Universität Bielefeld

5 Kommunizierende Agenten

13. Vorlesung: Sprache verstehen

Methoden der Künstlichen Intelligenz

Ipke Wachsmuth WS 2008/2009

Kernfragen der Vorlesung

1. **Wie lässt sich Wissen symbolisch repräsentieren?**

2. **Wie lassen sich Probleme durch (geschickte) Suche lösen?**

3. **Wie lassen sich maschinell Schlussfolgerungen aus Annahmen ziehen?**

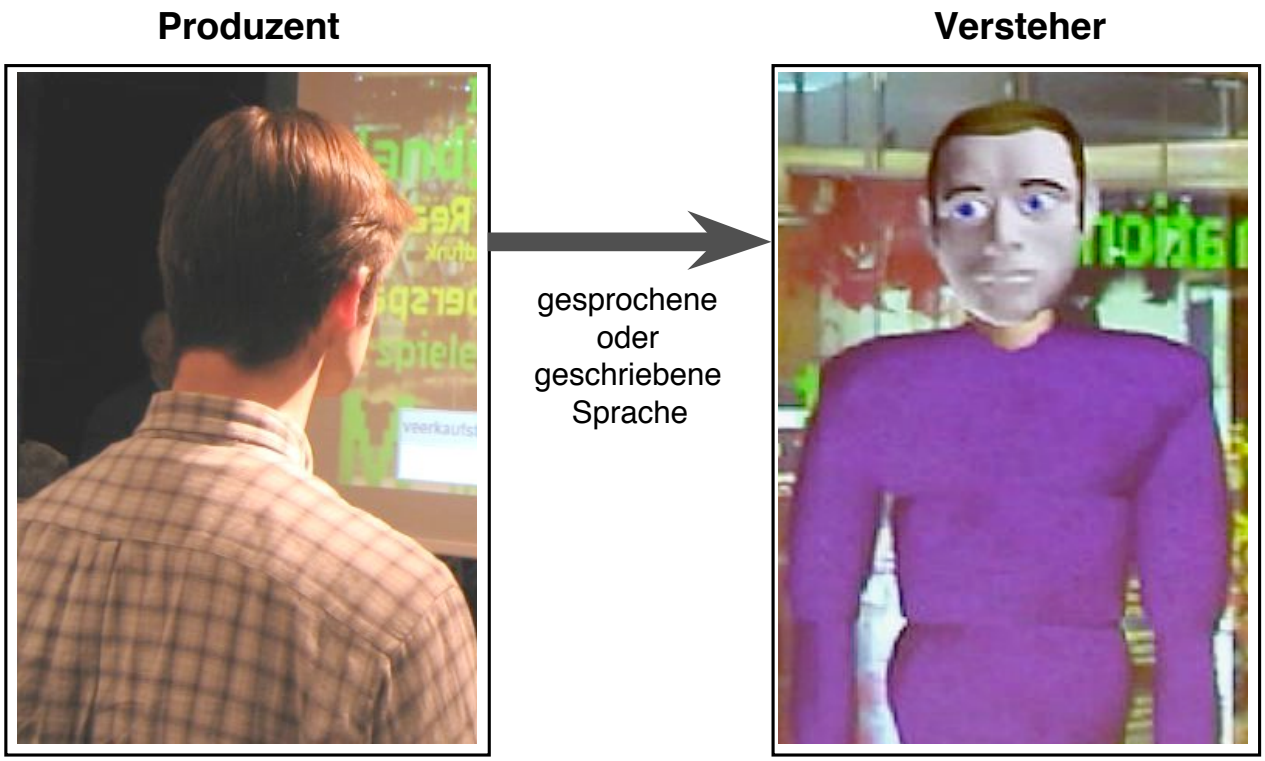
4. **Wie lassen sich auch bei unsicherem und unvollständigem Wissen Schlüsse ziehen?**

5. **Wie lassen sich Kommunikationsfähigkeiten für Maschinen realisieren?**

Sprache und Kommunikation

- Kommunikation: wechselseitige, weitgehend beabsichtigte Informationsübertragung zwischen (mindestens) zwei Partnern

- Wie lassen sich die von einem „Sender“ produzierten und kommunizierten Nachrichten bei einem Empfänger „verstehen“ – im Bedeutungsgehalt rekonstruieren?



