

Übersicht

2 Einführung

2.1 Syntax natürlicher Sprachen

2.1.1 Syntaxbegriff und Grammatikbegriff

2.1.2 Syntaktische Ausdrucksmittel

2.2 Syntaktische Struktur

2.2.1 Syntagmatische Relation

2.2.2 Grammatische Relationen

2.3 Automatische Syntaxanalyse

2.3.1 Formale Grammatiken als Syntaxmodelle

2.3.2 Syntaktische Ambiguität

2.3.3 Parsing als automatische Syntaxanalyse

2.3.4 Computerlinguistische Anwendungen

2.3.5 Abbildungen syntaktischer Strukturen

2 Einführung

2.1 Syntax natürlicher Sprachen

Definition Syntax (nach Bußmann, Lexikon der Sprachwissenschaft):

„Teilbereich der Grammatik natürlicher Sprachen (auch: Satzlehre).“

„System von Regeln, die beschreiben wie aus einem Inventar von Grundelementen (Morphemen, Wörtern, Satzgliedern) durch spezifische syntaktische Mittel (Morphologische Markierung, Wort- und Satzgliedstellung, Intonation u.a.) alle wohlgeformten Sätze einer Sprache abgeleitet werden können.“

Definition Syntax (nach mediensprache.net/de/lexikon/):

„Teilgebiet der Linguistik, das sich mit der **Kombination von Wörtern zu komplexen Einheiten** (Analyse des Aufbaus von Satzstrukturen und der Zusammenfügung von Wörtern zu größeren Einheiten) beschäftigt, ohne sich für den internen strukturellen Aufbau der Wörter zu interessieren.“

„Der Begriff kann auch benutzt werden, um **den strukturellen Aufbau eines Satzes zu bezeichnen** ('Syntax eines Satzes' und so weiter).“

2.1.1 Syntaxbegriff und Grammatikbegriff

Syntax:

- **Etymologie:** σύνταξις [syntaksis] = 'Zusammensetzung'
→ *aus σύν= 'zusammen', τάξις = 'Ordnung, Reihenfolge'*
- **allgemein (Semiotik): Syntax als Struktur einer Zeichenfolge**
→ Regeln der Kombination elementarer Zeichen zu komplexen Zeichen
- **Syntax natürlicher Sprachen: Struktur von Wortfolgen**
→ *Regeln der Kombination von Wörtern zu größeren Einheiten*
- **Teil der Grammatik (= Sprachstruktur-(Analyse))**

Grammatik:

- **Etymologie:** (τέχνη) γραμματική [(technē) grammatikē]
= 'Schreibkunst' / 'Buchstaben-Fertigkeit'
- **Bezug zu strukturellem Aufbau Sprache:**
 - Lautstruktur: **Phonologie**
 - Wortstruktur: **Morphologie**
 - Satzstruktur: ***Syntax*** (Strukturaufbau aus Wörtern)

Grammatikbegriff

- **a) Grammatik als Sprachstruktur**
 - phonologische, morphologische und syntaktische **Regularitäten** einer natürlichen Sprache
- **b) Grammatik als Theorie der Sprachstruktur**
 - Sprachwissenschaftliche **Beschreibung der Regularitäten** einer natürlichen Sprache (Modell)
- **c) Grammatik als Wissen um Sprachstruktur**
 - **Wissen** des Sprechers **um diese Regularitäten**

- **d) Grammatik als Regelbuch**
 - **Lehrwerk**, das die **Regularitäten** einer natürlichen Sprache **enthält**
- **e) Formale Grammatik**
 - **mathematisches Regelsystem** einer formalen Sprache, das zur **Modellierung der Grammatik einer natürlichen Sprache** verwendet werden kann

Abgrenzung Syntax zu anderen Disziplinen:

- **Abgrenzung zur Morphologie:**

- Syntax: Analyse des *Strukturaufbaus* sprachlicher Einheiten *oberhalb der Wortebene*

- **Abgrenzung zu Semantik und Pragmatik:**

- Syntax: unabhängig von semantischer Interpretation, vgl. Chomsky 1957, 'Syntactic Structures':

'colorless green ideas sleep furiously'

- * erfüllt Wohlgeformtheitsbed., ist also grammatisch

- * aber: hat keine sinnvolle semantische Interpretation

Relevanz der Morphologie für Syntax:

- Wortartenklassifikation:

→ **Zusammensetzung** syntaktischer Einheiten
aus *Klassen* von **Wörtern** (lexikalische Kategorien)

- Flexionsmorphologie:

→ Analyse von *Wortformen*, insofern sie für die syntaktische
Strukturanalyse relevant sind (*Morphosyntax*)

→ *Kasus* und *Agreement* als morphologische Ausdrucksmittel
syntaktischer Funktionen

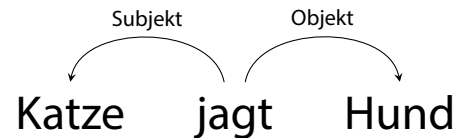
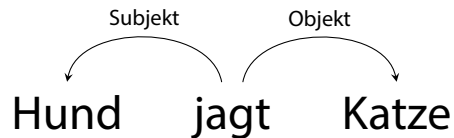
→ formale Repräsentation als **Merkmalstrukturen**

