

Übersicht

5 Syntaktische Relationen: Dependenz

5.1 Dependenzstruktur

- 5.1.1 Eigenschaften der Dependenzstruktur
- 5.1.2 Vergleich Konstituenten- und Dependenzstruktur
- 5.1.3 Typen von Dependenzrelationen
- 5.1.4 Methoden zur Komplement/Adjunkt-Unterscheidung

5.2 Syntaktische Funktionen

- 5.2.1 Grammatische Relationen
- 5.2.2 Grammatische Relationen im UD-Annotationschema
- 5.2.3 Attributfunktion

5.3 Formale Repräsentation - Dependenzgrammatik

5 Syntaktische Relationen: Dependenz

5.1 Dependenzstruktur

5.1.1 Eigenschaften der Dependenzstruktur

- **Ergebnis Konstituentenanalyse (Eliminierungstest):**
→ bestimmte Wörter **nur mit anderen eliminierbar:**

unilaterale Abhängigkeit:

eine sehr schwierige Aufgabe

**eine sehr schwierige Aufgabe* (* = ungrammatisch)

eine sehr schwierige Aufgabe

bilaterale Abhängigkeit:

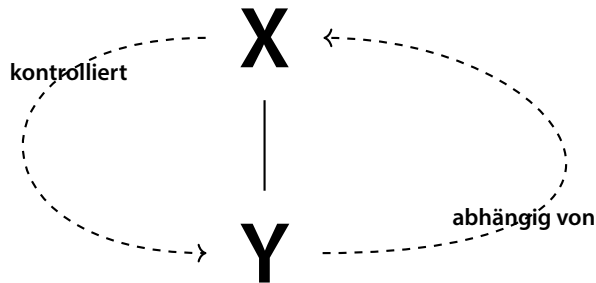
Beantworte den Brief

**Beantworte den Brief*

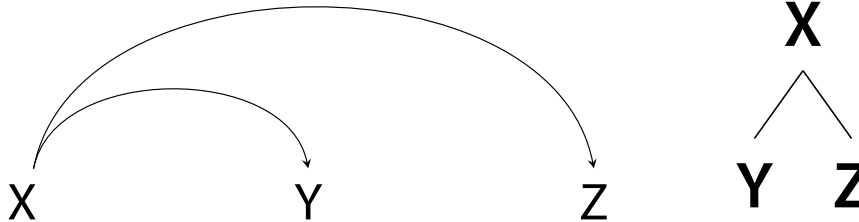
**Beantworte den Brief*

- **Dependenzrelation** $\langle Y, X \rangle$ = binäre (zweistellige) Relation zwischen zwei Wörtern X und Y, wobei **(das Vorkommen oder die Form von) Y von (dem Vorkommen oder der Form von) X abhängt**

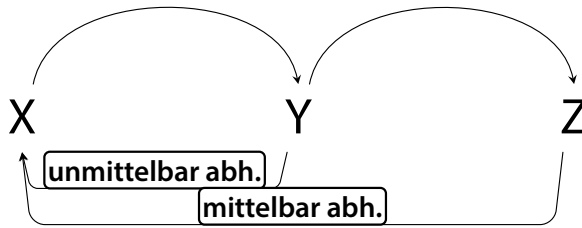
→ asymetrische Beziehung: wenn Y abhängig von X ist, dann ist X nicht abhängig von Y



- **Kontrolle als umgekehrte Dependenzrelation** $\langle X, Y \rangle$: X regiert Y (X ist Regens)
- **Darstellung Kontrollrelation** mit Pfeilen (gerichteter Graph) oder implizit durch vertikale Anordnung



- Relation der **unmittelbaren und der mittelbaren Abhängigkeit**:



- zum Vergleich:



Abbildung 1: Konstituenten- und Dependenzstrukturschema

Dependenzstruktur

- Dependenzstruktur: **Menge der durch die Relation der Dependenz/Kontrolle verbundenen lexikalischen Einheiten** (Wörter; ggf. auch Stämme und Affixe)
- direkte Untersuchung der **hierarchischen Beziehungen der Einheiten im Satz** (wie ihr Vorkommen und ihre Form voneinander abhängen)
- **Verb als Wurzelknoten** des Satzes, von dem alle anderen Knoten unmittelbar oder mittelbar abhängen

- in einer Phrase: **Kopf kontrolliert Dependente**; Dependente hängen von Kopf ab
- ein Wort kann nur von einem anderen Wort abhängen: **nur 1 Kopf pro Dependent!** (aber mehrere Dependente pro Kopf)

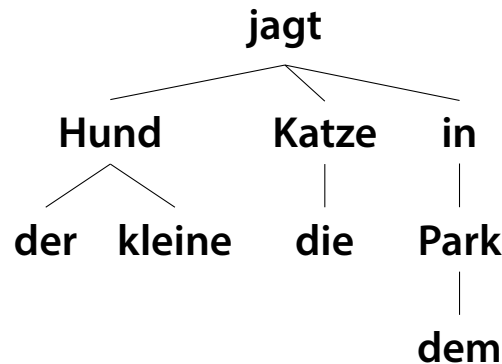


Abbildung 2: Einfacher Dependenzbaum (auch: Stemma)

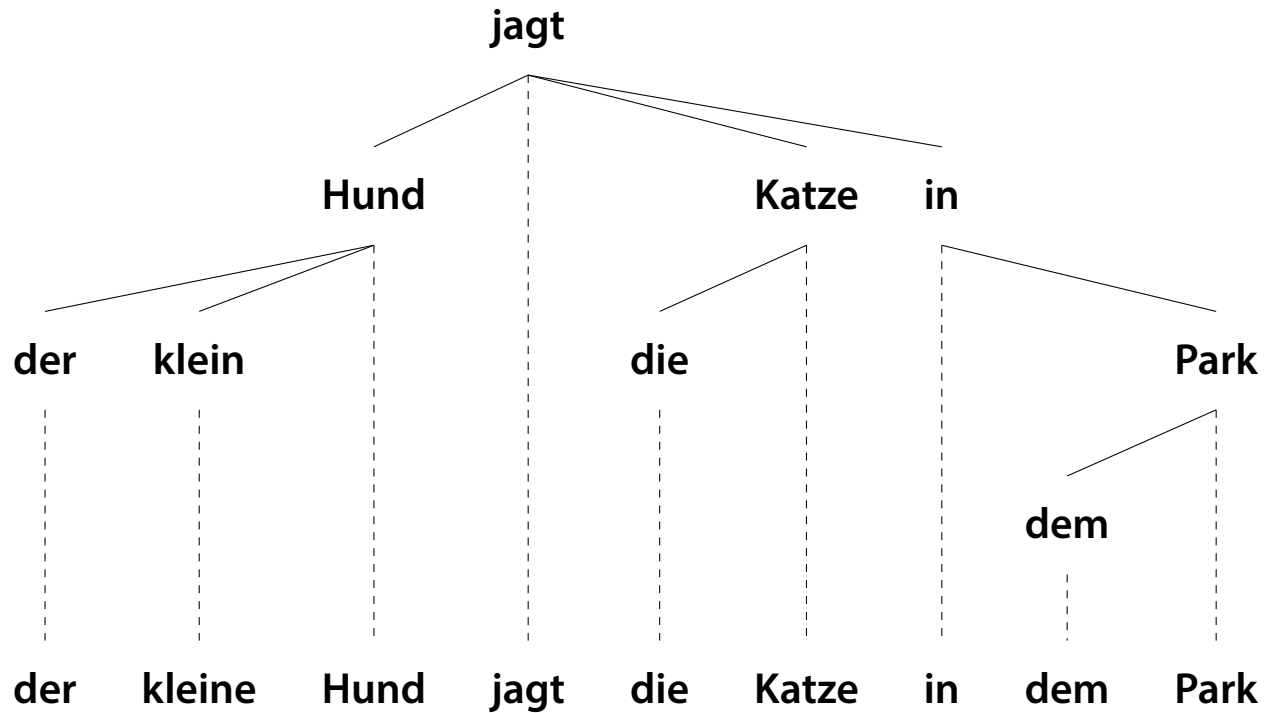


Abbildung 3: *Dependenzbaum mit Berücksichtigung der linearen Ordnung: Linksversetzung markiert Vorgänger-Relation; gestrichelt = Projektionslinien, von 2-dim Depstr auf 1-dim Wortfolge*

