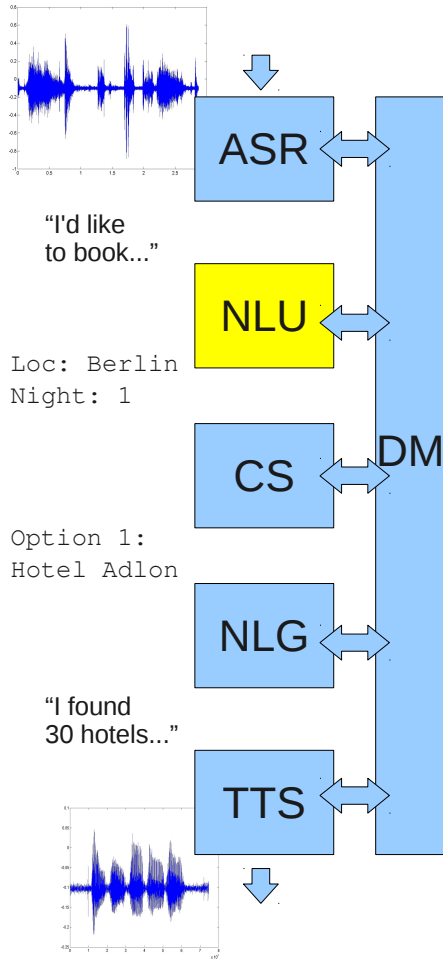


Elements of Data Science and Artificial Intelligence

Syntax / Semantics

WS 2019/2020
Vera Demberg

Natural Language Understanding



Example for a hotel booking system

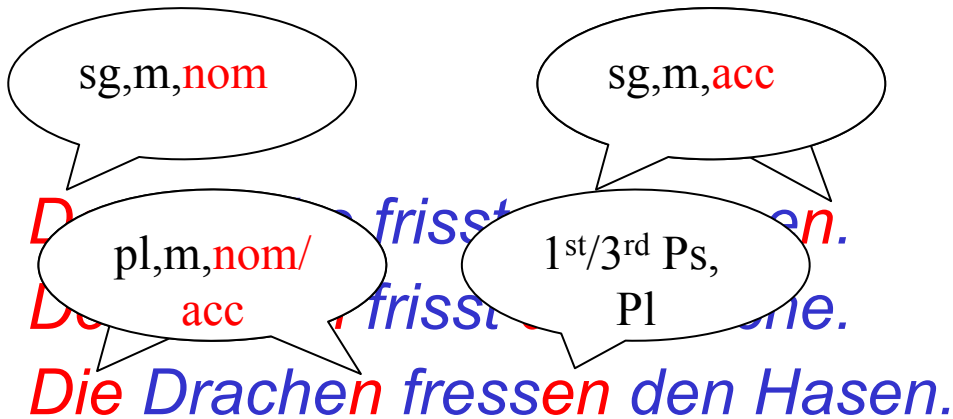
ASR output

I'd like to book a double room for 2 adults in Berlin for one night.

Frame

city:	Berlin
arrival:	
departure:	
duration:	1
# of people:	2
room type:	double
area:	Grunewald

Morphology and Syntax



- **Morphology** (word form) encodes the grammatical features of words.
- **Syntax** encodes how words interact with each other in a sentence.

Properties of syntactic structure [1]

- Er hat die Übungen gemacht.
- Der Student hat die Übungen gemacht.
- Der *interessierte* Student hat die Übungen gemacht.
- Der *an computerlinguistischen Fragestellungen* interessierte Student hat die Übungen gemacht.
- Der *an computerlinguistischen Fragestellungen* interessierte Student *im ersten Semester* hat die Übungen gemacht.
- Der *an computerlinguistischen Fragestellungen* interessierte Student *im ersten Semester*, *der im Hauptfach Informatik studiert*, hat die Übungen gemacht.
- Der *an computerlinguistischen Fragestellungen* interessierte Student *im ersten Semester*, *der im Hauptfach*, *für das er sich nach langer Überlegung entschieden hat*, *Informatik studiert*, hat die Übungen gemacht.

Examples from legal documents

- "Der für die Werkstoffabholung auf der Annahme von drei An- und Abfahrten mit LKW, die Wertstoffe umfüllen, und zwei An- und Abfahrten eines LKW, der zuerst die volle Schrottmulde abholt und diese nach Leerung wiederabliefern, errechnete Beurteilungspegel..."
- "Bei der Umsetzung der Vorgaben der Gerichte für eine verfassungskonforme Regelung der Überführung von Ansprüchen und Anwartschaften aus den Zusatz- und Sonderversorgungssystemen der ehemaligen DDR..."

 Arbitrarily deep and long nesting of structures is possible.

Properties of syntactic structure [2]

Peter hat der Dozentin das Übungsblatt heute ins Büro gebracht.

Das Übungsblatt hat Peter der Dozentin heute ins Büro gebracht.

Der Dozentin hat Peter heute das Übungsblatt ins Büro gebracht.

Ins Büro hat heute Peter der Dozentin das Übungsblatt gebracht.

Heute hat Peter das Übungsblatt der Dozentin ins Büro gebracht.

?Ins Büro hat das Übungsblatt der Dozentin Peter heute gebracht.

** Ins Büro heute Peter das Übungsblatt hat gebracht der Dozentin.*

** Ins heute Büro der Peter Dozentin das hat Übungsblatt gebracht.*

 variable word order (depends on the language)

Properties of syntactic structure [3]

- Wie finden Sie stattdessen das angehängte Bild?
Das ist ein Foto, das im Rahmen des TALK-Projektes entstanden ist, uns gehört, und von BMW schon freigegeben war. Außerdem vermittelt es besser den Bezug zur Forschung.

Eigenschaften der syntaktischen Struktur [3]

- Wie finden Sie stattdessen **die** angehängten **Bilder**? Das **sind** Fotos, **die** im Rahmen des TALK-Projektes entstanden **sind**, uns gehören**en**, und von BMW schon freigegeben waren**en**. Außerdem vermitteln **sie** besser den Bezug zur Forschung.

➡ Words and their forms depend on one another.

Summary on properties of syntactic structure

1. Sentences are composed of **constituents**, which can be simple or can in turn consist of complex constituents. Sentences can therefore contain **arbitrarily long and as deep nestings**.
2. The syntax of natural languages allows **variable word order**: words and constituents with the same function can appear at different places in a sentence. Different languages allow very different degrees of freedom.
3. The grammatical properties of different words and constituents in a sentence depend on one another – sometimes even in cases where the words and constituents in the sentence are far apart.

How to formally describe natural language syntax?

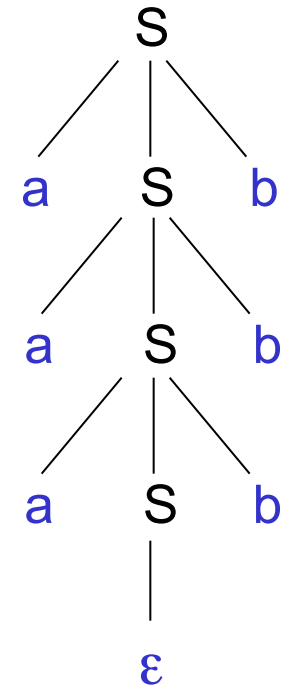
- Er *hat* die Übungen gemacht.
- Der Student *hat* die Übungen gemacht.
- Der interessierte Student *hat* die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student *hat* die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester *hat* die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach Informatik studiert, *hat* die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach, für das er sich nach langer Überlegung entschieden hat, Informatik studiert, *hat* die Übungen gemacht.

Context free grammars

- Context free grammars („CFG“) describe language through rewrite rules of the form $A \rightarrow w$
 - Example: $S \rightarrow aSb$, $S \rightarrow \varepsilon$ describes the language $L = a^n b^n$
- $A \rightarrow u$ means that symbol A can be replaced by symbol(s) u .
 - Example: $aaSbb$ goes to $aaaSbbb$ or $aa\varepsilonbb$ (which is $aabb$)
- Such a replacement is a permissible derivation step. We write:
 $aaSbb \Rightarrow aaaSbbb$ bzw. $aaSbb \Rightarrow aabb$.
- In order to derive a word, we start with S (the "start symbol").
- We apply replacement rules until a word w is created that only contains a 's and b 's ("terminal symbols").
 - Example: $S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aaaSbbb \Rightarrow aaabbbb$
- We thereby show that w can be derived from S by the rules of the grammar: w is a word of the language L described (generated) by the grammar.