2.1.2 Syntaktische Ausdrucksmittel

- **Wortstellung** (strukturell):

→ Markierung syntaktischer Funktion durch *lineare Anordnung*

→ **Beispiel:** Subjekt-Verb-Objekt-Wortstellung:

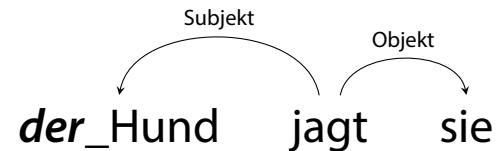
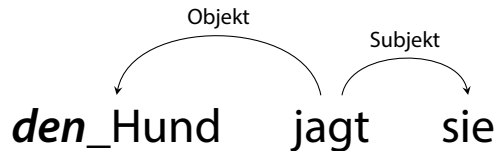


- **Kasus** (morphosyntaktisch):

→ *morphologische Markierung* der syntaktischen Funktion am *abhängigen Element*

→ Rektion (*dependent-marking*)

→ **Beispiel:** Objekt-Kasus-Markierung:



- **Kongruenz/Agreement** (morphosyntaktisch):

→ Kongruenz = Übereinstimmung von Merkmalen zwischen abhängigen Elementen

→ *morphologische Markierung* der syntaktischen Funktion des abhängigen Elements am Kopf (*head-marking*)

→ **Beispiel:** Subjekt-Kongruenz (in Numerus und Person):



→ Verb kongruiert in nominalen Kategorien mit Subjekt-NP

– (Argument für Regel: $S \rightarrow NP VP$ (Subjekt > Objekt))

2.2 Syntaktische Struktur

Definition Satz (nach Lewandowski, Linguistisches Wörterbuch):

„grammatisch, intonatorisch und inhaltlich nach den Regularitäten der jeweiligen Sprache linear und hierarchisch organisierte Einheit als Mittel zu Ausdruck, Darstellung und Appell, zur Kommunikation von Vorstellungen oder Gedanken über Sachverhalte.“

Definition Satz (nach mediensprache.net/de/lexikon/):

„kleinste (im Blick auf Inhalt, Struktur und Intonation) selbstständige und vollständige sprachliche Äußerung“

Satzstruktur:

- **Satz als zentraler Untersuchungsgegenstand der Syntax**
 - sprachliche Form einer **Äußerung** (Sprachhandlung)
 - **Beobachtung: lineare Abfolge** von Wörtern (Wortfolge)
 - **Syntax**: Beschreibung und Analyse der **hierarchischen Struktur** von Sätzen:
 - des **Aufbaus** einfacher Sätze (*clause*) aus Wörtern und Phrasen (syntaktische Einheiten)
 - der **funktionalen Abhängigkeiten** zwischen diesen syntaktischen Einheiten
 - der Struktur **komplexer Sätze** (*sentence*)

- **Struktur**

→ ***Menge von Relationen***, die zwischen Elementen einer Grundmenge bestehen (Relation: Menge geordneter Paare / Tupel)

- **Syntaktische Struktur**

→ Menge von **Relationen**, die **zwischen Elementen des Lexikons** einer natürlichen Sprache (Wörtern) und/oder daraus gebildeten syntaktischen Einheiten bestehen

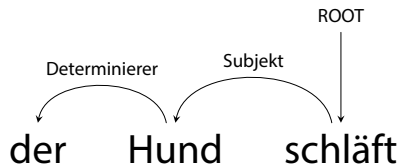
- **Zwei syntaktische Relationstypen:**

- **Konstituenz** = *Teil-Ganzes-Beziehung* zwischen Wörtern und aus diesen bestehende syntaktische Einheiten (Syntagmen)
- **Dependenz** = *Abhängigkeitsbeziehungen* zwischen Wörtern (Regens kontrolliert Dependens)

* **Lexikon:** $\{der, die, den, Hund, Katze, jagt, schläuft\}$

* **Satzstruktur (Dependenz-Relation):**

$\{(Hund, der), (schläuft, Hund), (ROOT, schläuft)\}$



2.2.1 Syntagmatische Relation

- **Konstituenten-Struktur**

→ aus welchen **syntaktischen Einheiten** besteht ein Satz?