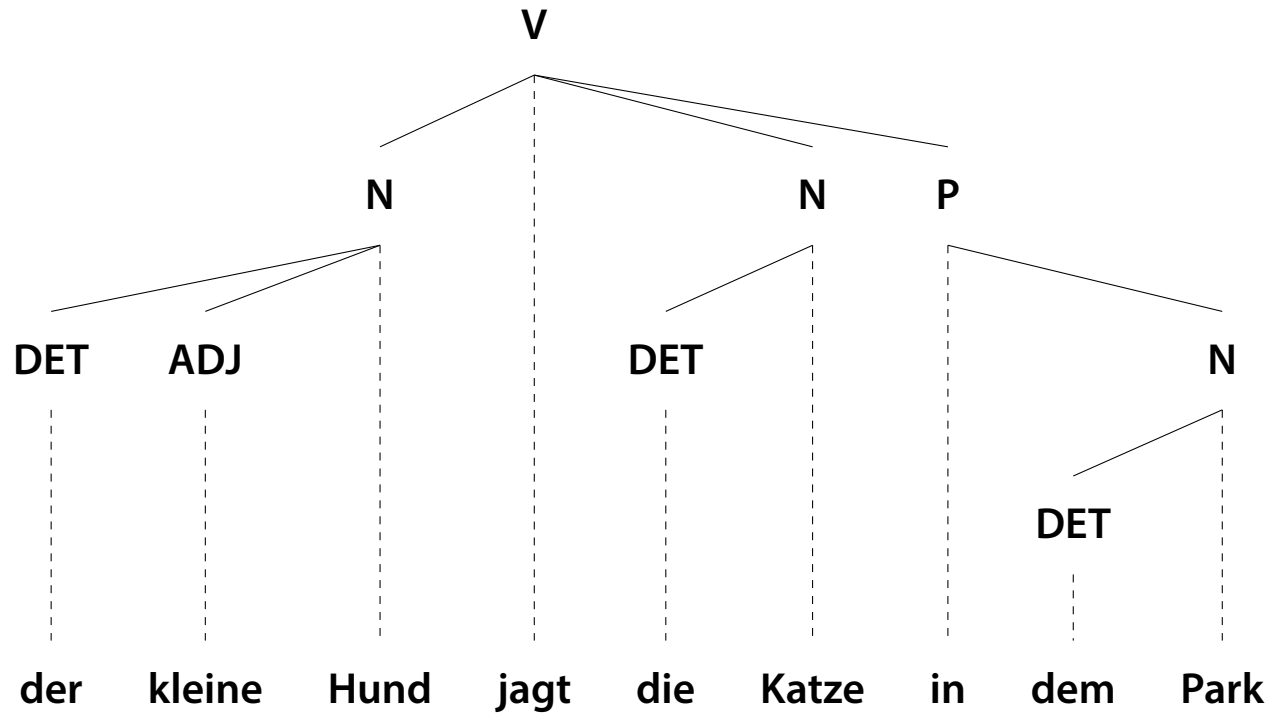


Abbildung 4: *Dependenzbaum mit Wortartenangaben*

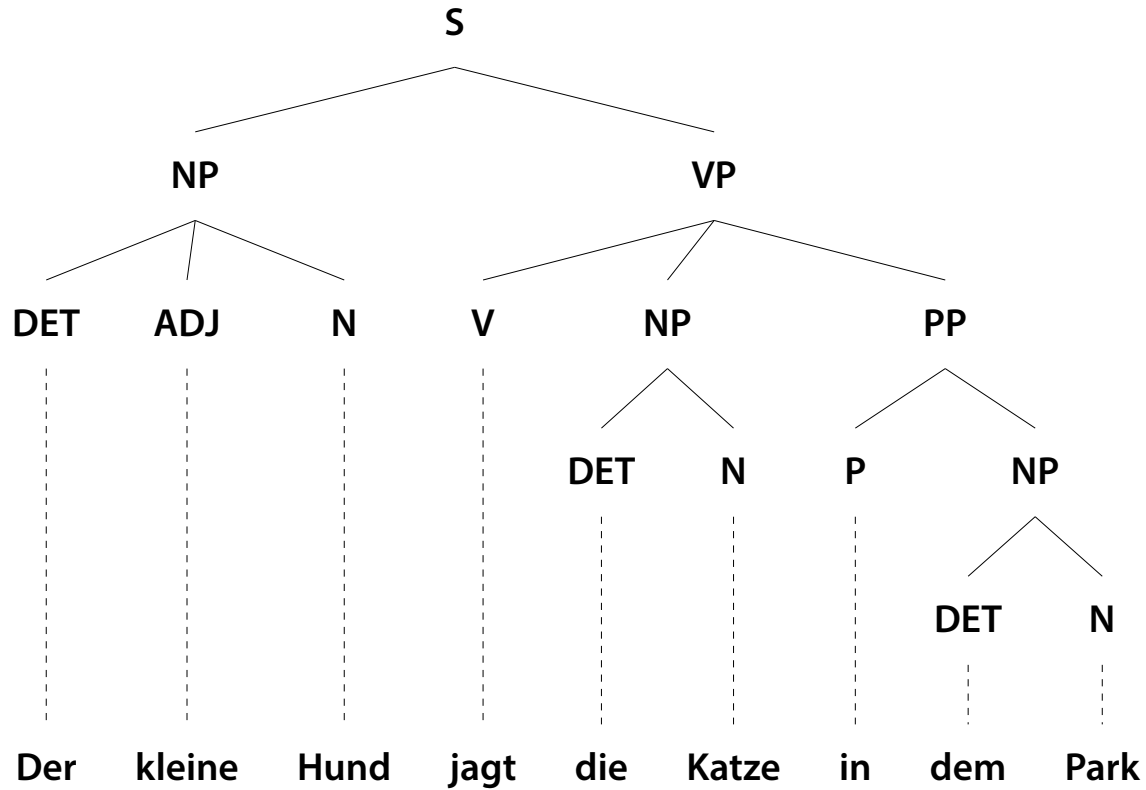


Abbildung 5: zum Vergleich: Konstituentenstruktur

5.1.2 Vergleich Konstituenten- und Dependenzstruktur

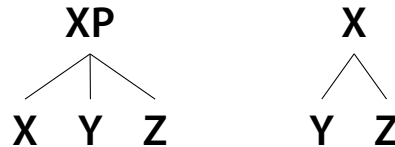


Abbildung 6: Konstituenten- und Dependenzstrukturschema

Übersicht Dependenzstruktur:

- **Elemente der Struktur (Knoten)** → *Wörter*
- **Relationen der Struktur (Kanten)** → *Dependenzrelationen* (z. B. *Subjekt, Objekt*)
- **syntaktische Kategorien** → *gerichtete Kanten = Dependenzrelationen*
- **Kategorientyp** → *funktional / relational*
- **Strukturinformationen in Kanten des Syntaxbaums** (funktionale Kategorien)

- **Konstituentenstruktur = Phrasenstrukturgrammatik**
 - Analyse des **Aufbaus der Satzstruktur durch Zergliederung** in Konstituenten
 - Zusammensetzung von Wörtern zu **syntaktischen Einheiten**
 - **Subjekt-Prädikat-Grundstruktur**
 - **Strukturinformation in Knoten** (Kategorien des strukturellen Aufbaus)
 - **phrasale Knoten**

- **Dependenzstruktur = relationale Wortgrammatik**
 - Analyse **Satzstruktur 'von innen heraus'** (vom Verb ausgehend)
 - **Beziehung zwischen Wörtern**
 - **Subjekt und Objekt gleichrangige Argumente des Verbs** (beide valenzgefordert)
 - **Strukturinformation in Kanten** (relationale Kategorien)
 - keine phrasalen Knoten, **flachere Struktur** als PSG