Context free grammars

- The derivation $S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aaaSbbb \Rightarrow aaabbb$ can alternatively be represented by a **derivation tree**.
- The **root** of the tree is the start symbol.
- The **leaves** of the tree, read from left to right and strung together, form the derived word.
- Alternative representation:
 $[_S a[_S a[_S a[_S \epsilon] b] b] b]$



Context free grammars – definitions

$G = \langle V, \Sigma, P, S \rangle$, such that

- V is a non-empty set of **symbols**
- $\Sigma \subseteq V$ is a non-empty set of **terminal symbols**
- $P \subseteq (V - \Sigma) \times V^*$ is a non-empty set of **production rules**
- $S \in V - \Sigma$ is the **start symbol**

Example for language $L = a^n b^n$ in formal notation:

- $G_1 = \langle \{a, b, S\}, \{a, b\}, \{ \langle S, aSb \rangle, \langle S, \epsilon \rangle \}, S \rangle$
- $\langle A, \alpha \rangle \in P$ is often written as $A \rightarrow \alpha$.
- The language $L(G)$ generated by G is the set of all words composed of Σ^* that can be derived from S : $L(G) = \{w \in \Sigma^* \mid S \Rightarrow^* w\}$
- Languages generated from context-free grammars are called **context-free languages**.

A small context free grammar for German

$G1 = \langle V, \Sigma, P, S \rangle$ mit

$V = \{S, SRel, NP, VI, VT, N, Det, RPro, Pro\} \cup \Sigma$

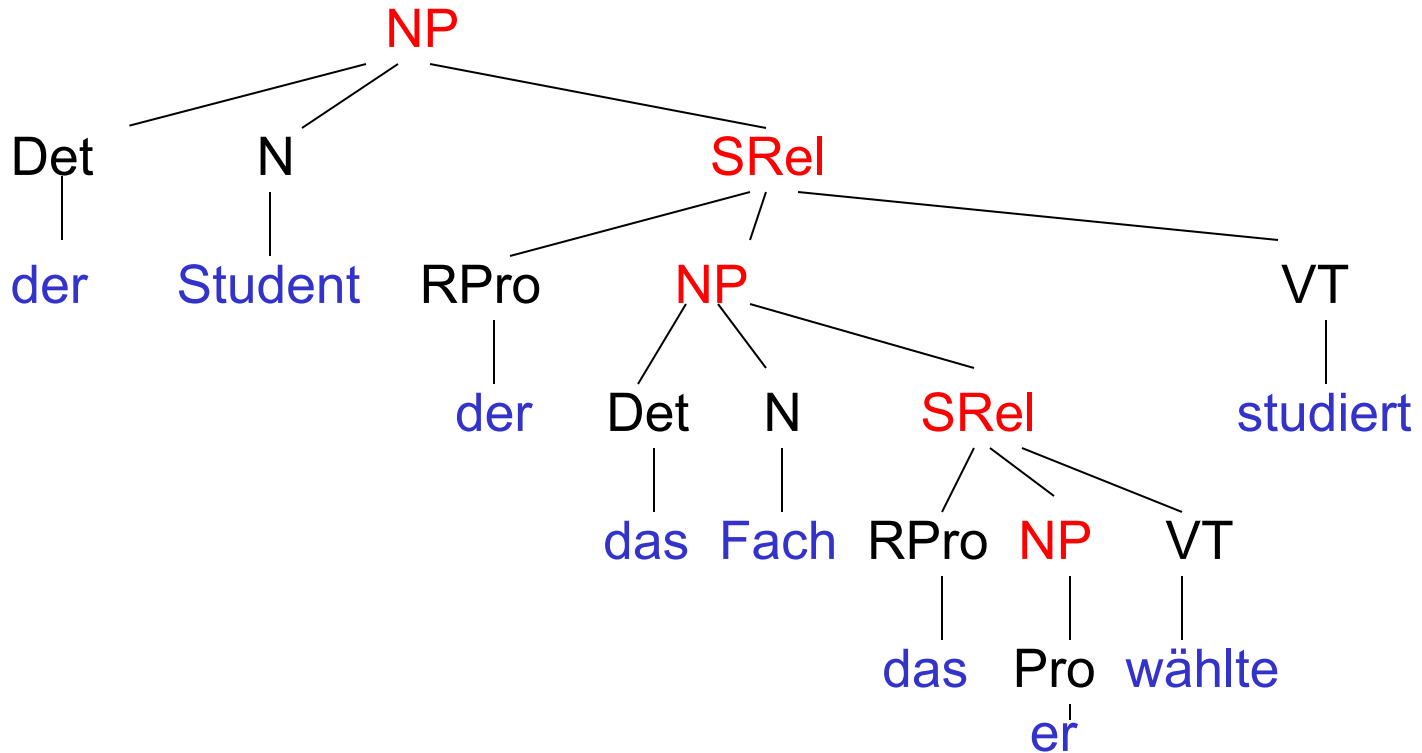
$\Sigma = \{schl\u00e4ft, arbeitet, studiert, w\u00e4hlte, Student, Fach, der, das, er, sie\}$

$P =$

$S \rightarrow NP VI$	$NP \rightarrow Det N$
$S \rightarrow NP VT NP$	$NP \rightarrow Det N SRel$
$SRel \rightarrow RPro NP VT$	$NP \rightarrow Pro$
$SRel \rightarrow RPro VI$	
$VI \rightarrow schl\u00e4ft$	$N \rightarrow Student$
$VI \rightarrow arbeitet$	$N \rightarrow Fach$
$VT \rightarrow studiert$	$RPro \rightarrow der$
$VT \rightarrow w\u00e4hlte$	$RPro \rightarrow das$
$Det \rightarrow der$	$Det \rightarrow das$
$Pro \rightarrow er$	$Pro \rightarrow sie$

Nested structures

[_{NP} der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, [_{SRel} der [_{NP} das Fach, [_{SRel} das [_{NP} er] nach langer Überlegung gewählt hat]], eifrig studiert]]



CFG: Konstituentenstruktur

- CFGs as a formal system don't only allow to distinguish correct from incorrect sentences, but they represent the syntactic structure of a sentence.
- **For the grammar writer, this means that he/she does not "invent" arbitrary rewrite rules, but that rules and categories need to be carefully chosen, such that they represent the syntactic structure in a suitable manner.**

Natural language is a difficult beast: dealing with ambiguity

- I made her duck

Ambiguity during Parsing

It's important to be able to tell for each syntactic analysis how likely that analysis is.

- Words can mean different things and belong to different part of speech categories
- Differences in word categories lead to different syntactic structures
- There are also other types of ambiguities that are not based on the lexicon; e.g., “Er sieht den Mann mit dem Fernrohr.”