- **Syntagma: Gruppe sprachlicher Elemente in Äußerung**

→ durch strukturalist. *discovery procedures* (syntaktische Tests):
Feststellung von syntakt. Einheiten oberhalb Wortebene und unterhalb Satzebene (**Phrasen / Konstituenten / Satzglieder**)

- **Syntax natürlicher Sprachen im Konstituentenmodell:**

→ Regeln der (rekursiven) Kombination von Wörtern zu Satzgliedern, einfachen und komplexen Sätzen

I shot an elephant in my pajamas

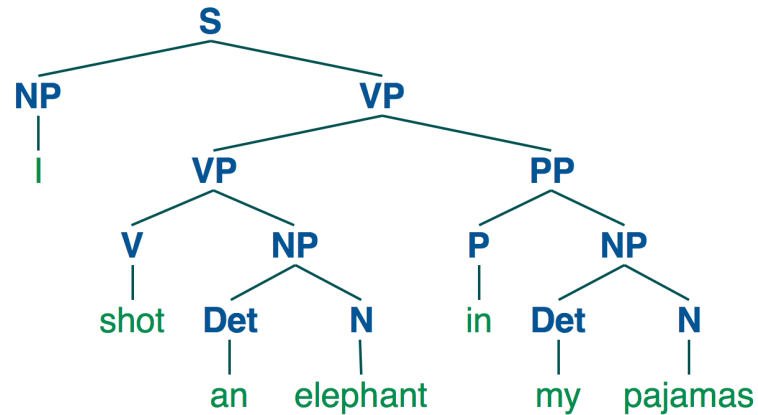


Abbildung 1: Von der Wortfolge zur syntaktischen Struktur (Konstituenzmodell)

2.2.2 Grammatische Relationen

- **Dependenz-Struktur**

→ in welcher **syntaktische Beziehung** stehen Wörter, welche **Funktion** haben sie im Satz?

- **Funktionale Satzanalyse**

→ notwendige und nicht-notwendige Einheiten im Satz

→ Abhängigkeitsverhältnisse zwischen Wörtern

→ Prädikat + Argumente (notwend. Ergänzungen) + Angaben

- **Syntax natürlicher Sprachen im Dependenzmodell:**

→ Regeln der Kombin. von Wörtern nach Abhängigkeitsrelat.

I shot an elephant in my pajamas

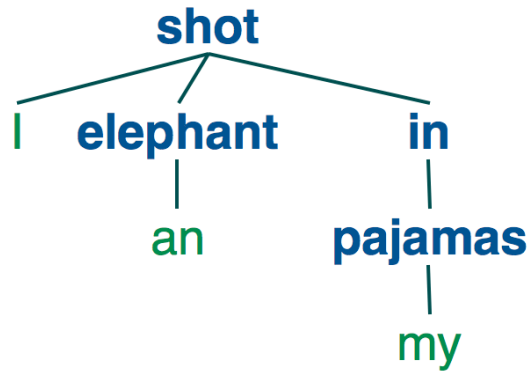


Abbildung 2: Von der Wortfolge zur syntaktische Struktur (Dependenzmodell)

Historischer Hintergrund:

- **Paradigma 1: Aristotelische Logik (Begriffslogik)**

→ binäre Struktur von Aussagen: Subjekt-Prädikat (syllogistisches Prädikat = einstelliges Prädikat im Sinne der Prädikatenlogik, s. u.)

→ Kategorisches Urteil: "Alle Menschen (Subjekt) sind Säugetiere (Prädikat)"

→ *über Logik von Port-Royal (1662) beeinflusst strukturalistische Distributionsanalyse (Saussure, Bloomfield)*

→ Chomsky (1957, 'Syntactic Structures'): mathematische Modellierung mit kontextfreien Grammatiken

I shot an elephant in my pajamas

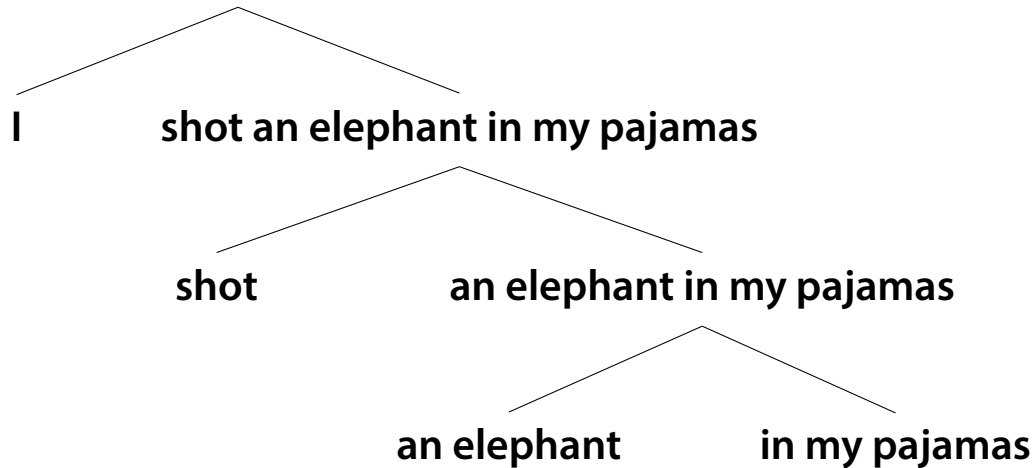


Abbildung 3: *binäre Zergliederung in unmittelbare Konstituenten (immediate constituents; IC)*

- **Paradigma 2: Prädikatenlogik (Frege)**

- mehrstellige Prädikate

- Verb als Satzzentrum: Prädikat + Argumente

- Vorläufer: Sanskrit-Grammatiker Panini (5./4. Jhd. v. Chr.)