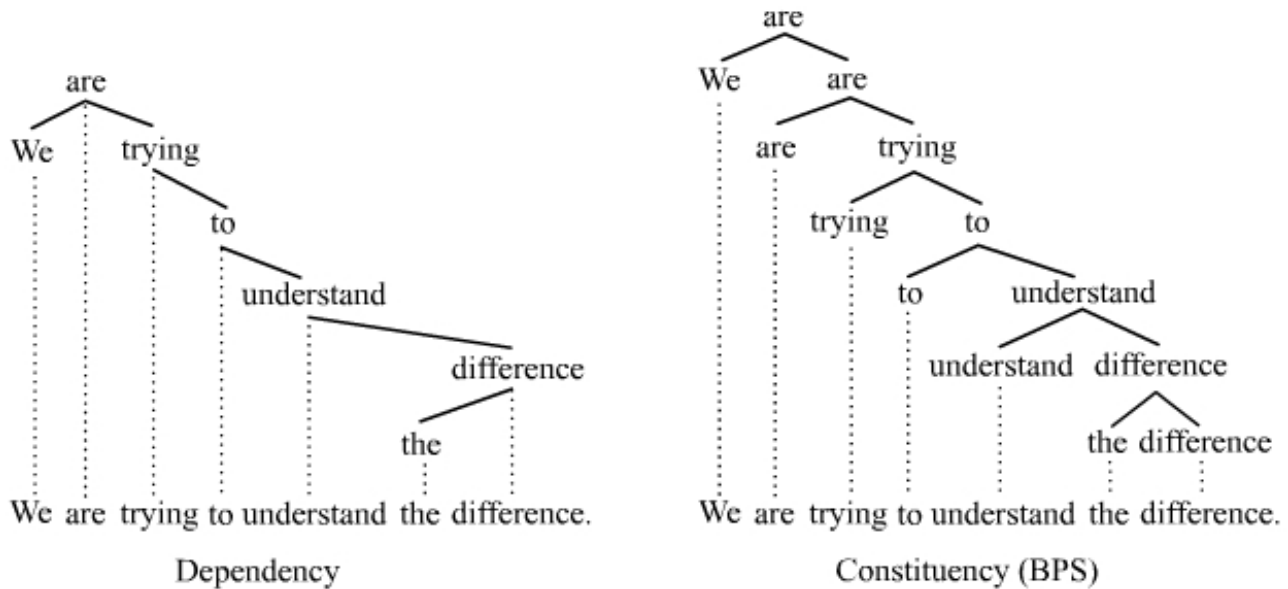


Abbildung 7: Geordneter Dependenzbaum - Konstituentenbaum
(von Tjo3ya - eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17517283>)

- **Dependenz in Konstituentenstruktur**
 - implizite Dependenzanalyse **in Phrasenkategorien durch Kopf-Prinzip** (X-Phrase)
 - Phrasenkopf ist Regens aller anderen Schwesterknoten
 - **in X-Bar-Theorie**: Ergänzung und Angabe als **Komplement und Adjunkt** über **Strukturposition** definiert
- **Konstituenten in Dependenzstruktur**
 - implizite Konstituentenanalyse: **Teilbäume als Konstituenten** (aber nicht alle Konstituenten repräsentiert: VP)

Transformation Konstituenten- in Dependenzstruktur

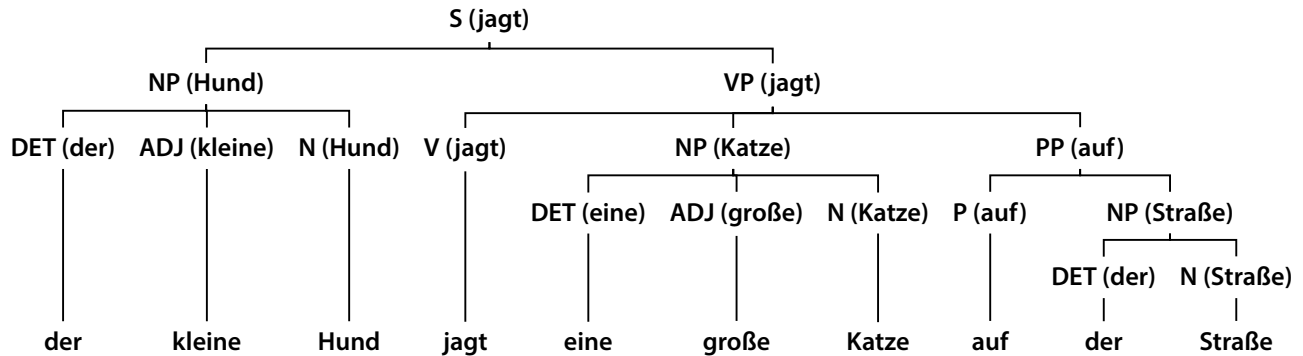


Abbildung 8: Phrasenstruktur mit Kopfannotation

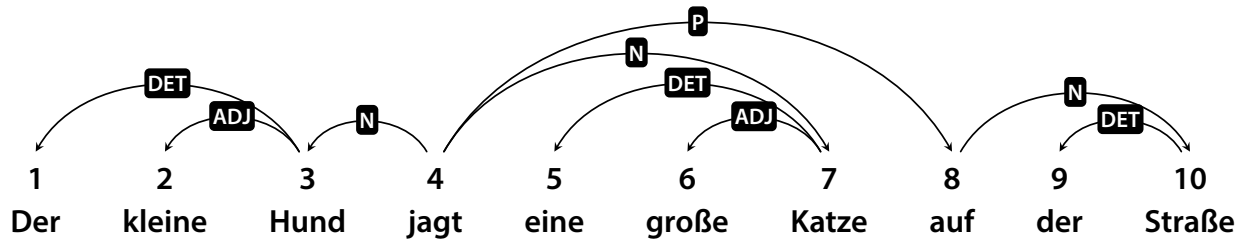
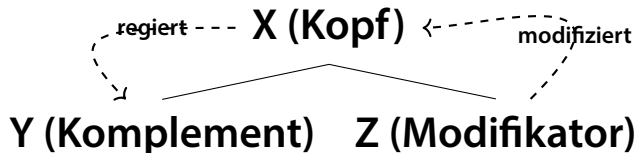


Abbildung 9: aus Phrasenstruktur mit Kopfannotation abgeleitete Dependenzstruktur

- alle Ko-Konstituenten des Phrasenkopfes sind seine Dependenden
- Label der Dependenzrelation: Wortart des Nicht-Kopfes

5.1.3 Typen von Dependenzrelationen

- **Typ 1: Reaktion** → Dependent ist **Komplement**
→ **bilaterale Dependenz**: Kopf kann nicht ohne Dependent auftreten
- **Typ 2: Modifikation** → Dependent ist **Adjunkt oder Attribut**
→ **unilaterale Dependenz**: Kopf kann ohne Dependent auftreten



- **Komplement (auch: Ergänzung / Aktant)**
 - **Vorkommen und Form des Dependents vom Kopf gefordert**
 - **valenzgebundener** Dependent (obligatorisch)
 - *Leerstelle* (Bühler) beim Kopf (insbes. beim Verb), die mit bestimmter Konstituente in bestimmter Form zu füllen ist
 - Anzahl der Leerstellen = **Valenz, Subkategorisierungsrahmen, Argumentstruktur**
 - weiter Komplementbegriff: enthält auch Subjekt

- **Modifikator**

- **Vorkommen und Form des Dependents NICHT vom Kopf gefordert**

- **nicht-valenzgebundener** Dependent (optional)

- Leerstellen beim Dependent, mit der er sich an einen Kopf bestimmten Typs andocken kann (Ergebnis ist ein Syntagma gleichen Typs wie der Kopf)

- **Adjunkt als verbaler Modifikator** (auch: **Angabe** / Zirkumstant)

- **Attribut als nominaler Modifikator**

- eingeschränkter Adjunkt-Begriff gegenüber X-Bar-Theorie!