In probabilistic parsing, we therefore want to determine the most likely analysis t of a sentence:

$$\operatorname{argmax}_t P(t \mid \text{Satz, Grammatik})$$

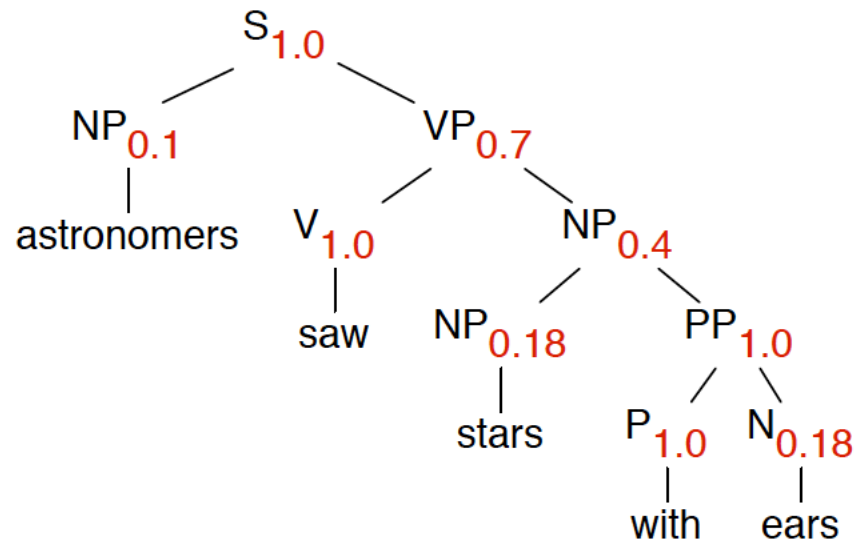
Probabilistic CFG

- A probabilistic context free grammar (PCFG) is a context free grammar where each rule has a probability.
- The probabilities of all rules that have the same symbol on the left side have to sum to 1.

S	→	NP VP	1.0	NP	→	astronomers	0.1
VP	→	V NP	0.7	NP	→	telescopes	0.1
VP	→	VP PP	0.3	NP	→	saw	0.04
NP	→	NP PP	0.4	NP	→	stars	0.18
PP	→	P NP	1.0	NP	→	ears	0.18
				P	→	with	1.0
				V	→	saw	1.0

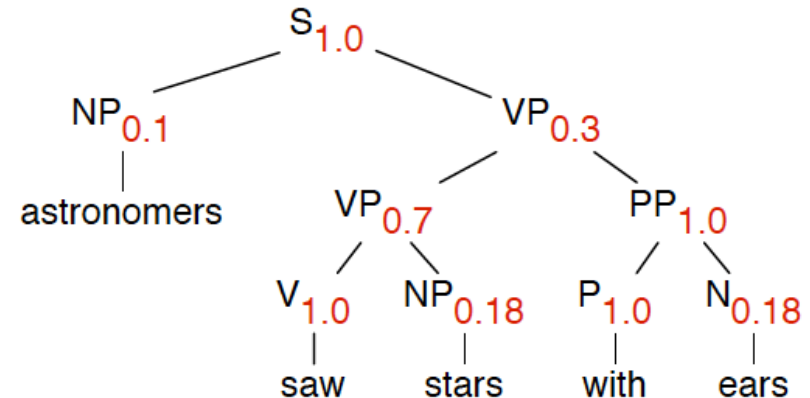
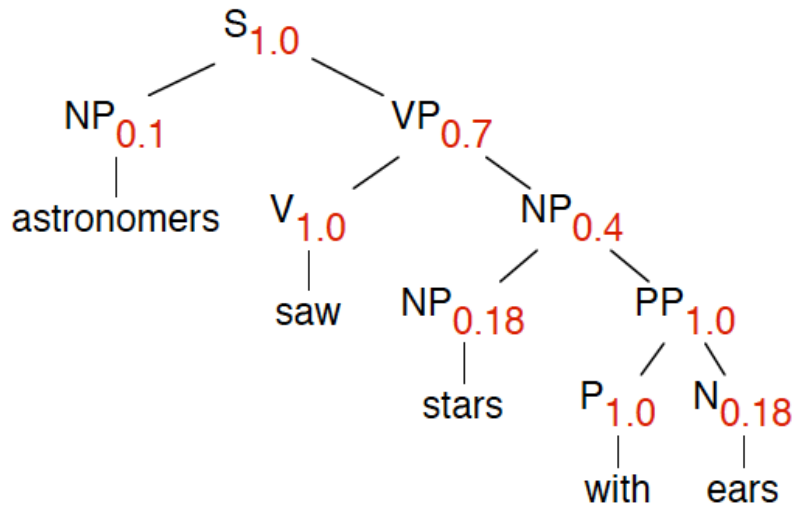
Probability of a Parse Tree

- The probability of a parse tree is the product of the probability of the rules that have been used to derive the tree.



$$\begin{aligned} P(t_1) &= 1.0 * 0.18 * 1.0 * 0.18 * 0.4 * 1.0 * 0.7 * 0.1 * 1.0 \\ &= 0.0009072 \end{aligned}$$

Probability of a Sentence



$$P(t1) = 1.0 * 0.18 * 1.0 * 0.18 * 0.4 * 1.0 * 0.7 * 0.1 * 1.0 = 0.0009072$$

$$P(t2) = 1.0 * 0.1 * 0.3 * 0.7 * 1.0 * 0.18 * 1.0 * 1.0 * 0.18 = 0.0000680$$

The probability of a sentence is the sum of the probabilities of all trees which can be derived for the sentence.

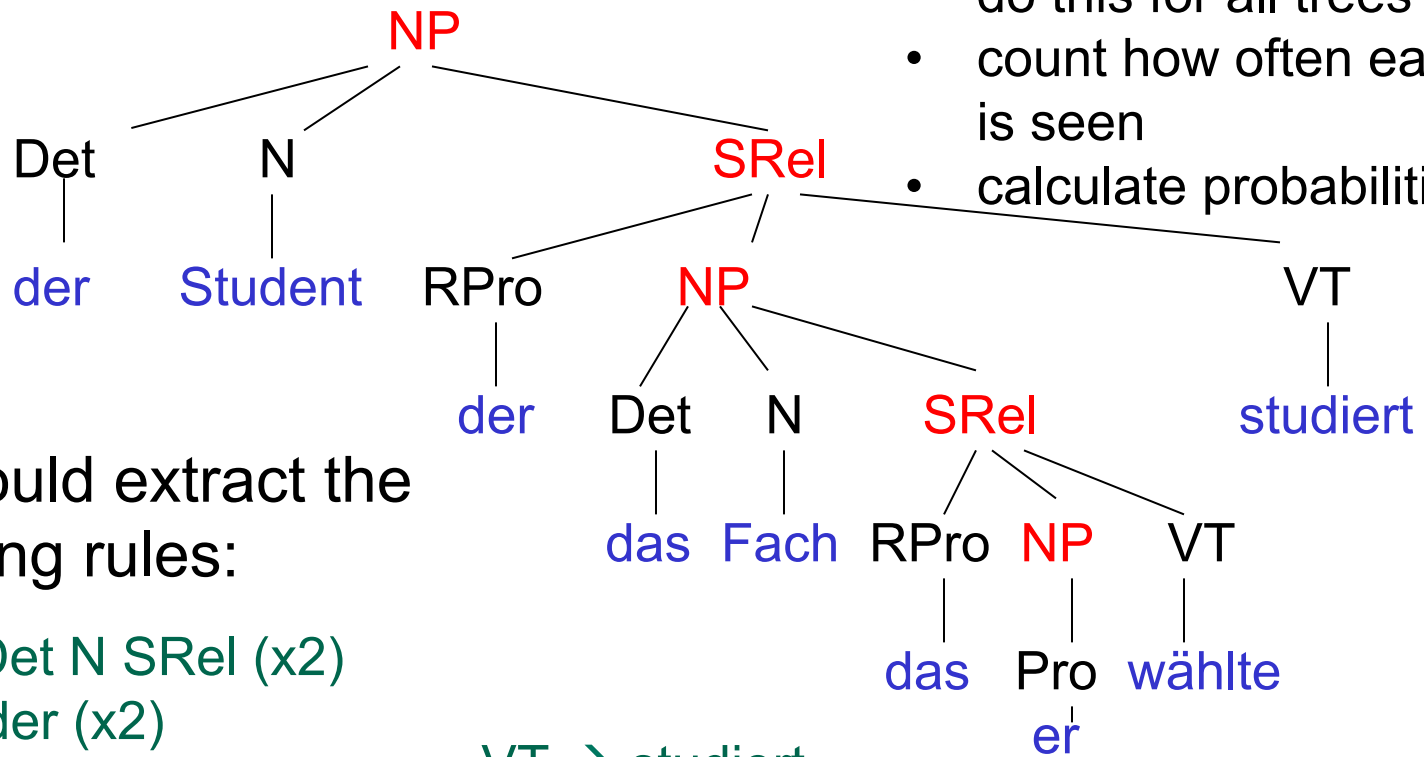
$$P(\text{Satz}) = P(t1) + P(t2) = 0,0015876$$