- Schulgrammatik: implizit dependenzbezogen: Analyse grammatischer Funktionen wie Subjekt, Objekt

- Valenz-/Dependenzgrammatik: verallgemeinerte dependenzbezogene Syntaxtheorie (Tesnière 1959, 'Éléments de syntaxe structurale')

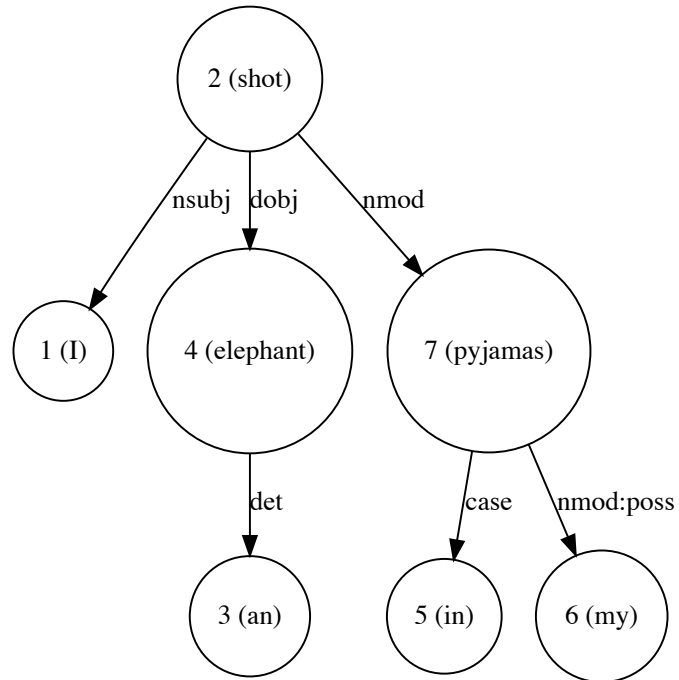


Abbildung 4: Syntaktische Struktur mit gelabelten Relationen (Dependenzmodell)

2.3 Automatische Syntaxanalyse

- Was muss ein Grammatikmodell für die Analyse der syntaktischen Struktur einer natürlichen Sprache leisten?
 1. **Strukturerkennung**: *ist ein Satz wohlgeformt?*
 - Ziel: Erkennung genau der grammatisch korrekten Sätze
 2. **Strukturwiedergabe**: *wie ist die ein Satz aufgebaut?*
 - Ziel: linguistisch adäquate Strukturanalyse

Möglichkeiten der Syntaxanalyse:

1. Beschreibung des Sprachsystems

→ traditionelle Buch-Grammatik; nicht-computational

2. Aufzählung aller grammatischen Sätze

→ Problem 1: natürliche Sprachen sind unendlich

→ Problem 2: Struktur nicht repräsentiert

3. Beschreibung durch formale Grammatik

→ mathematisches Modell des syntaktischen Regelsystems
(computational)

→ ermöglicht die Analyse der Struktur einer unendlichen Menge an Sätzen mit endlichen Mitteln

2.3.1 Formale Grammatiken als Syntaxmodelle

Formale Grammatik:

- **Formales Regelsystem** zur eindeutigen **Beschreibung** und **Erzeugung** einer *formalen* (!) **Sprache**
 - **Generierung aller wohlgeformten Sätze** (= Sprache)
 - *generative Grammatik*
- kann auch als Modell zur **Erkennung** und **Wiedergabe** der syntaktischen Struktur *natürlicher Sprachen* verwendet werden

- **Formale Sprache = Menge aller** aus Grundsymbolen (z. B. $\{a, b, c\}$) mit den Grammatikregeln **ableitbaren formalsprachlichen Wör-
ter** (z. B. $\{a, aa, aba, \dots\}$)

→ in Analyse Syntax **natürlicher Sprache:**

- *Grundsymbole sind Wörter des Lexikons:*

$\{die, der, den, Hund, Katze, jagt\}$

- die aus der entsprechenden formalen Grammatik als Syntaxmodell ableitbaren *formalsprachlichen Wörter* sind *natür-
lichsprachliche Sätze:*

$\{der\,Hund\,jagt\,die\,Katze, die\,Katze\,jagt\,den\,Hund, \dots\}$

Aufbau einer formalen Grammatik:

1. **Startsymbol** (S)
2. **Nichtterminalsymbole** (z.B. $\{X, Y\}$ oder $\{NP, VP, N, Det, V\}$)
→ Metasybole; kommen nur in Zwischenschritten der Ableitung eines Wortes vor
3. **Terminalsymbole** (z.B. $\{a, b, c\}$ oder $\{der, Hund, \dots\}$)
→ Terminalalphabet (Lexikon); Terminalsymbole können nicht weiter ersetzt werden

4. Produktionsregeln (z.B. $X \rightarrow aY$ oder $S \rightarrow NPVP$)

- Ersetzungsregeln; geben an, wie aus Symbolfolgen (beginnend mit S) neue Folgen (Wörter) gebildet werden können
- durch Einschränkungen der Regeln ergeben sich Sprachen verschiedener Komplexität (Chomsky-Hierarchie)

Kontextfreie Grammatik:

- *Phrasenstrukturgrammatik* im engeren Sinne
- **CFG-Einschränkung:**
 - **links nur ein Nichtterminalsymbol:** $S \rightarrow NP VP$
 - Ersetzung unabhängig von Kontext (Kontextfreiheit)
- **syntaktische Regeln:** $NP \rightarrow Det N (PP)$
 - **links: syntaktische Kategorien** (Phrasen/Satzknoten: S, NP, VP)
 - rechts: obligatorische und optionale Nichtterminale (syntaktische + lexikalische Kategorien)
 - **Rekursion:** $NP \rightarrow Det N (PP), PP \rightarrow P NP$
die Katze auf dem Ast in dem Baum auf dem Berg ...