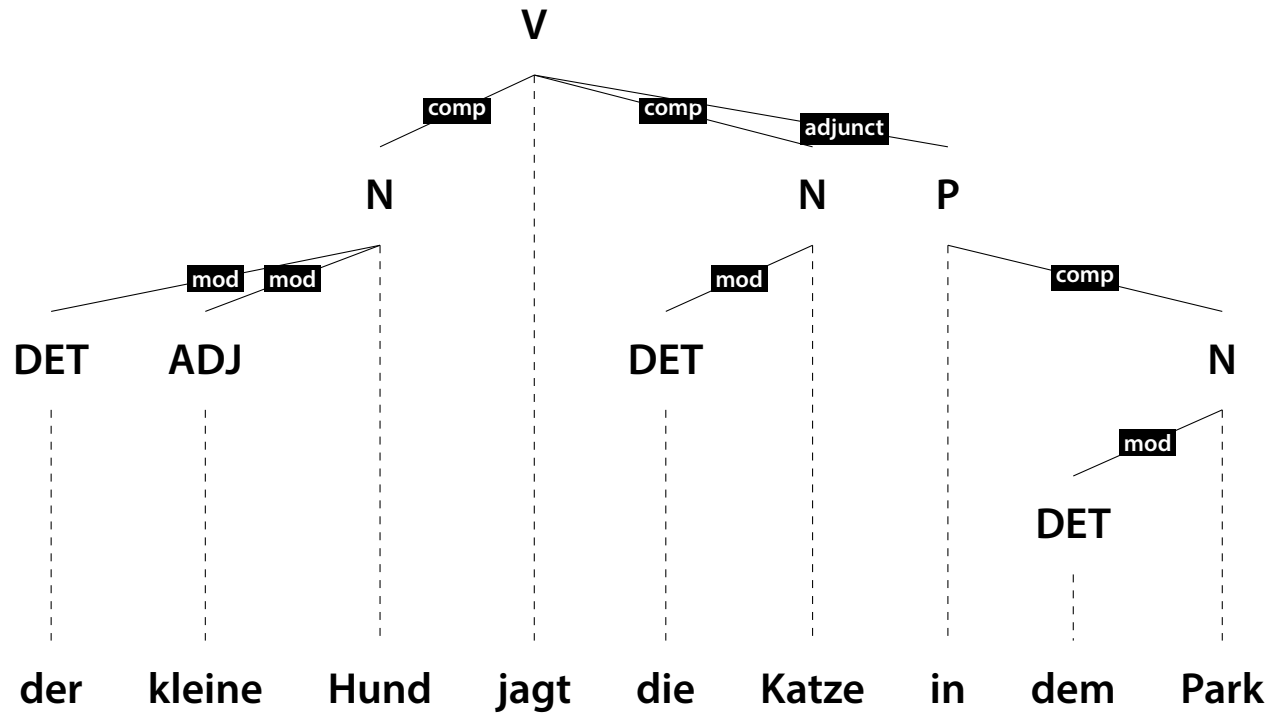


Abbildung 10: *Dependenzbaum mit Differenzierung von Komplementen, Adjunkten und nominalen Modifikatoren*

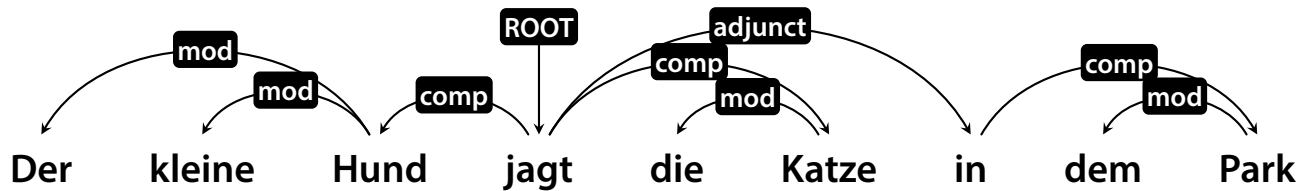


Abbildung 11: Alternative Darstellung ('Dependenz-Blume')

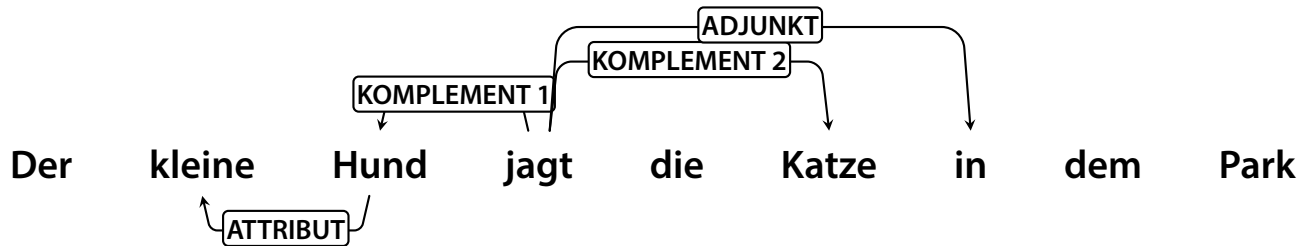


Abbildung 12: Analyse von grundlegenden Dependenzfunktionen

5.1.4 Methoden zur Komplement/Adjunkt-Unterscheidung

Eliminierungstest

- **Eliminierung der Konstituente** (Feststellung ihrer Notwendigkeit).
- Wenn Grammatikalität erhalten: Angabe/Adjunkt, sonst: Ergänzung/Komplement

Er beantwortete einen Brief im Arbeitszimmer.

*Er beantwortete einen Brief **im Arbeitszimmer**.* (Adjunkt)

Er beantwortete **einen Brief im Arbeitszimmer.* (Komplement)

Adverbialsatz-Test

- **Auslagerung der Konstituente in einen Adverbialsatz** (funktioniert nicht bei Zeitangaben).
- Wenn Grammatikalität erhalten: Angabe/Adjunkt, sonst: Ergänzung/Komplement

Er wartete im Park auf die Katze.

*Er wartete auf die Katze, als er **im Park** war.* (Adjunkt)

Er wartete im Park, als er **auf die Katze war.* (Komplement)

geschehen-Test

- **Auslagerung der Konstituente in einen Satz mit dem Verb *geschehen*.**
- Wenn Grammatikalität erhalten: Angabe/Adjunkt, sonst: Ergänzung/Komplement

Er wartete im Park auf die Katze.

*Er wartete auf die Katze, und das geschah **im Park**.* (Adjunkt)

Er wartete im Park, und das geschah **auf die Katze.* (Komplement)

Obligatorische, fakultative und optionale Dependenden

- **Obligatorischer Dependent = Komplement** (valenzgefordert):

**Er beantwortet einen Brief*

- **Fakultativer Dependent = Komplement, aber kontextabhängig eliminierbar:**

Er schreibt einen Brief

→ Ellipse eines an sich obligatorischen Dependenden

→ oder Annahme von zwei Valenzrahmen

- **Optional**er Dependent = **Adjunkt** (immer eliminierbar):

Er schreibt ~~den ganzen Tag~~

- **Differenzierung fakultativer von optionalen Dependents:**

beide: eliminierbar → Differenzierung über *geschehen*-Test:

Er schreibt, und es geschieht **einen Brief* (fakultativ)

*Er schreibt, und es geschieht **den ganzen Tag*** (optional)

5.2 Syntaktische Funktionen

- Dependenzrelationen zwischen Wörtern können zu **Klassen von Relationen zwischen lexikalischen und syntaktischen Klassen/Kategorien** zusammengefasst werden (**Relationale Kategorien**)
 - **Differenzierung** der Relationen zwischen abhängigen Elementen **nach syntaktischem Verhalten** im Satz (**Syntaktische Funktion**)

5.2.1 Grammatische Relationen

- **Relationen zwischen Prädikat und seinen Dependents** (Komplemente + Adjunkte)
- **Kategorisierung dieser Relationen über morphosyntaktische Kriterien**, z. B. über Passivierbarkeit, Relativierbarkeit, Agreement
- **Feststellung von Klassen sich morphosyntaktisch in Relation zum Verb gleich verhaltender Argumente** (in gleicher syntaktischer Funktion)

- z. B.: in **Subjektfunktion** zum Verb stehen Argumente, die mit dem Verb kongruieren, sowie prototypisch unmarkiert sind, in Akkusativsprachen: Nominativ
→ Element x erfüllt Funktion als Subjekt des Verbes y : $\text{subj}(x, y)$
- **Hierarchie** dieser syntaktischen Funktionsklassen:
→ wenn eine Funktion an einer syntakt. Konstruktion (z. B. Relativierbarkeit) teilnimmt, dann auch alle höheren (sprachspezifisch!)