Parsing

- In order to parse efficiently, various algorithms have been developed that allow to calculate the best structure for a sentence efficiently based on rule probabilities.
- But where do the probabilities and the rules come from?
They are typically learned from annotated data (a “Tree Bank”)

Learning Rules

Imagine this was a sentence from the treebank:



- do this for all trees
- count how often each tree is seen
- calculate probabilities of trees

We would extract the following rules:

NP → Det N SRel (x2)

Det → der (x2)

N → Student

SRel → RPro NP VT (x2)

RPro → der

N → Fach

VT → studiert

RPro → das

Pro → er

VT → wählt

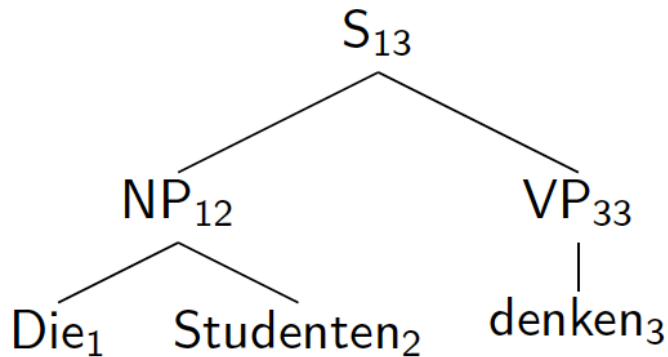
Learning Rules

We would extract the following rules:

NP → Det N SRel (x2)	VT → studiert
Det → der (x2)	RPro → das
N → Student	Pro → er
SRel → RPro NP VT (x2)	VT → wählte
RPro → der	
N → Fach	

- do this for all trees
- count how often each tree is seen
- calculate probabilities of trees by dividing #occurrences by #same left side:
- E.g.: N → Student 1/2

Why is the tree probability calculated as the product of the rule probabilities?



Notation

Subscripte $_{ab}$ an Knoten N bedeuten, dass N_{ab} Vorfahre der Worte mit Nummern a bis b ist.

$$\begin{aligned} &= P(S_{13} \rightarrow NP_{12} VP_{33}, NP_{12} \rightarrow Die_1 Studenten_2, VP_{33} \rightarrow denken_3) \\ &= P(S_{13} \rightarrow NP_{12} VP_{33}) \times P(NP_{12} \rightarrow Die_1 Studenten_2 | S_{13} \rightarrow NP_{12} VP_{33}) \\ &\quad \times P(VP_{33} \rightarrow denken_3 | S_{13} \rightarrow NP_{12} VP_{33}, NP_{12} \rightarrow Die_1 Studenten_2) \\ &= P(S_{13} \rightarrow NP_{12} VP_{33}) \times P(NP_{12} \rightarrow Die_1 Studenten_2) \times P(VP_{33} \rightarrow denken_3) \\ &= P(S \rightarrow NP VP) \times P(NP \rightarrow Die Studenten) \times P(VP \rightarrow denken) \end{aligned}$$

This derivation uses the chain rule and *independence assumptions*.

Independence Assumptions

Independence of **position**

(probability of a subtree is independent of where in the sentence it occurs)

- But this is not true in reality:

Regel	als Subj	als Obj
NP → NP PP	5.6%	14.1%
NP → PRP	13.7%	2.1%
NP → DT NN	5.6%	4.6%

Independence Assumptions

Independence of **context**

(probability of a subtree does not depend on leaves or nodes which are not part of that subtree)

- Again, not true in reality:
Whether a verb is followed by one or two NPs is not independent of the verb in a simple PCFG!
 - give the boy a present
 - see the boy
 - ?give the boy
 - *see the boy a present

Independence Assumptions

Independence of **ancestors**

(probability of a subtree is independent of the nodes further up in the tree)

- But in natural language, the probability of a constituent is not independent of the sentence structure above it

=> Independence assumptions (on position, context, ancestors) are too strong: they prevent us from estimating probabilities accurately.

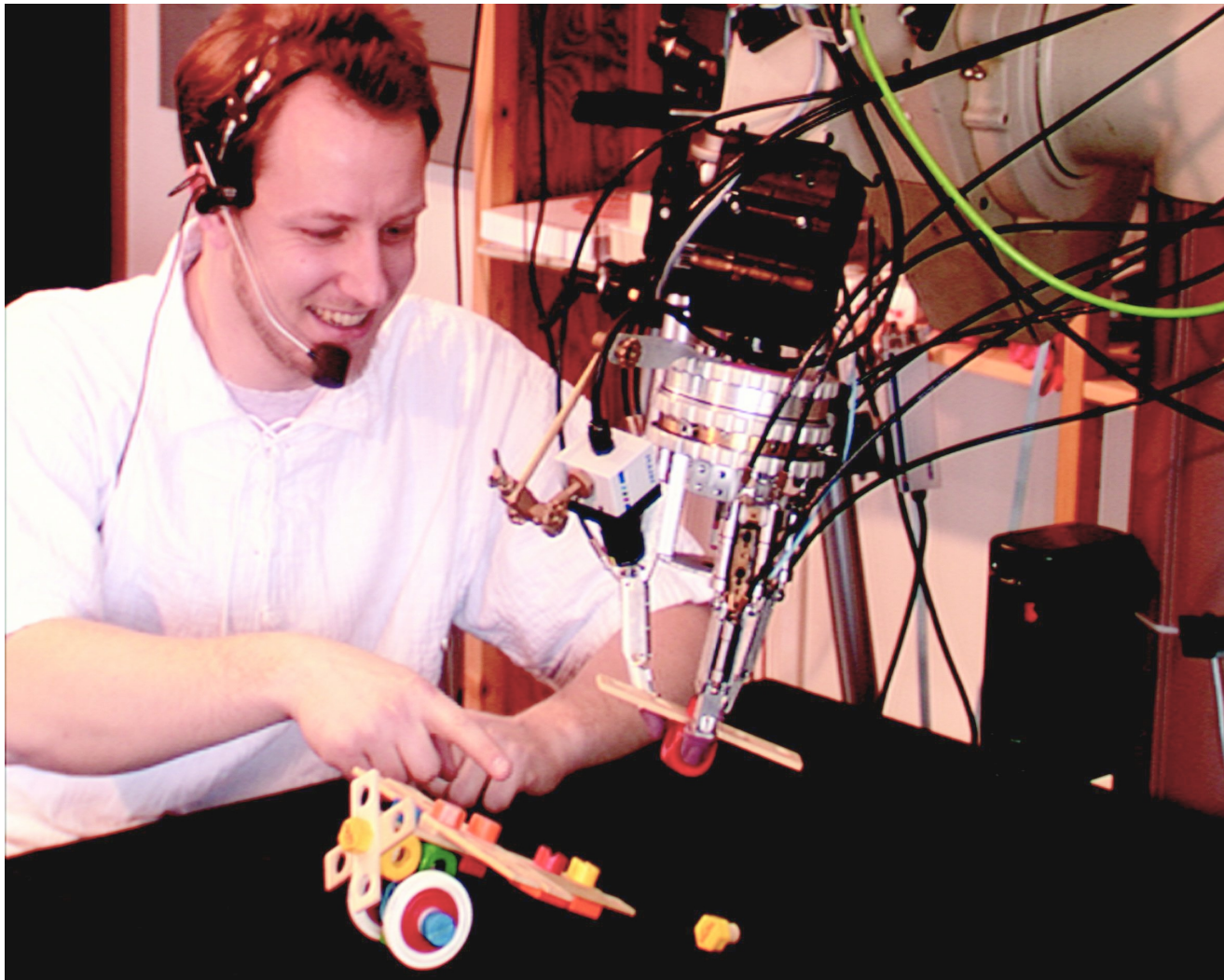
Features can relieve problems with independence assumptions

- Additional features can be re-introduced, e.g. dependence between verb and its arguments, on certain parts of context etc.
 - Example: “telescope” is a likely tool for “see”
- It is hard to know / decide optimally what dependencies to use in the features.
- Issue of *data sparsity*

PAUSE (10 min)

After the break, we'll take a closer look at word meaning

SEMANTICS



Requirements for representation of meaning

Verifiability: it must be possible to connect a statement with the state of the world so that we can test whether a sentence is true.