- **lexikalische Regeln (Präterminal \rightarrow Terminal):**
 - \rightarrow Zuordnung lexikalische Kategorien/Wortarten zu Lexemen
 - $N \rightarrow 'Hund'$
 - $N \rightarrow 'Katze'$
 - $Det \rightarrow 'der' \mid 'die'$
- **Wortarten (=lexikalische Kategorien):** \rightarrow *Präterminale* (Unter-
menge der Nichtterminale)
- **Lexeme:** \rightarrow *Terminale*

Auflistung 1: *Kontextfreie Grammatik*

```
1 #syntaktische Regeln:
2     S → NP VP
3     PP → P NP
4     NP → Det N | Det N PP
5     VP → V NP | VP PP
6 #lexikalische Regeln:
7     Det → 'an' | 'my'
8     N → 'elephant' | 'pajamas'
9     V → 'shot'
10    P → 'in'
```

Klassifizierung syntaktischer Modelle:

- **modellierte Relation**
 - Konstituenzgrammatik : Abhängigkeitsgrammatik
- **Kategorien**
 - atomare Kategorien : komplexe Merkmalstrukturen
- **Komplexität der Grammatik (Chomsky-Hierarchie)**
 - regulär : kontextfrei : kontextsensitiv : rekursiv aufzählbar
- **Analysetiefe der Grammatik (Rekursion?)**
 - flach : verschachtelt

Vorteile Modellierung mit formalen Grammatiken:

- **mathematisches Modell:**

- unendliche Menge an Sätzen **mit endlichen Mitteln beschreibbar**
- **rechnergestützt verarbeitbar** durch Parsingalgorithmen
- Beantwortung Fragen zur **Komplexität** natürlicher Sprache (ist jede natürliche Sprache kontextfrei?)
- psycholinguistische Anwendung: Parser als **Modell menschlicher Sprachverarbeitung**

Nachteile:

- **Probleme mit struktureller Ambiguität**
 - wie Entscheidung für richtige (im Kontext intendierte) syntaktische Analyse?
- **Probleme mit Übergenerierung**
 - wie Vermeidung Produktion ungrammatischer Sätze?
- **keine vollständige Beschreibung möglich**
 - immer nur Ausschnitt natürlicher Sprache modelliert

2.3.2 Syntaktische Ambiguität

- **strukturelle Ambiguität**

- mehr als eine Strukturanalyse möglich

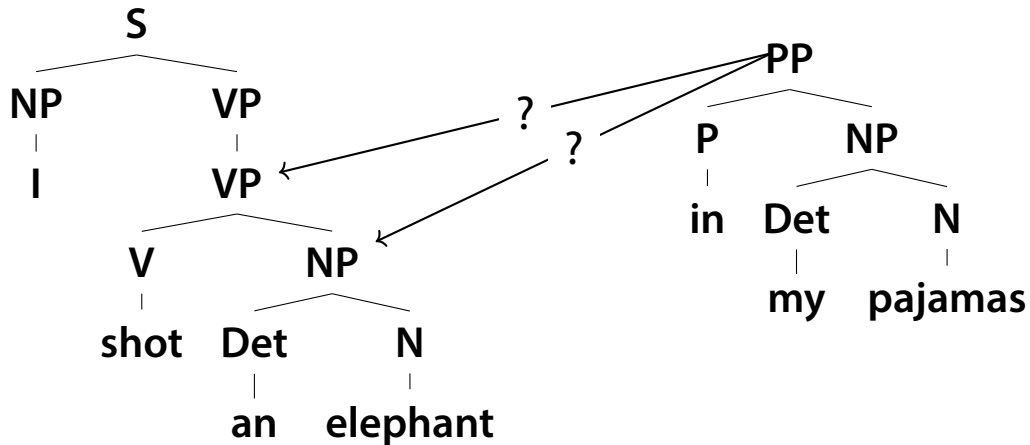
- **Lösung**

- Disambiguierung struktureller Ambiguität durch **PCFGs**
(mit statistischen Informationen zu Regelwahrscheinlichkeiten
angereicherte CFGs)

- weitere Disambiguierung durch **Lexikalisierung** (erfasst z.B.
die Präferenz für PP-Attachment an VP bei *setzen/stellen/legen-*
Verben)

Typ 1: Attachment-Ambiguität: Konstituente kann im Parsebaum an mehr als einer Stelle angebunden werden

Beispiele: Präpositionalphrasen, Adverbialphrasen (s. Übung)



Typ 2: Koordinierungsambiguität:

- *[alte [Männer und Frauen]]*
- *[alte Männer] und [Frauen]]*

Typ 3: temporale Ambiguität (*garden-path*-Sätze):

- *[The old man] [the boat].*

VS

[The old] [man the boat].