Subjekt > Direktes Objekt > Indir. Objekt > Adverbiale

- Feststellung von **Kern- und peripheren Argumenten** (*Core/-Oblique*-Unterscheidung)

- Komplement-Adjunkt-Unterscheidung verläuft quer zu dieser Kategorisierung der syntaktischen Funktionen:
- **Kernargumente sind i. A. Verbkomplemente** (valenzgefordert), **periphere Argumente Adjunkte**
- aber auch **periphere Argumente (Adverbiale)** können **valenzgefordert** sein: *die Blumen ins Wasser stellen; nach Hause fahren*
- und es gibt auch **Kernargumente, die keine Komplemente** sind
→ z.B. Expletiv-Konstruktion '*es regnet*': valenzsemantisch 0-wertig, aber: syntaktisch hat es die Funktion eines Subjekts

Prädikat

- **Kopf des Satzes** (Wurzelknoten)
- semantisch: auf Subjekt bezogener Zustand, Vorgang, Tätigkeit, Handlung
- formale Realisierung: Verb oder Verbkomplex (Aux + V; Cop + Prädikativ=Nomen oder Adjektiv)
 - enger Prädikatbegriff im Gegensatz zum weiten Prädikatbegriff der Generativen Grammatik (Prädikat als Satzaussage über Subjekt, also Verb + Komplemente)
- **Kongruenz mit Subjekt** (in Akkusativsprachen)

- Verben haben unterschiedliche Anzahl an Kernargumenten:
 - intransitive Verben: haben 1 Kernargument
 - transitive Verben: haben 2 Kernargumente
 - ditransitive Verben: haben 3 Kernargumente

Subjekt (nsubj / csubj)

- Funktion als **Kernargument eines intransitiven Verbs**
- Funktion als **Agens-Kernargument eines transitiven Verbs**
- topologisches Kriterium: **typische Wortstellung** im Deutschen:
Subjekt im Mittelfeld vor dem Objekt
- Kongruenz mit Verb (in Akkusativsprachen)

- kann in bestimmten Konstruktionen **optional gelöscht** werden (z. B. Koordination: *ich kam, sah und siegte*; **ich sah ihn, ich besiegte ihn*)
 - vgl. **Pro-Drop**-Sprachen, z. B. ital. *piove* 'es regnet'; Kodierung Subjekt über Agreement reicht aus
 - dagegen im Deutschen: Subjektposition muss besetzt sein: **Expletiv** als semantisch leeres (nicht-referentielles) Element: *es regnet*

- morphologisch (in Akkusativsprachen) prototypisch kodiert mit **Nominativkasus**
→ unmarkierter Kasus, nominale 'Grundform', auch in freier Verwendung als Zitierform/Anrede
- prototypische semantische Rolle (im transitiven Satz):
→ **Agens** (Ausgangspunkt des Geschehens)
- prototypische pragmatische Rolle:
→ **Topic** (Satzgegenstand) (worüber der Satz etwas aussagt)

(Direktes) Objekt (obj / ccomp)

- Funktion als **Patiens-Kernargument eines transitiven Verbs**
- **Passivierbarkeit** (wird zum Subjekt-Argument des Passivsatzes), Relativierbarkeit (Dt.)
- syntaktisch: steht in **Verbnähe**
- morphologisch (in Akkusativsprachen) prototypisch kodiert durch **Akkusativ** (Objektkasus), im Deutschen bei einigen Verben auch **Genitiv/Dativ oder präpositional (Präpositionalobjekt)**
- prototypische semantische Rolle:
→ **Patiens / Theme** (vom Geschehen betroffene Entität)

Indirektes Objekt (iobj)

- Funktion als **Recipient-Argument eines ditransitiven Verbs**
- Relativierbarkeit (Dt.), keine Passivierbarkeit
- syntaktisch: **verbferner als direktes Objekt**
 - Test über Topikalisierung Konstituente mit Verb: **seinem Freund gegeben hat er ein Buch*
- morphologisch kodiert durch **Dativ oder verwandten Kasus oder präpositional**: *ich bringe es zu dir*

- prototypische semantische Rolle:
→ **Recipient / Goal** (worauf das Geschehen mittelbar gerichtet ist)

Adverbial (obl / advmod / advcl)

- Funktion als **lokale/zeitliche/kausale/modale Bestimmung** zum Verb
- **keine Passivierbarkeit, keine Verbkongruenz**

- morphologische Kodierung:
 - **präpositional** (präpositionales Adverbial)
 - durch **obliquen Kasus** (Kasusadverbial)
 - im Dt. **Akkusativ und Genitiv als obliquen Kasus**: *Dieser Tage kommt er; Er ging den ganzen Tag*
 - in anderen Sprachen (z. B. finno-ugrischer Sprachfamilie): Vielzahl an **Lokalkasus** (Lokativ, Adessiv, Translativ, Ablativ)
- prototypische semantische Rolle:
 - **Location, Direction, Source, Time, Instrument, Manner, Purpose, Cause** (Bestimmungen der Umstände des Geschehens)

Komplement vs. Adjunkt beim Adverbial (ob1)

- alle optionalen verbalen Angaben = **Adjunkte: haben adverbiale Funktion**
- Element in adverbialer Funktion kann aber auch vom Verb gefordert sein (**adverbiales Komplement/Ergänzung**)
 - Satz wird **ungrammatisch beim Weglassen**: **Er stellt die Blumen ins Wasser*
 - bei **fakultativen** adverbialen Ergänzungen: **Geschehenstest**:
**Er fährt nach München, und es geschieht nach München.*

- aber: Valenz schwierig zu operationalisieren: (*?) *Ich habe das Brot mit dem Messer geschnitten* (Instrument Teil des Valenzrahmens?)
- in Analyse syntaktischer Funktion: Unterscheidung von obligatorischem und optionalem Adverbial nicht notwendig, vgl. Universal Dependencies: <http://universaldependencies.org/u/overview/syntax.html#avoiding-an-argumentadjunct-distinction>

Differenzierung Präpositionalobjekt (obj+case) - Adverbial (obl+case):

- **aber: Abgrenzung zwischen Präpositionalobjekt und präpositionalen Adverbial**
 - Präpositionalobjekt: gebildet mit semantisch leerer Präpos.
 - valenzgefordert: **er glaubt nur an-sich*
 - verhält sich syntaktisch ähnlich wie Objekte (Präposition als Kasusmarker)
 - Präpositionalobjekt ersetzbar durch Pronominaladverb mit Nebensatz (Komplementsatz): *er glaubt daran, dass ...; er wartet darauf, dass ...*
 - Inhalt erfragbar mit Objektpronomen: *worauf wartete er?*

Differenzierung Kasusobjekt (obj) - Kasusadverbial (obl):

- beim Kasusobjekt wird (im Gegensatz zum Kasusadverbial) der Kasus vom Verb regiert: *er gedachte der schönen Tage* vs. *Er lief den ganzen Tag*
 - Kasusobjekt erfragbar mit Objektpronomen:
*wessen gedachte er?; *wen lief er?*
 - Kasusobjekt nicht erweiterbar mit Objekt in gleichem Kasus:
**Er gedachte der schönen Tage der dunklen Nächte*
 - Kasusadverbial nicht passivierbar (Promotion zum Subjekt):
**Der ganze Tag wird gelaufen.*