Kommunikationsmodell der KI

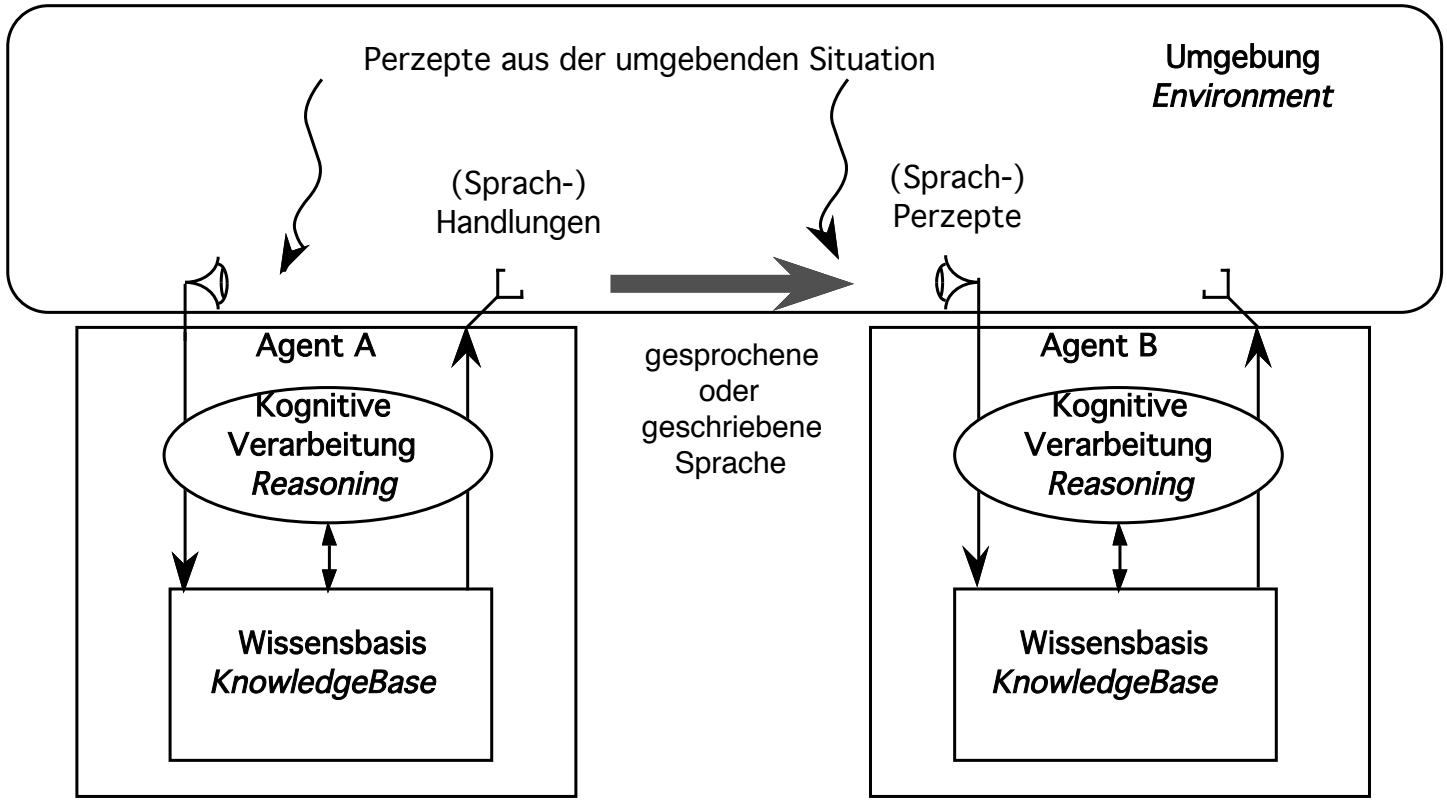
[nach T. Winograd, Language as a Cognitive Process,1983;
Bild angelehnt an Russell & Norvig, Fig. 22.3]

Kommunikation:

informationsverarbeitender Prozess, der in Sprecher und Hörer abläuft. Dabei wird Wissen eingesetzt:

- über die Sprache
- über die Welt
- über die Situation

Kommunikationspartner müssen (wenigstens z.Tl.) gemeinsames Wissen haben!



Sprecher/Produzent

Hörer/Versteher

Ebenen linguistischer Analyse

- akustisch-phonetisch: Welche Worte wurden kommuniziert?
  - Erkennung eines Schalleindrucks als Folge von Worten
  - Erkennung der Wortgrenzen (Segmentierung)
- morphologisch-syntaktisch: die Wortfolge als Satz erkennen
  - funktionale Struktur der Satzkonstituenten?
  - verschiedene Lesarten (Mehrdeutigkeiten) aufzulösen?
- semantisch-pragmatisch: Verstehen der Satzbedeutung
  - In welcher Sinnrelation stehen die Worte zueinander?
  - Was intendiert die Äußerung?