- *[The horse] [raced past the barn] fell.*

VS

[The horse [raced past the barn]] [fell].

2.3.3 Parsing als automatische Syntaxanalyse

Parsing:

- **formale Grammatik:**
 - Syntaktisches Strukturmodell, das aber nicht mehr ist als eine Sammlung von Strings (Regeln)
 - Verfahren notwendig, um zu entscheiden, ob eine Eingabe gemäß einer gegebenen formalen Grammatik wohlgeformt ist

- **Parsing-Algorithmen:**

- Verfahren zur Verarbeitung von formalen Grammatiken zur Strukturerkennung und -Analyse der Eingabe (Satz als Tokensequenz)

- **Strukturerkennung:**

- Überprüfung der grammatischen Struktur einer Eingabe als Suche einer Ableitung aus den Regeln einer formalen Grammatik (ob Satz in formaler Sprache enthalten ist)

- **Strukturzuweisung:**

- gleichzeitig Wiedergabe der in der Suche aufgebauten grammatischen Struktur der Eingabe (Syntaxbaum)

Parsing-Algorithmen:

- **top-down vs. bottom-up**
 - von Startsymbol zu Blättern oder umgekehrt
- **Parsingalgorithmen mit dynamischer Programmierung**
 - effizienter Umgang mit Ambiguität/Übergenerierung
- **Unifikation**
 - *Verarbeitung Merkmalstrukturen*
- **statistische Algorithmen**
 - *Viterbi, Inside-Outside*
- **Partielles Parsing / Chunk-Parsing**
 - *Parsing as Tagging (reguläre Grammatik oder classifier)*

Auflistung 2: *Tracing CFG Chart-Parsing*

```
parser = nltk.ChartParser(grammar, trace=1)
for tree in parser.parse(sent):
    print(tree)
```

```
|. I . shot. an .eleph. in . my .pajam.|
| [-----] . . . . . | [0:1] 'I'
|. [-----] . . . . . | [1:2] 'shot'
|. . [-----] . . . . . | [2:3] 'an'
|. . . [-----] . . . . . | [3:4] 'elephant'
|. . . . [-----] . . . . . | [4:5] 'in'
|. . . . . [-----] . . . . . | [5:6] 'my'
|. . . . . [-----] | [6:7] 'pajamas'
| [-----] . . . . . | [0:1] NP → 'I' *
| [-----→ . . . . . | [0:1] S → NP * VP
|. [-----] . . . . . | [1:2] V → 'shot' *
|. [-----→ . . . . . | [1:2] VP → V * NP
|. . [-----] . . . . . | [2:3] Det → 'an' *
|. . [-----→ . . . . . | [2:3] NP → Det * N
|. . [-----→ . . . . . | [2:3] NP → Det * N PP
|. . . [-----] . . . . . | [3:4] N → 'elephant' *
|. . [-----] . . . . . | [2:4] NP → Det N *
|. . [-----→ . . . . . | [2:4] NP → Det N * PP
```

```

| .      .      [----->      .      .      . | [2:4] S  → NP * VP
| .      [-----]      .      .      . | [1:4] VP → V NP *
| .      [----->      .      .      . | [1:4] VP → VP * PP
| [-----]      .      .      . | [0:4] S  → NP VP *
| .      .      .      .      [-----]      .      . | [4:5] P  → 'in' *
| .      .      .      .      [----->      .      . | [4:5] PP → P * NP
| .      .      .      .      .      [-----]      . | [5:6] Det → 'my' *
| .      .      .      .      .      [----->      . | [5:6] NP → Det * N
| .      .      .      .      .      [----->      . | [5:6] NP → Det * N PP
| .      .      .      .      .      .      [-----] | [6:7] N  → 'pajamas' *
| .      .      .      .      .      [-----] | [5:7] NP → Det N *
| .      .      .      .      .      [-----> | [5:7] NP → Det N * PP
| .      .      .      .      .      [-----> | [5:7] S  → NP * VP
| .      .      .      .      [-----] | [4:7] PP → P NP *
| .      .      [-----] | [2:7] NP → Det N PP *
| .      [-----] | [1:7] VP → VP PP *
| .      [-----> | [1:7] VP → VP * PP
| [=====] | [0:7] S  → NP VP *
| .      .      [-----> | [2:7] S  → NP * VP
| .      [-----] | [1:7] VP → V NP *
| .      [-----> | [1:7] VP → VP * PP
| [=====] | [0:7] S  → NP VP *

```

2.3.4 Computerlinguistische Anwendungen

Voraussetzungsschritte für automatische Syntaxanalyse:

- Sentence Segmentation
→ Liste von Strings
- Tokenisierung
→ Liste von Stringlisten
- Part-of-Speech-Tagging
→ Liste von Tupellisten (token, pos-tag)
- (Stemming , morphologisches Parsing [Kasus, Agreement])