Realisierung von Grammatischen Relationen

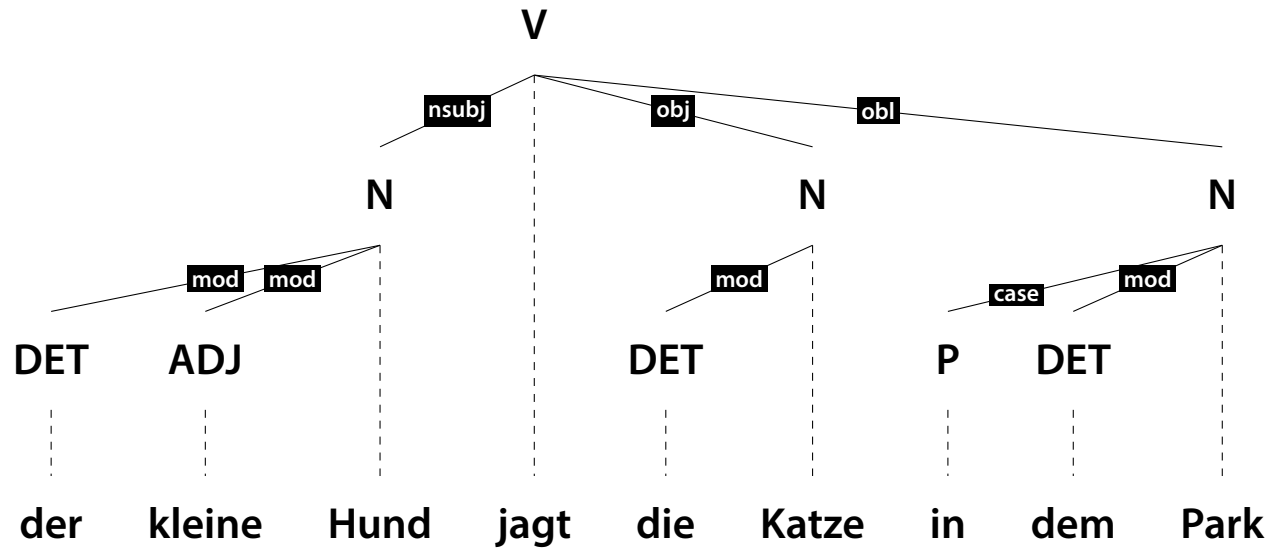
- **Subjekt:** NP (`nsubj`), Expletiv (`expl`), Komplementsatz (`csubj`)
- **direktes Objekt:** NP (`obj`), Komplementsatz (`ccomp`)
- **indirektes Objekt:** NP (`iobj`)
- **Adverbial:** NP (`obl`), PP (`obl+case`), ADVP (`advmod`), Adverbialsatz (`advcl`)

Morphologische Kodierung von Grammatischen Relationen

- **Agreement:** Markierung der syntaktischen Funktion eines oder mehrerer Kernargumente (mono-/double-agreement usw., entsprechend der GR-Hierarchie: Subjekt, Objekt, usw.) durch **Spiegelung von grammatischen Merkmalen des Dependents am Kopf** (*head-marking*)

- **Kasus:** Markierung der syntaktischen Funktion durch **grammatische Marker am Dependent** (*dependent-marking*)
 - entweder: von Verbvalenz geforderter Kasus bei Komplement
 - oder: je nach Semantik des adverbialen Adjunkts
- **Präposition:** ähnlich wie Kasus: **Element zur Markierung syntaktischer Funktion**

- **Zwei Analysekonventionen für Präposition** (bilaterale Dependenz!):
 - 1. **Präposition als Kopf** (der Kasus des Nomens regiert), Nomen als Dependent (pobj)
 - 2. Nomen (Inhaltswort) als Kopf, **Präposition als Kasus-Marker** (Funktionswort, das Kopf modifiziert, so dass es anschlussfähig wird)
- hier: 2. Variante (vgl. UD: '*primacy of content words*'), Präposition als obliquer Kasusmarker (case)

Abbildung 13: *Dependenzbaum mit Grammatischen Relationen*

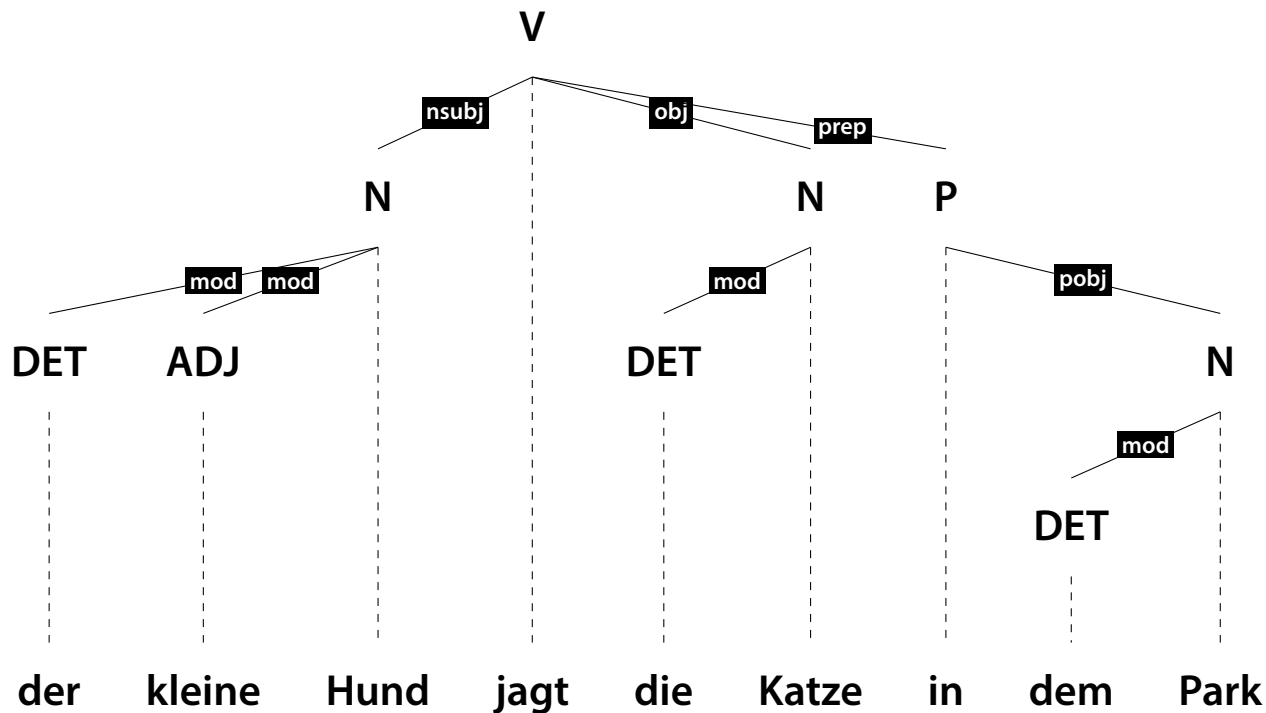


Abbildung 14: *Dependenzbaum mit Grammatischen Relationen mit alternativer PP-Analyse*
 (Stanford Dependencies https://nlp.stanford.edu/software/dependencies_manual.pdf (prep = prepositional modifier))

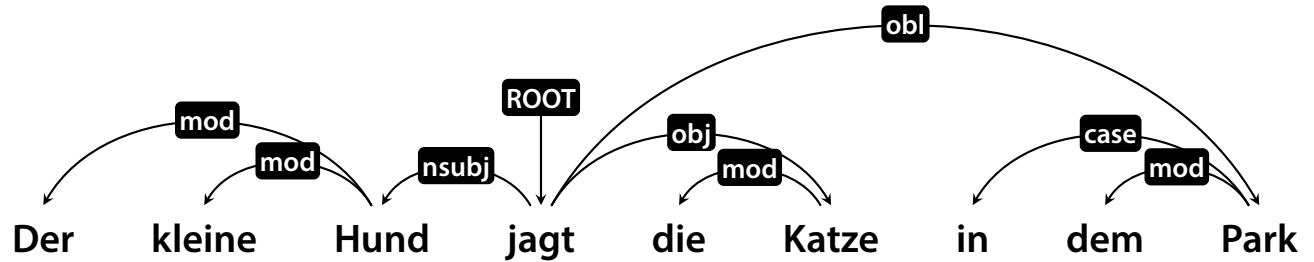


Abbildung 15: Präposition als Kasusmarker

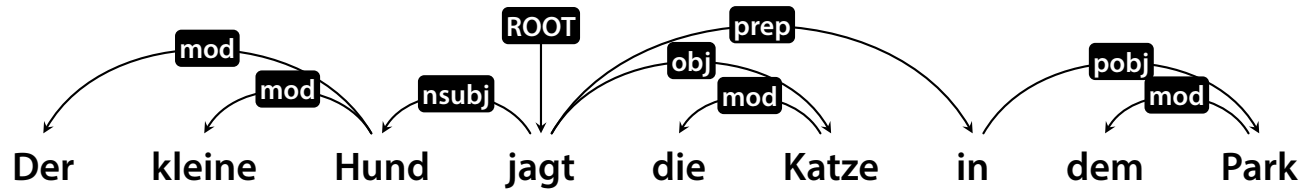


Abbildung 16: Präposition als direkter Dependent zum Verb

Syntaktische Funktionen von Präpositionalphrasen

- **verbales Adjunkt** = obliques Objekt (obl)
- **verbales Komplement** = (Präpositional-)Objekt (obj)
- **nominales Attribut** = Präpositionalattribut (nmod, s. u.)

