktionsregeln*** solange ersetzt, bis nur noch Terminalsymbole übrig sind

- **T: endl. Menge der *Terminalsymbole,* *disjunkt* mit N: $N \cap T = \varnothing$**
  - sind Zeichen des Alphabets, aus denen die Wörter der Sprache bestehen
  - **Beispiel**: der, die, das, kleine, bissige, große, Hund, Katze, jagt

Grammatik - Definition - 2

- **P: endliche Menge von *Produktionsregeln* $x \rightarrow y$**
  - Regel $x \rightarrow y$ bedeutet, dass das Teilwort x durch das Teilwort y ersetzt werden kann
  - $x \in V^* N V^*$, $y \in V^*$, wobei $V = N \cup T$ (Vokabular). D.h.:

    sowohl x als auch y können beliebige Nichtterminal- und Terminalsymbole enthalten, x enthält mindestens ein Nichtterminal.
  - **Beispiel**: Prädikat $\rightarrow$ jagt

    der kleine bissige Hund Prädikat Objekt $\Rightarrow$

    der kleine bissige Hund *jagt* Objekt

- **S: das *Startsymbol***
  - ist ein spezielles Nichtterminalsymbol aus N, aus dem ***alle Wörter*** der Sprache mit Hilfe der Grammatik erzeugt werden
  - **Beispiel**: Satz

Grammatik - Definition - 3

Ableitung

- Ableitungsprozess ist eine Relation "$\Rightarrow$" auf V^*
- Für u, v, y $\in V^*$ und x $\in V^*NV^*$ gilt
  - uxv $\Rightarrow$ uyv genau dann, wenn (x $\rightarrow$ y) $\in$ P

Die von der Grammatik G *erzeugte Sprache* ist:

- L(G) = { w | w $\in$ T*, S $\Rightarrow$ ... $\Rightarrow$ w}

w ist ableitbar aus dem Startsymbol

- D.h.: Jedes durch Anwendung der Regeln aus S erzeugbare Wort, ***das nur aus Terminalsymbolen besteht***, gehört zu der Sprache L(G)

- zwei Grammatiken heißen ***äquivalent***, wenn sie dieselbe Sprache erzeugen

Kontextfreie Grammatik / Sprache

- **Produktionsregeln:** $A \rightarrow y$ $A \in N, y \in V^*$

  d.h.: Links steht genau ein Nichtterminalsymbol

- **Wichtigste Klasse zur formalen Beschreibung der Syntax von Programmiersprachen.**

- **Es ist möglich, Automaten zu bauen, die Wörter einer kontextfreien Sprache erkennen (*Wortproblem*) und ihre syntaktische Struktur analysieren (Compilerbau)**

- **Notationen zur Darstellung kontextfreier Grammatiken**
  - ***Syntaxdiagramme***
  - ***Extended Backus-Naur-Form* (EBNF)**

Grammatik - Beispiel

- **Sei G = (N, T, P, S) mit**
  - N = {A, B}
  - T = {a, b, c, d}
  - P = { $A \rightarrow aBbc$, $B \rightarrow aBb$, $aBb \rightarrow d$ }
  - S = A

$L(G) = \{ a^n d\, b^n c \mid n \geq 0 \}$

  - G ist keine kontextfreie Grammatik, da die dritte Produktionsregel auf der linken Seite mehr als nur das Nichtterminalsymbol B enthält.

- **Ersetzt man in G die Produktionen P durch P', dann ist G' kontextfrei. Es gilt L(G) = L(G')**
  - P' = { $A \rightarrow Bc$, $B \rightarrow aBb$, $B \rightarrow d$ }

EBNF

EBNF (Extended Backus-Naur-Form)

- kompaktere Repräsentation kontextfreier Grammatiken
- BNF erstmals benutzt zur Definition der Sprache ***Algol-60***
- **EBNF-Notation**
  - = „definiert als“
  - (...|...) genau eine Alternative aus der Klammer muss kommen
  - [...] Inhalt der Klammer kann kommen oder nicht
  - { ... } Inhalt der Klammer kann n-fach kommen, $n \geq 0$
  - Terminalsymbole werden in " " eingeschlossen

Beispiel - Grammatik

1	Satz	$\rightarrow$	Subjekt Prädikat Objekt
2	Subjekt	$\rightarrow$	Artikel Attribut Substantiv
3	Artikel	$\rightarrow$	ε
4	Artikel	$\rightarrow$	der
5	Artikel	$\rightarrow$	die
6	Artikel	$\rightarrow$	das
7	Attribut	$\rightarrow$	ε
8	Attribut	$\rightarrow$	Adjektiv
9	Attribut	$\rightarrow$	Adjektiv Attribut
10	Adjektiv	$\rightarrow$	kleine
11	Adjektiv	$\rightarrow$	bissige
12	Adjektiv	$\rightarrow$	große
13	Substantiv	$\rightarrow$	Hund
14	Substantiv	$\rightarrow$	Katze
15	Prädikat	$\rightarrow$	jagt
16	Objekt	$\rightarrow$	Artikel Attribut Substantiv