Example:

Das Flugzeug hat einen Propellor.

part-of (Propellor, Flugzeug)

Das Philocafe hat auch veganes Essen.

serves (Philo, VeganFood)

Requirements for representation of meaning

Uniqueness: Language is ambiguous, but we want a single representation of meaning for each sentence.

Example

Befestige den Propellor mit der Schraube.

Der Propellor der eine Schraub dran hat?

Benutze die Schraube um den Propellor zu befestigen?

Requirements for meaning representations

- **Canonical form:** all sentences with same meaning should have the same representation, so that they all lead to the same query to the data base.
- **Example for dialog domain:**

Gibt es beim Restaurant Almaz vegane Speisen?

Bietet Almaz auch veganes Essen an?

Kriegt man bei Almaz vegane Gerichte?

Kann man bei Almaz vegan essen?

Same meaning – many formulations (more examples)

Abrams gave Browne a book.

Abrams gave a book to Browne.

Browne was given a book by Abrams.

A book was given to Browne by Abrams.

Browne, Abrams gave the book to.

A book, Browne was given by Abrams. . . .

The question is difficult to answer precisely.

It is difficult to answer the question precisely.

To answer the question precisely is difficult.

the patient's arrival

the arrival of the patient

the office manager

the manager of the office

Meaning

Three requirements:

- Verifiability
- Uniqueness
- Canonical form

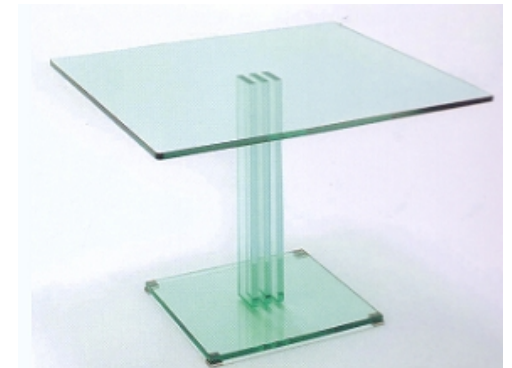
=> We will now take a look separately at **word meaning** and **sentence meaning**

Word meaning

Unfortunately, there is no 1-1 mapping between word and meaning.

- Why not, can you think of examples?

Word meaning



table



Relation between word and meaning

1. Example of the word “table”:
a concept must be assigned to different instances.
2. The vocabulary of natural languages is extremely ambiguous. A word is usually associated with several different concepts:
Lexical ambiguity
3. Furthermore, several words can express the same concept.
E.g., Auto = Wagen

Abreißkalender (m. 3) *Kalender mit abreißbaren Blättern*

abreiten (V. 196) I (V. t.; hat) 1 zu Pferde überprüfen (Gelände, Platz) 2 ein Pferd für eine Prüfung ~ vorbereitend reiten II (V. i.; ist) weiterreiten

Abri (m. 6) *steinzeitliche Wohnstelle unter Felsvorsprüngen u. in Höhlen* [frz., „Schutz, Unterschlupf“; zu lat. *apricare* „warm halten“]

abrichten (V. t.; hat) 1 Tiere ~ dressieren 2 ein Geschütz ~ in Schussrichtung bringen 3 Bretter, Holz ~ durch Glätten in eine exakte Form bringen 4 jmdn. zu etwas ~ unterweisen, wie er sich zu verhalten hat

Abrichter (m. 3; eindeutschend) = *Dresseur*

Abriechung (f. 10; unz.) *das Abrichten, Dressur, Zählung*

Abrieb (m. 1; unz.) 1 *Materialschwund durch Abbröckeln bei der Beförderung (z. B. von Koble) od. durch Abnutzung bei Reibung (z. B. von Gummireifen)* 2 *das abgebröckelte od. abgeriebene Material* [→ *reiben*]

abriebfest (Adj.) *widerstandsfähig gegen Abrieb*

abriegeln (V. t.; hat) 1 *zuriegeln* 2 *absperren* 3 *verbarrikadieren* • *Zugangswege ~ sperren; Truppen ~ von ihren Verbindungen trennen*

Abriegelung (f. 20) oV *Abriegelung* 1 *Absperrung* 2 *Verbarrikadierung*

Abriegelung (f. 20) = *Abriegelung*

abriffeln (V. t.; hat) *Samenkapseln ~ von den Leinstängeln trennen* [→ *Riffel*]

abriniden (V. t.; hat) *von der Rinde befreien* (Baum, Brot)

abrinigen (V. t. 199; hat) *jmdm. etwas ~ etwas von jmdm. gegen seinen anfängl. Widerstand erhalten* • *jmdm. ein Versprechen, eine Zusage ~; ich habe ihm sein Einverständnis abgerungen; ich habe mir diesen Brief abgerungen er ist mir sehr schwergefallen*

Abriß (m. 1) 1 *Abbruch, etwas Zerrissenes* 2 *Entwurf, Skizze* 3 *Schema, kurze Darstellung, wissenschaftliche Übersicht* 4 (schweiz.) (schamlose)

abrundern (V. 1.; ist/hat) 1 *losrundern* 2 *die Runder-saison durch eine letzte gemeinsame Fahrt ins Verein beschließen*

Abruf (m. 1; unz.) *das Abrufen* • *auf ~ sofort, wenn es gebraucht wird; (Kaufmannsspr.) nach u. nach (Anweisung zur Teillieferung einer gekauften Warenmenge); etwas auf ~ bereithaben; sich auf ~ bereithalten; eine Existenz auf ~ eine gefährdete Existenz*

abrufbar (Adj.) *so beschaffen, dass es abgerufen werden kann* • ~e Ware W., die jederzeit geliefert werden kann; ~es Wissen W., das jederzeit abgefragt werden kann; ~e Daten

abrufbereit (Adj.) *zum Abrufen bereit*

abrufen (V. t. 201; hat) 1 *wegrufen, wegbefehlen* 2 (Eisenb.) *zur Abfahrt ausrufen (Zug)* 3 *zur Teillieferung anweisen (Waren)* • *einen (hohen) Beamten ~ von seinem Posten entfernen; abgerufen werden (poet.) sterben*

abrühren (V. t.; hat) 1 *Brei, Speisen ~ umrühren* 2 *etwas mit Eiern usw. ~ Eier usw. beimischen, einrühren*

abruniden (V. t.; hat) 1 *rund machen* 2 *schräg kanten* 3 *vervollkommen, ergänzen, kompletieren* • *eine Darstellung ~ (fig.) (zusammenfassend) ergänzen; eine Zahl ~ die Endziffer(n) durch Null(en) ersetzen; den Geschmack durch Zugabe von Zitronensaft ~; das Bild, der Eindruck rundet sich ab vervollständigt sich, wird zu einem Ganzen*

Abrundung (f. 20; unz.) 1 *das Abrunden* 2 *abgerundete Form*

abrupfen (V. t.; hat) *abzupfen, abreißen*

abrupt (Adj.) 1 *abgebrochen, zusammenhanglos* 2 *plötzlich* • *die Stimmung schlug ~ um* [*lat. abruptus* „abgerissen“]

abrüsteten (V.; hat) I (V. i.) *Kriegsrüstung abschaffen, vermindern od. begrenzen; Sy demobilisieren* II (V. t.) *ein Gebäude ~ das Gerüst von ihm wegnehmen*

Abrüstung (f. 20; unz.) *das Abrüsten; Sy Demobilisierung, Demobilmachung*

absatteln (V. t.; hat) *ein Pferd ~ einem P. den Sattel abnehmen*

Absatz

absatzfähig (Adj.) *gut verkäuflich* • ~e Artikel, Waren

Absatzgebiet (n. 11) *Gebiet für den Verkauf einer Ware* • *einige neue ~e eröffnen, erschließen*