Frage PP-Attachment-Ambiguität: ist PP **Attribut** (nominaler Dependent) oder **Adjunkt** (verbaler Dependent)?

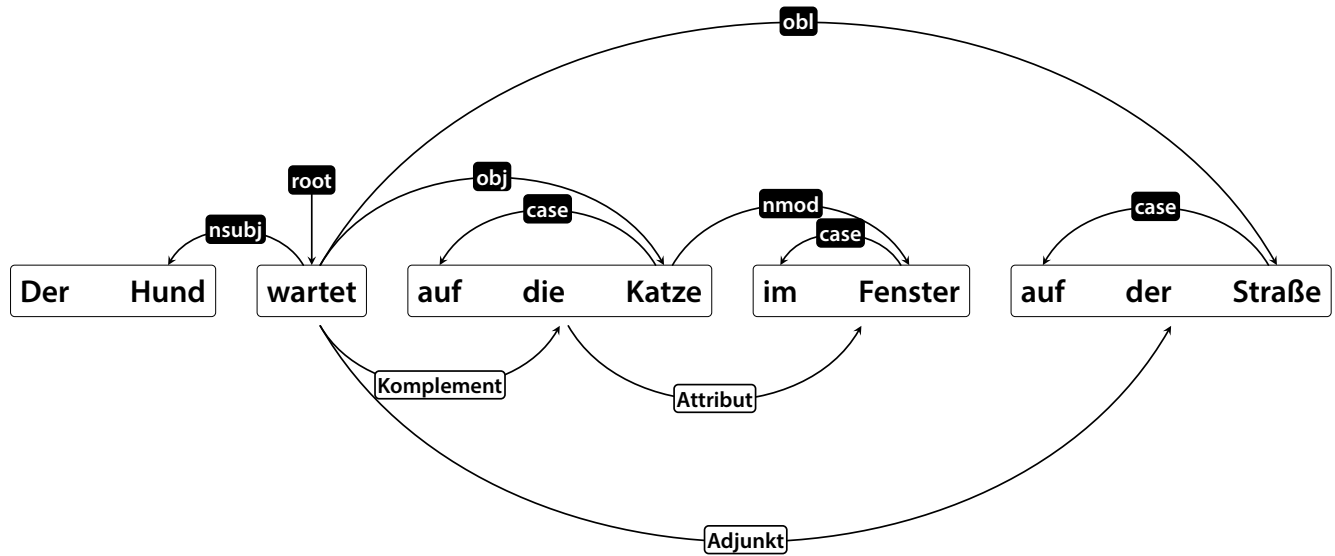
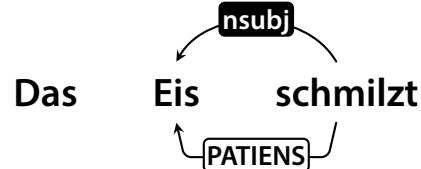
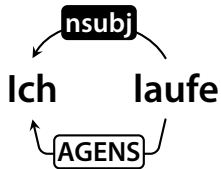


Abbildung 17: *Dependenzbaum mit PP-Attribut, -Komplement und -Adjunkt*

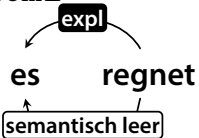
5.2.2 Grammatische Relationen im UD-Annotationschema

- **verschiedene** lexikalische und syntaktische **Einheiten** realisieren **gleiche Funktion**
- in **UD-Labels**: aufgenommen, durch welche **Formklasse** die **Funktion** realisiert wird
 - **Kombination aus Wortart und Funktionslabel**
(*'mixed-functional-structural'*)

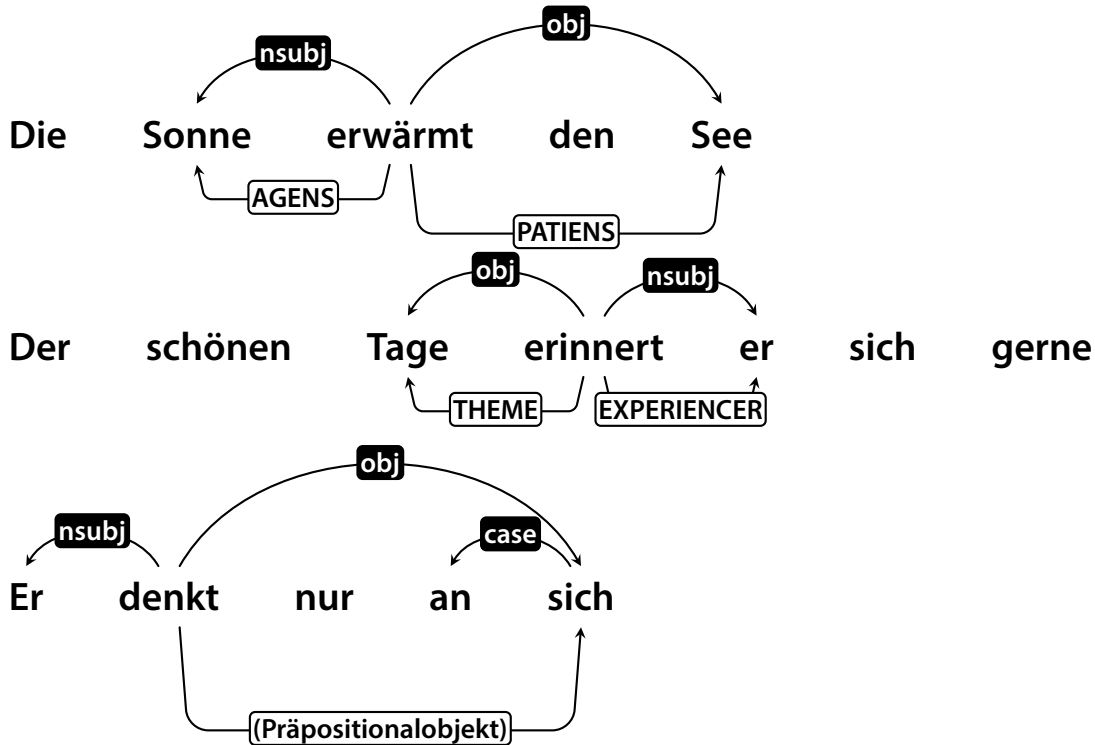
nominal subject (nsubj): <http://universaldependencies.org/u/dep/nsubj.html>



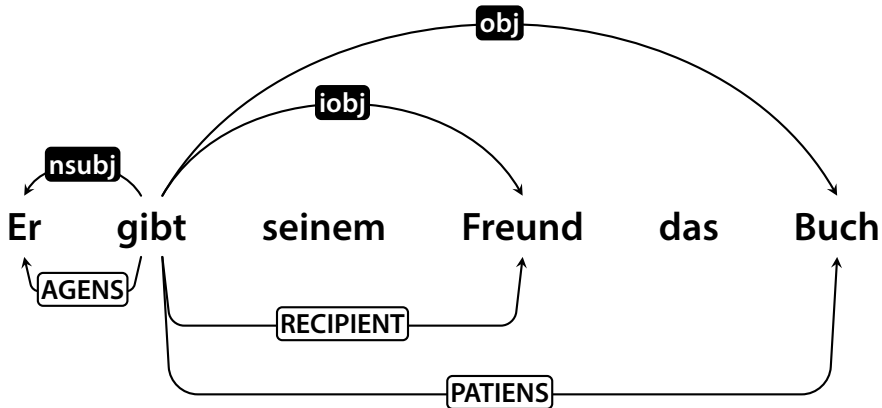
expletive (expl): <http://universaldependencies.org/u/dep/expl.html>