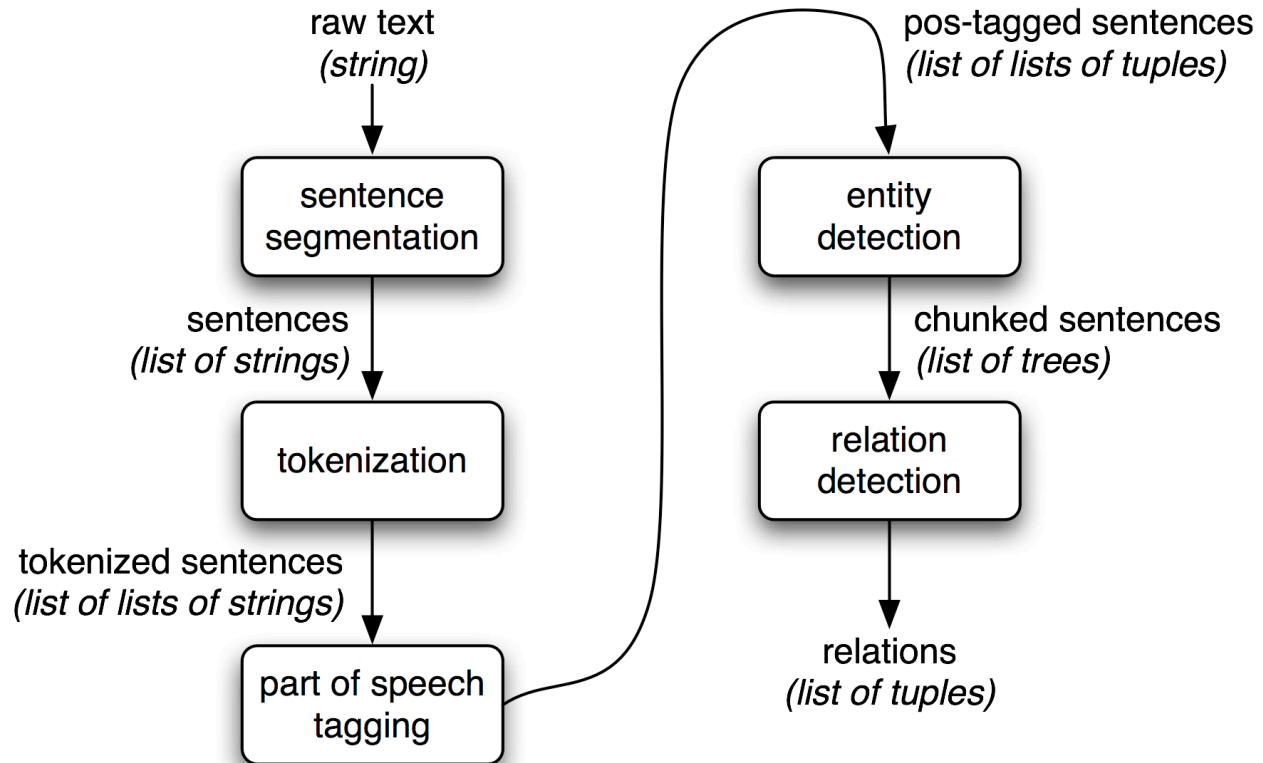


Abbildung 5: *Parsing in NLP-Pipeline (Information Extraction)*, <http://www.nltk.org/book/ch07.html#fig-ie-architecture>

Mögliche Folgeanwendungen:

- Entity Extraction
 - Liste von Bäumen
- Relation Extraction
 - Liste von Tripeln: (entity, relation, entity)
- Semantic Role Labelling
 - *shallow semantic parsing*, z.B. *Framenet*:
 - *Lexikon von semantic frames (Prädikat+Argumente): Informationen z.B. zu Subkateg. und diathetische Alternativen)*
- Semantic Parsing
 - *natural language understanding*

Einige Anwendungsgebiete:

- Identifizierung von Einheiten und Relationen in **Informations-extraktionsanwendungen** (aufgrund syntaktischer Funktion / Position im Syntaxbaum)
- Voraussetzung für **semantische Analyse** (basierend auf Kompositionalitätsprinzip)
- Disambiguierung in **maschineller Übersetzung und Question Answering** Systemen
- Einsatz in **Korrektursystemen** (Rechtschreibung, Interpunktion)