Absatzgestein (n. 11; Geol.) *durch Absatz entstandenes Gestein, Sediment*

Absatzquote (f. 19) *Warenmenge, die ein Unternehmen auf dem Markt unterbringen kann, im Verhältnis zur Produktionskapazität*

absatzweise (Adj.) 1 *durch Absätze unterbrochen* 2 *mit Unterbrechungen, in einzelnen Absätzen*

absaufen (V. i. 203; ist; umg.) 1 *untergeben, sinken* 2 *ertrinken*

absaugen (V. t. 204; hat) 1 *durch Saugen wegnehmen, entfernen* (Dampf, Flüssigkeit, Gas, Staub) 2 *durch Saugen säubern* (Teppich, Polster)

absäugen (V. t.; hat; veraltet) = *abstillen*

absausen (V. i.; ist; umg.) *sausend davonfahren, davonrennen*

abschaaben (V. t.; hat) 1 *durch Schaben entfernen, abkratzen* (Schmutz) 2 *durch Schaben säubern, glätten* (Häute); → *a. abgeschabt*

abschaffen (V. t.; hat) *aufheben, beseitigen* (Un-

Relation between word and meaning

Types of lexical ambiguity

- **Homonymy**: Ambiguity between concepts that are **not related**
 - *Absatz, versetzen, Bank* (→ *Finanzinstitut vs. Sitzgelegenheit*)
- **Polysemy**: Ambiguity between **semantically related** concepts
 - *leicht, Bank* (→ *Blutbank*)
- **Metonymy**: One aspect of a concept is used in order to refer to a different aspect or to the entity itself.
 - *Bank* (→ *Gebäude in dem das Geldinstitut untergebracht ist*)
 - *Der Latte Macchiato möchte zahlen.*
- **Homophony**: words that sound the same but are spelled differently
 - *Leere vs. Lehre*

Relation between word and meaning

Strictly speaking:

~~Relation between word and meaning~~

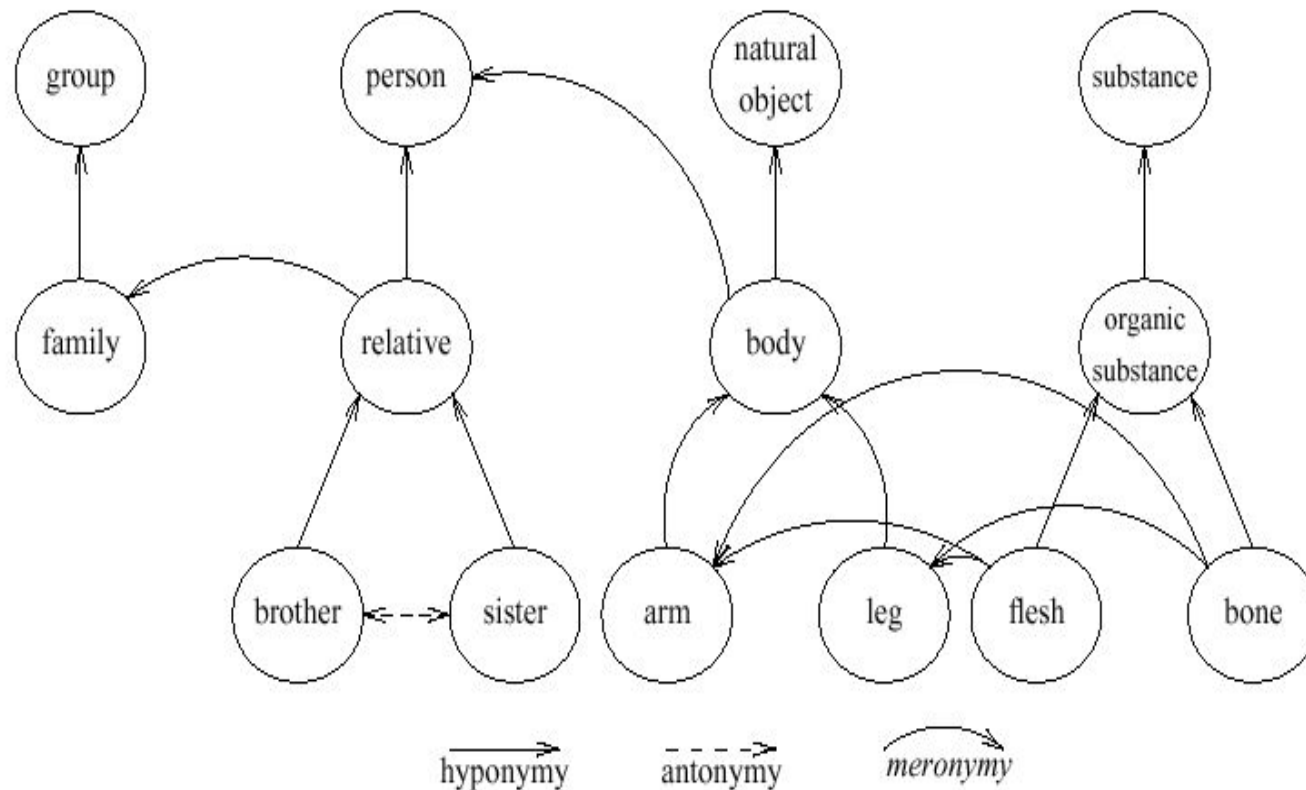
⇒ Relation between word sense and concept

How can we represent similarity between word (senses)?

- a) Large ontology
- b) High dimensional “meaning space”

Approach a: WordNet

Figure 2. Network representation of three semantic relations among an illustrative variety of lexical concepts



Meronym=
ist Teil von

WordNet-Data

- English WordNet has approximately the following size
 - 170.000 lexical entries (words)
 - 120.000 Synsets (concepts)
- WordNets have been developed for 45 languages (for German: "GermaNet")
- WordNet is used in many NLPapplications
- English WordNet
 - Web Interface: <http://wordnet.princeton.edu/>
 - General information: <http://wordnet.princeton.edu>

WordNet-Synsets

- **Absatz**

- {Absatz, Abschnitt, Paragraph}
- {Absatz, Treppenabsatz}
- {Absatz, Verkauf, Verkaufsziffern}
- ...
- <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn>

Approach b: Distributional similarity

Core idea:

- A word can be described through its co-occurrence with other words: words that are similar usually occur with the same or similar set of words
- The similarity between two words can then be measured in terms of the cosine between the vectors.

Example

	sun	stars	space	banana	apple	fish	computer	bike
moon	14	20	8	7	2	0	0	1
Jupiter	3	5	4	0	1	0	1	0
pear	5	0	0	10	22	0	0	0
eat	1	4	0	30	34	23	2	0