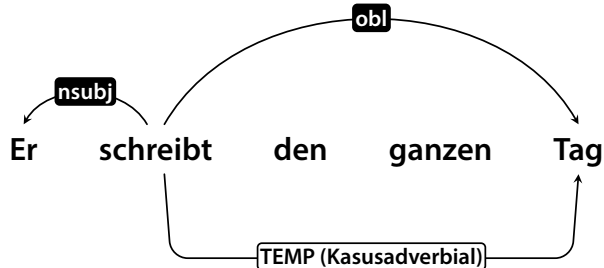
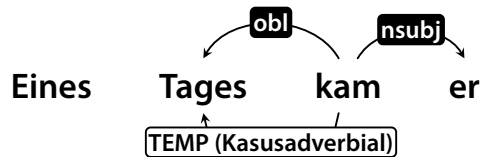
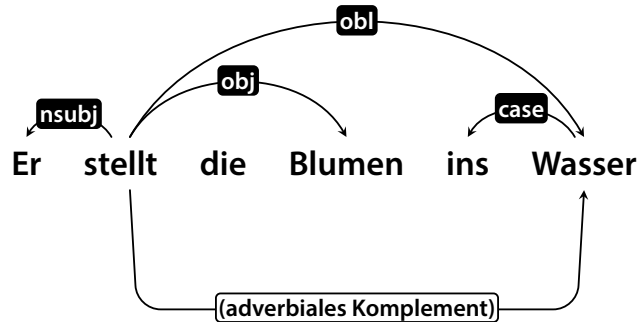
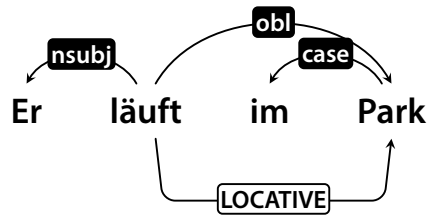
object (obj): <http://universaldependencies.org/u/dep/obj.html>



indirect object (iobj): <http://universaldependencies.org/u/dep/iobj.html>



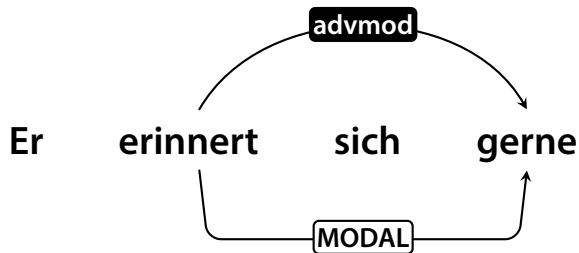
oblique nominal (obl): <http://universaldependencies.org/u/dep/obl.html>



case marking (case): <http://universaldependencies.org/u/dep/case.html>



adverbial modifier (advmod): <http://universaldependencies.org/u/dep/advmod.html>



5.2.3 Attributfunktion

Attribut = nominaler Dependent

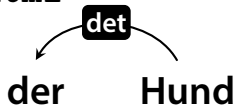
- semantisch: **prädikative Näherbestimmung** (Modifikation) vs. **nicht-prädikative Relation** (Genitiv-Komplement, analog zu Verb: *Das Bellen des Hundes*)
- aber: nominale Dependents sind **nie obligatorisch** (vom Nomen zwingend gefordert, in Valenz angelegt)

- **weiter Attributbegriff:** umfasst auch nominale Komplimente
 - syntaktischer Modifikationsbegriff (s. o.)
 - **keine Komplement-Adjunkt-Differenzierung** wie in X-Bar
 - analog zu Adverbialen oben: keine Differenzierung zwischen valenzgebundenen und nicht-valenzgebundenen Attributen
- ein attributives Element bildet mit Nomen/NP **endozentrisch** eine erweiterte NP
 - syntaktische Kategorie des Syntagmas bleibt bestehen (Nomen bleibt Kopf)
 - rekursiv wiederholbar (wie mit Adjunkten beim Verb)

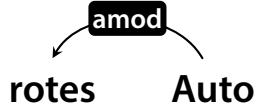
- realisiert als **Adjektiv-/Partizipial-Attribut** (`amod`), **Präpositional-/Genitiv-Attribut** (`nmod`), **Apposition** (`appos`), **Determinativ** (`det`) oder **Attributsatz** (`acl`)
- im Folgenden: Typen von Attributen aus UD Tagset (Universal Dependencies, v2)

determiner(`det`): <http://universaldependencies.org/u/dep/det.html>

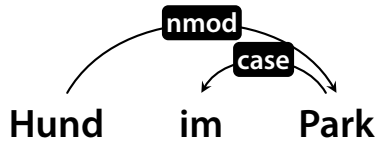
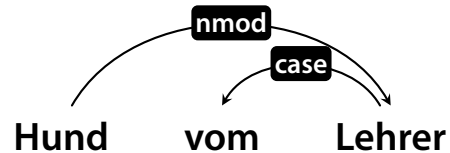
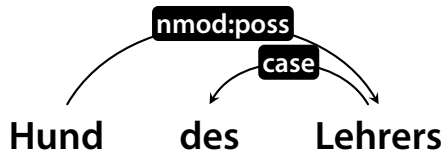
html



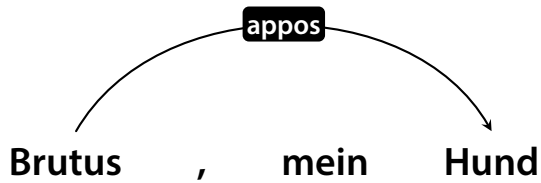
adjectival modifier (amod): <http://universaldependencies.org/u/dep/amod.html>



nominal modifier (nmod): <http://universaldependencies.org/u/dep/nmod.html>



appositional modifier (appos): <http://universaldependencies.org/u/dep/appos.html>

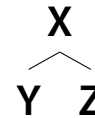


5.3 Formale Repräsentation - Dependenzgrammatik

formale Eigenschaften der Dependenzstruktur

- **gerichteter Graph** als Repräsentationsformalismus: $G = \langle M, R \rangle$
 - M : Elementmenge = Knoten (hier: Wörter)
 - R : Relation zwischen Elementen von M = Menge geordneter Paare = gerichtete Kanten (directed edges / arcs) (hier: Abhängigkeitsrelation)
- Dependenzstruktur hat **genau einen Wurzelknoten** (ROOT; hängt von nichts ab)
- ein Wort kann mehrere Dependenden haben

- ein Wort kann nur von einem Wort abhängen (und nicht von sich selbst)
- Kanten können **markiert (gelabelt)** oder unmarkiert sein
- Begriffe: **Mutterknoten** (X von Y, Z), **Tochterknoten** (Y, Z von X), **Schwesterknoten** (Y von Z und umgekehrt)



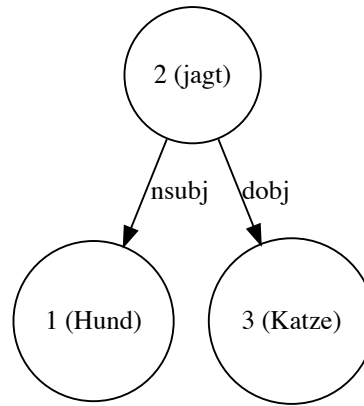


Abbildung 18: *Gerichteter Graph mit gelabelten Kanten*

- Modellierung Dependenzstruktur mit formaler Grammatik
→ **Wortgrammatik**
- **Transformation Konstituenten- in Dependenzstrukturen** möglich
→ über head-finding-rules und Regeln für das Labeln der Relationen

Auflistung 1: *NLTK: Dependenzgrammatik*

```
1 import nltk
2
3 grammar = nltk.DependencyGrammar.fromstring("""
4     'gibt' → 'Mann' | 'Frau' | 'Buch'
5     'schenkt' → 'Mann' | 'Frau' | 'Buch'
6     'Mann' → 'der'
7     'Frau' → 'der' | 'die'
8     'Buch' → 'das'
9     """)
10
11 sent= 'der Mann schenkt der Frau das
12     Buch'.split()
13
14 parser =
15     nltk.ProjectiveDependencyParser(grammar)
```

```

14
15 for parse in parser.parse(sent):
16     tree= parse
17
18 print(tree)
19 #(schenkt (Mann der) (Frau der) (Buch das))
20 #Format: Tree-Objekt (nicht: dependency graph..)
21
22 tree.pretty_print()
23     schenkt
24     -----|-----
25 Mann      Frau   Buch
26 |         |     |
27 der      der    das

```