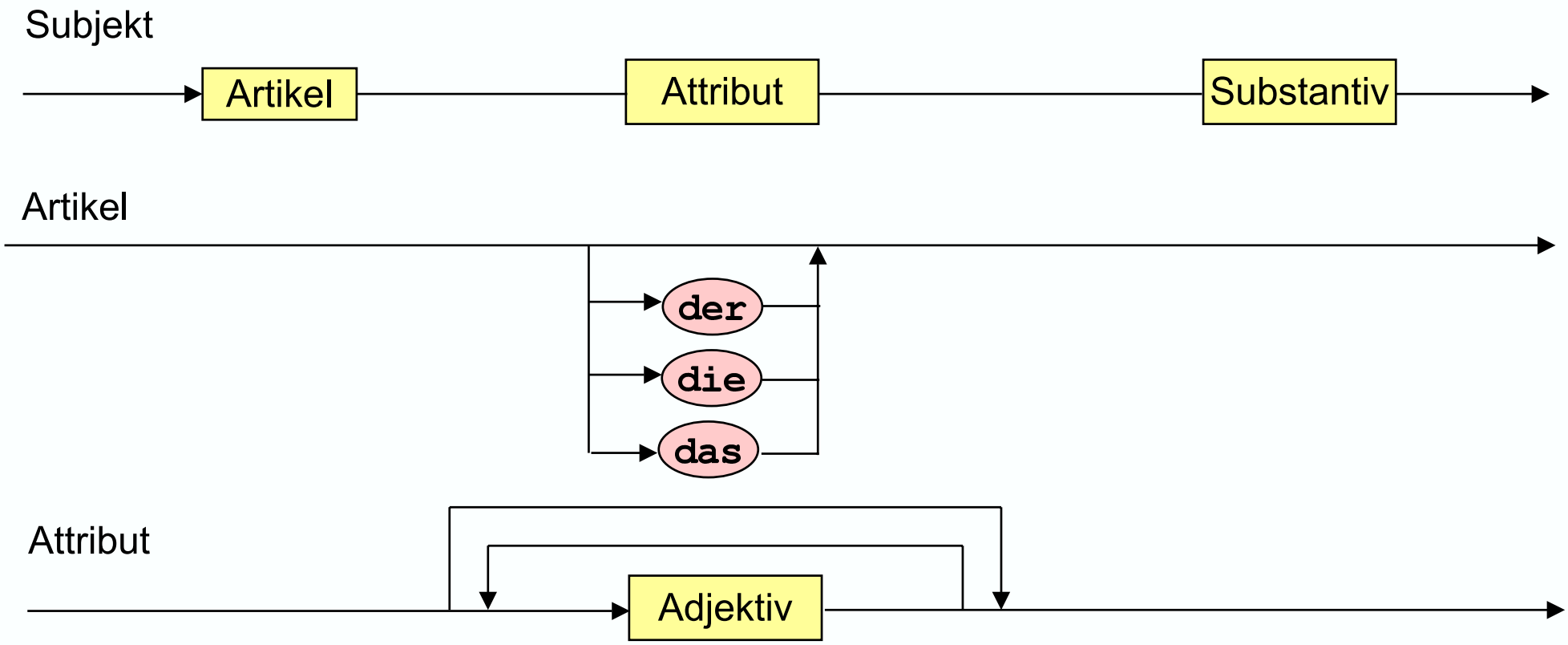
Beispiel in EBNF

- **Unsere einfache Grammatik für "Hund-Katze-Sätze" sieht in EBNF folgendermaßen aus:**

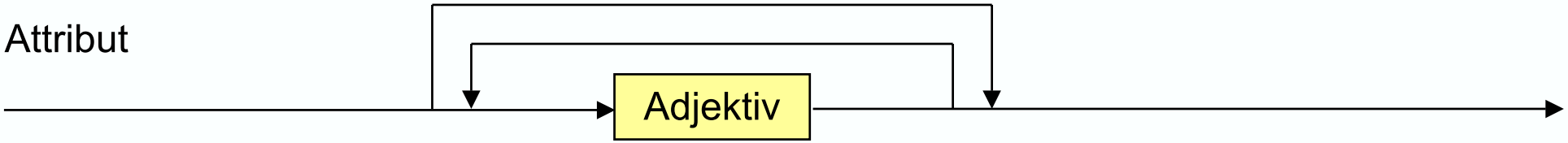
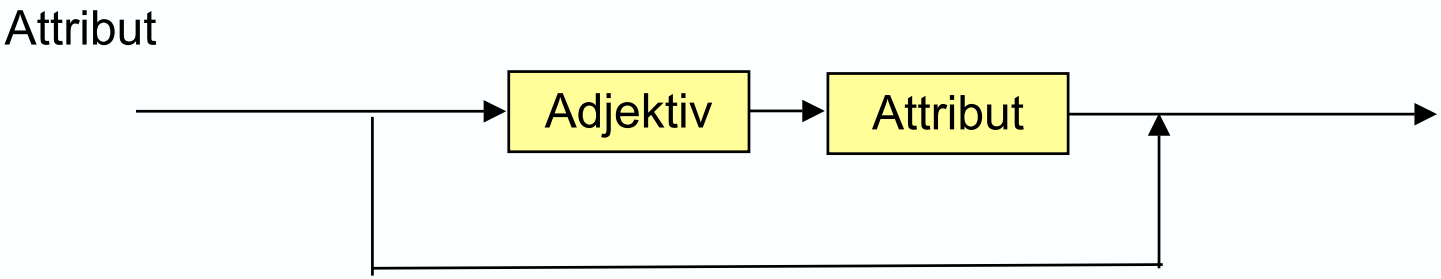
Satz	=	Subjekt Prädikat Objekt
Subjekt	=	Artikel Attribut Substantiv
Artikel	=	[("**der**" | "**die**" | "**das**")]
Attribut	=	{ Adjektiv }
Adjektiv	=	("**kleine**" | "**bissige**" | "**große**")
Substantiv	=	("**Hund**" | "**Katze**")
Prädikat	=	"**jagt**"
Objekt	=	Artikel Attribut Substantiv

Syntaxdiagramme - 1

- **Syntaxdiagramme (beschreiben Produktionen *grafisch*)**
  - Nichtterminalsymbole sind Rechtecke
  - Terminalsymbole sind rund / oval



Syntaxdiagramme - 2



Alternative: Rekursives Syntaxdiagramm