Similar idea: semantic similarity between words

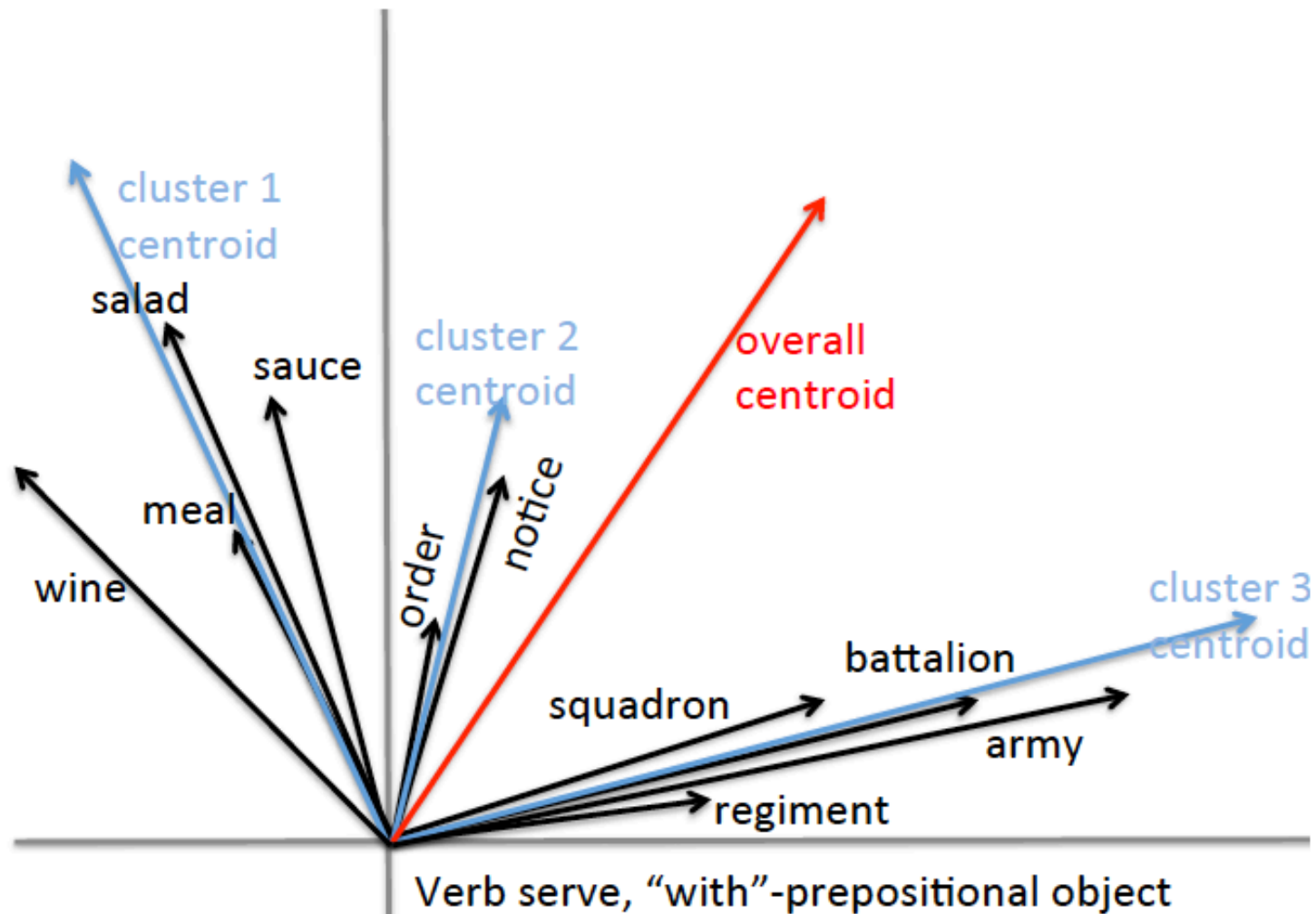
Example

	banana _{subj}	banana _{obj}	apple _{subj}	apple _{obj}	fish _{subj}	fish _{obj}
eat	0	30	0	34	10	13
sell	0	14	0	21	0	16

More sophisticated version:

Take into account role of word in sentence

Similar idea: semantic similarity between words



Today: use “embeddings” as semantic representations

- Distributional semantics has recently changed: instead of constructing vector spaces from counts, we now use “embeddings” learned as part of training deep neural networks
=> we’ll talk more about this on Thursday
- large sparse vectors vs. short dense vectors.

Sentence meaning: Abstract meaning representations

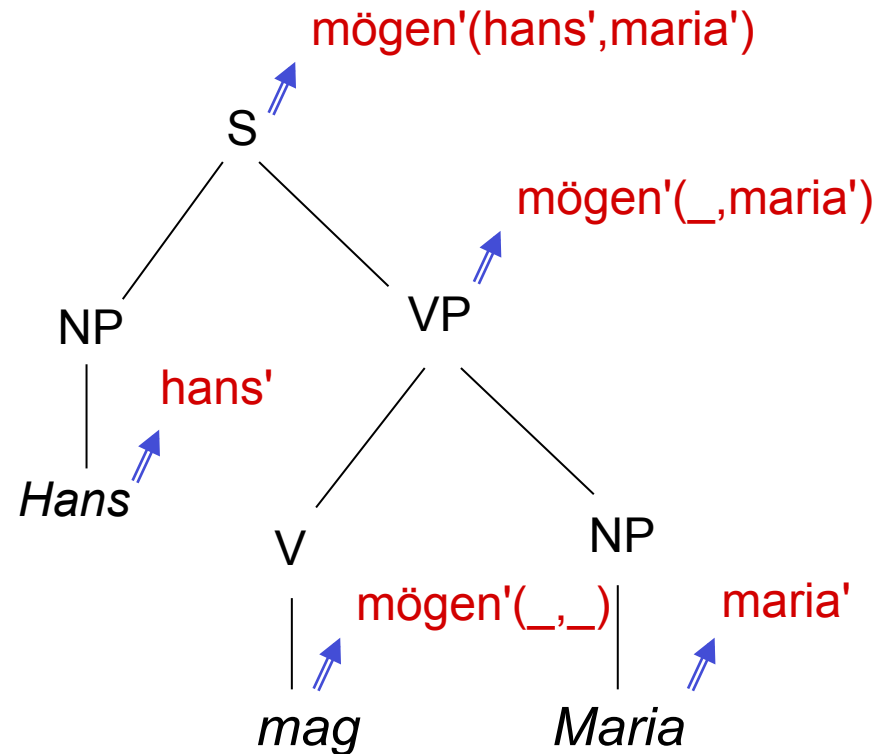
- Formulation variants such as actives vs. passives etc. should be mapped on same representation
→ need to know who does what to whom

Example:

Man bites dog / dog bites man / man was bitten by dog.

Semantic construction: simple case

Semantic construction:
We assemble along the constituent structure along complex semantic expressions "compositionally" from simpler expressions.



For each lexicon entry and every syntactic rule, we add a semantic component

Calculating semantics: not always trivial

Jede Teilnehmerin präsentierte ein Papier

$\forall t (\text{teilnehmerin}'(t) \rightarrow \exists p (\text{papier}'(p) \wedge \text{präsentieren}'(t,p)))$

Semantikkonstruktion: Eine Herausforderung

Jede Teilnehmerin präsentierte ein Papier

$\forall t (\text{teilnehmerin}'(t) \rightarrow \exists p (\text{papier}'(p) \wedge \text{präsentieren}'(t,p)))$

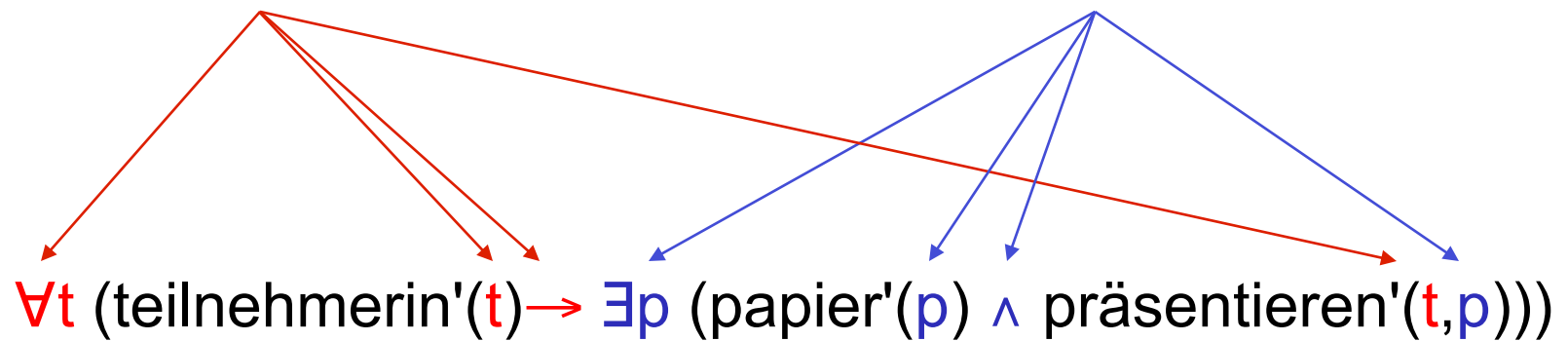
Semantikkonstruktion: Eine Herausforderung

Jede Teilnehmerin präsentierte ein Papier

$\forall t (\text{teilnehmerin}'(t) \rightarrow \exists p (\text{papier}'(p) \wedge \text{präsentieren}'(t,p)))$