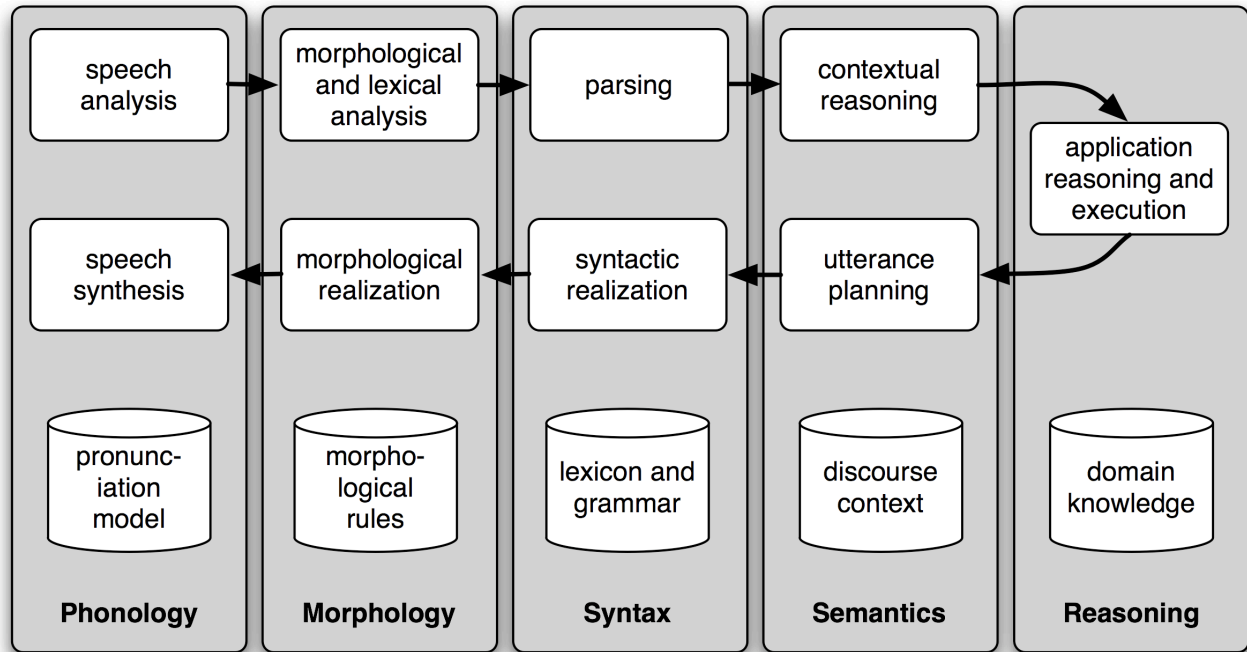


Abbildung 6: *Parsing in NLP-Pipeline (Spoken Dialogue System)*, <http://www.nltk.org/book/ch01.html#fig-sds>

2.3.5 Abbildungen syntaktischer Strukturen

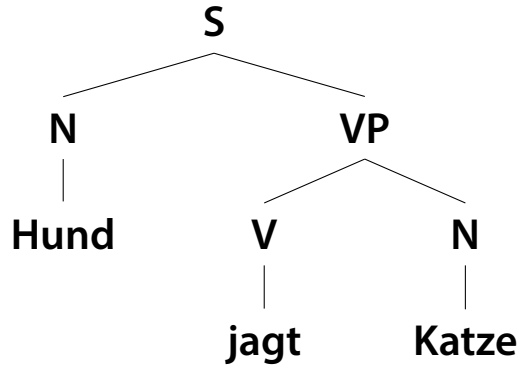
Syntaxbaum (auch: Parsebaum, Ableitungsbaum)

= *gerichteter Graph*

→ mathematische Repräsentation hierarchischer Struktur

- **Gerichteter Graph** besteht aus:
 - **Knoten:** → Elemente der Struktur
 - **Kanten:** → geordnete Paare von Knoten (ggf. gelabelt)
→ Repräsentation der Relation zwischen zwei Knoten

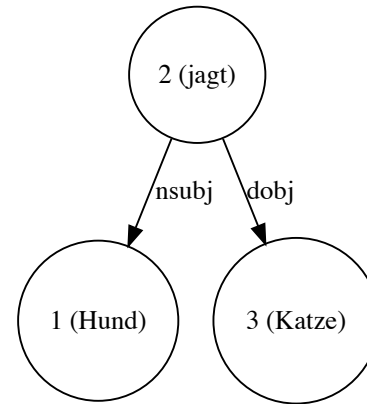
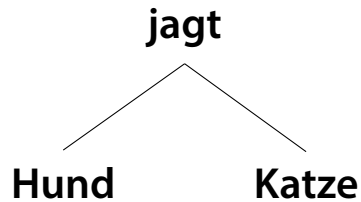
- **Baumdiagramm (Konstituentenstruktur):**



- **Klammerausdruck (Konstituentenstruktur):**

[S [N Hund] [VP [V jagt] [N Katze]]]

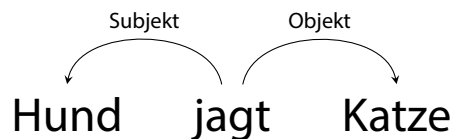
- **Baumdiagramm (Dependenzstruktur):**



- **Klammerausdruck (Dependenzstruktur):**

[jagt [Hund] [Katze]]

- **Darstellung Dependenzstruktur mit Relationen (gelabelte Kanten):**



- **Notation als Tripel:**

(jagt, Subjekt, Hund), (jagt, Objekt, Katze)

- **Darstellung als gelabelter gerichtetet Graph:**

→ als 'ungeordneter' Baum: abstrahiert von linearer Wortstellung

→ als 'geordneter' Baum: Wörter als Blätter