Semantikkonstruktion: Eine Herausforderung

Jede Teilnehmerin präsentierte ein Papier



Representing syntactic ambiguity

Peter sieht den Mann mit dem Fernrohr

$\exists m \text{ mann}'(m) \wedge \text{sehen}'(\text{peter}', m) \wedge \exists f \text{ fernrohr}'(f) \wedge \text{tool}'(\text{sehen}', f)$

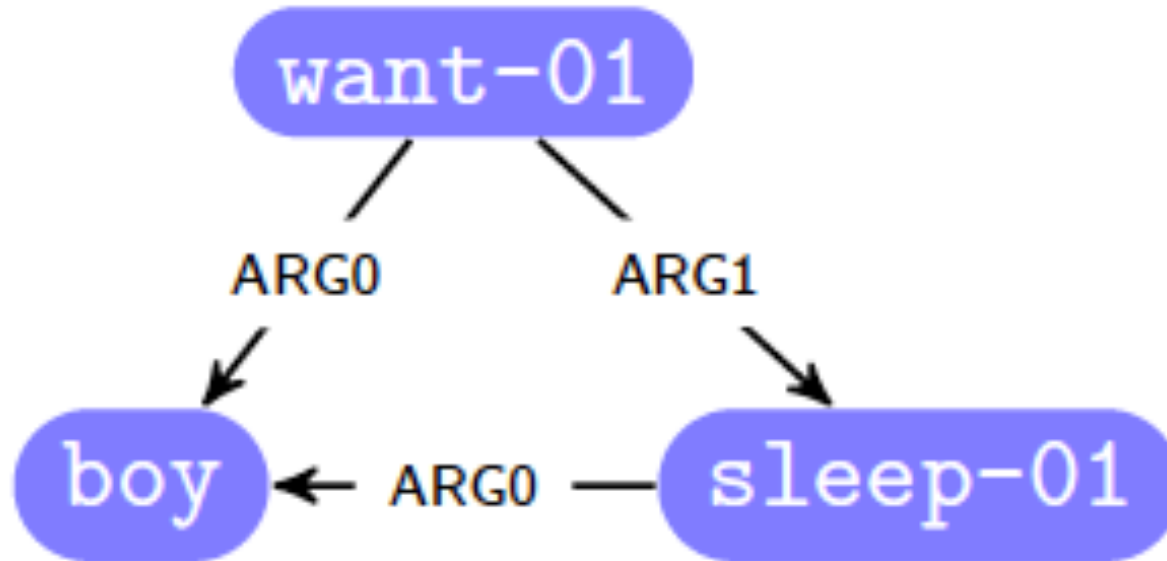
$\exists m \text{ mann}'(m) \wedge \text{sehen}'(\text{peter}', m) \wedge \exists f \text{ fernrohr}'(f) \wedge \text{haben}'(m, f)$

Jedes Kind klettert auf einen Baum

$\forall k (\text{kind}'(k) \rightarrow \exists b (\text{baum}'(b) \wedge \text{klettert-auf}'(k, b)))$

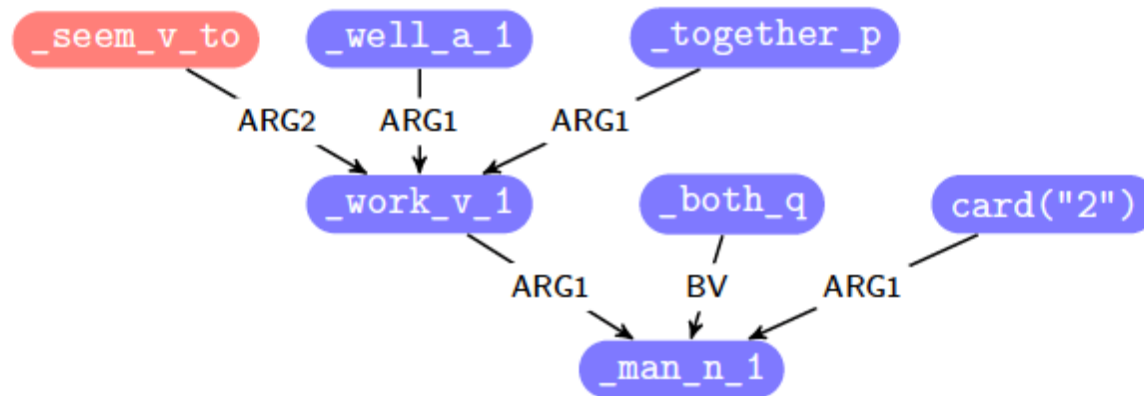
$\exists b \text{ baum}'(b) \wedge \forall k (\text{kind}'(k) \rightarrow \text{klettert-auf}'(k, b))$

A simple Abstract Meaning Representation



The boy wants to sleep.

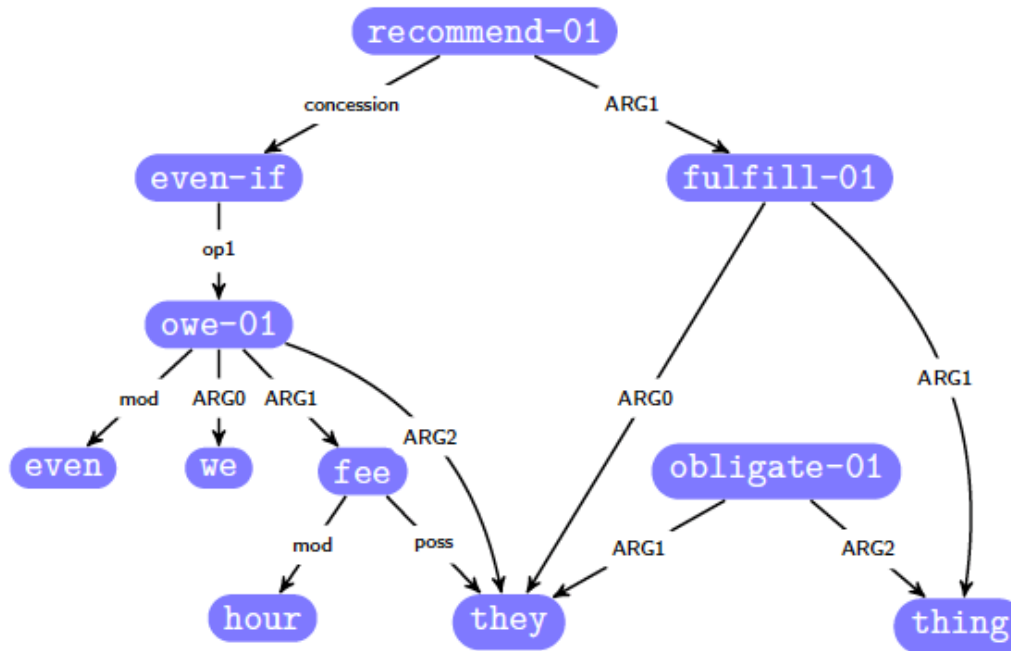
Sentence meaning: Abstract meaning representations (AMRs)



Both men seem to work well together. [WSJ #0109043]

- ▶ **Discord** between head–dependent and predicate–argument relations;
- ▶ syntactic **subject** of *seem* is a semantic argument of its **complement**;
- ▶ consider close paraphrase: *It seems that both men work well together.*
- ▶ expletive *it* subject is not referential, hence no semantic contribution;
- ▶ about two dozen **subject raising** verbs in broad-coverage English lexicon.

More complex AMRs



Even if we owed their hourly fees, they still should fulfill their obligations.
(AMR2015 #34, simplified)

- (a) implicit arguments
- (b) raising-style argument passing
- (c) lexical decomposition
- (d) coreference

Summary

Syntax

- Long dependencies of words and their forms, deep nesting
- NL syntax can be described by context free grammars (CFG)
- Ambiguity is a challenge – therefore need probabilistic CFGs to calculate most likely analyses

Semantics

- Complex relation between word and meaning:
word senses vs. concepts
- Calculating meaning compositionally from syntactic analysis is not trivial