Linguistisches Glossar

- **Morphologie** (Wortbildungslehre): betrifft die Zusammensetzung von Wörtern aus Stämmen, Vor- und Nachsilben sowie anderen Wörtern
- **Syntax** (Lehre vom Satzbau): befasst sich mit den Regeln, nach denen sich Wörter zu Satzteilen und Satzteile zu Sätzen verbinden.
- **Semantik** (Bedeutungslehre): befasst sich mit der Bedeutung von Wörtern und Sätzen.
- **Pragmatik** (umstandsbezogene Bedeutungsinterpretation): Abhängigkeit der Bedeutungen von Kontext und Sprechsituation

- **Konstituente**/Satzteil: Durch die Grammatik definierter Teil eines Satzes oder Satzteils.
- **Konstituentenstruktur**: Struktur eines Satzes, die ausdrückt, wie Teile des Satzes sich zu größeren Einheiten verbinden.
- **Syntaxbaum**/Strukturbaum/Parse Tree: Darstellung der Konstituenten-struktur eines Satzes.
- **Lexikon** (Dictionary): eine Daten-basis, die Wörter einer Sprache mit der zugehörigen morphologischen, syntaktischen und semantischen Information enthält.

Syntax, Semantik, Pragmatik

Beispiel: „Was ist denn das Grüne hier in der Suppe?“

mögliche Antwort: „Wenn es dir hier nicht schmeckt, kannst du ja woanders essen gehen!“

- **Syntax**

  strukturelle Beschreibung des Satzbaus

  (Subjekt, Prädikat, Objekt; Schema der Fragebildung)

- **Semantik**

  formale Beschreibung des propositionalen Gehalts

  `((grün(x), Suppe(y), in(x,y)) , ?)`

- **Pragmatik**

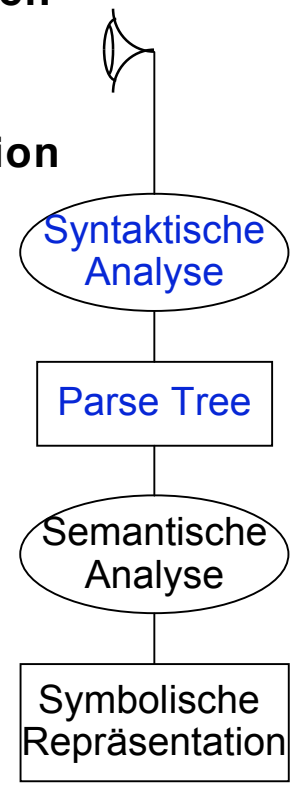
  Verwendung in der kommunikativen Situation,

  intendierte Funktion (Information, Lob, Kritik)

Sprachanalyse: engere Aufgaben

Fokus jetzt:

Übergang vom geschriebenen Satz zur internen Repräsentation



Syntaktische Analyse

Semantische Analyse

a) als Folge zweier getrennter Prozesse (hier)

b) als integrierte Aufgabe

Parsing (meist): syntaktische Analyse

- **Was ist die funktionale Struktur der Satzkonstituenten?**

Dazu braucht man

- **Syntax-Regeln: Grammatik**
- **ein Verfahren, diese Regeln anzuwenden: Parser**

Kompetenz: **Kenntnis der Regeln**

Performanz: **Fähigkeit, sie anzuwenden**

Parse-Trees (Strukturbäume)

- **setzen die Satzkonstituenten zueinander in Beziehung:**
  - **machen die syntaktische Struktur explizit**
  - **weisen die syntaktischen Kategorien aus**
- **sind geeignet, um aus Sätzen andere Sätze zu erzeugen:**
  - **aktive/passive Konstruktionen; Fragen etc.**
- **sind eine wichtige Zwischenstruktur beim Übergang vom eingebenen Satz zur internen Repräsentation**

(gehört zum Wissen über die Sprache)

Syntaktische Kategorien für Wörter (Sprachpartikel)	
`determiner`	ein, der, die, einige, jeder
`noun`	Frosch, Turm
`proper-noun`	Jack, Bielefeld
`verb`	aß, läuft

Grammatiken

Vgl.: Grammatik
$G = (\Phi, \Sigma, R, S)$
aus der Vorlesung
Theor. Informatik

formalisieren das Wissen über die Sprachstruktur mit Hilfe von *Ersetzungsregeln* (rewrite rules), mit denen sich Sätze der Sprache erzeugen lassen.

Nichtterminale Symbole/Konstituenten/Knoten

treten zur Beschreibung der internen Satzstruktur auf

(z.B. `np, vp, det, noun, verb,...`)

Terminale Symbole/Konstituenten/Knoten

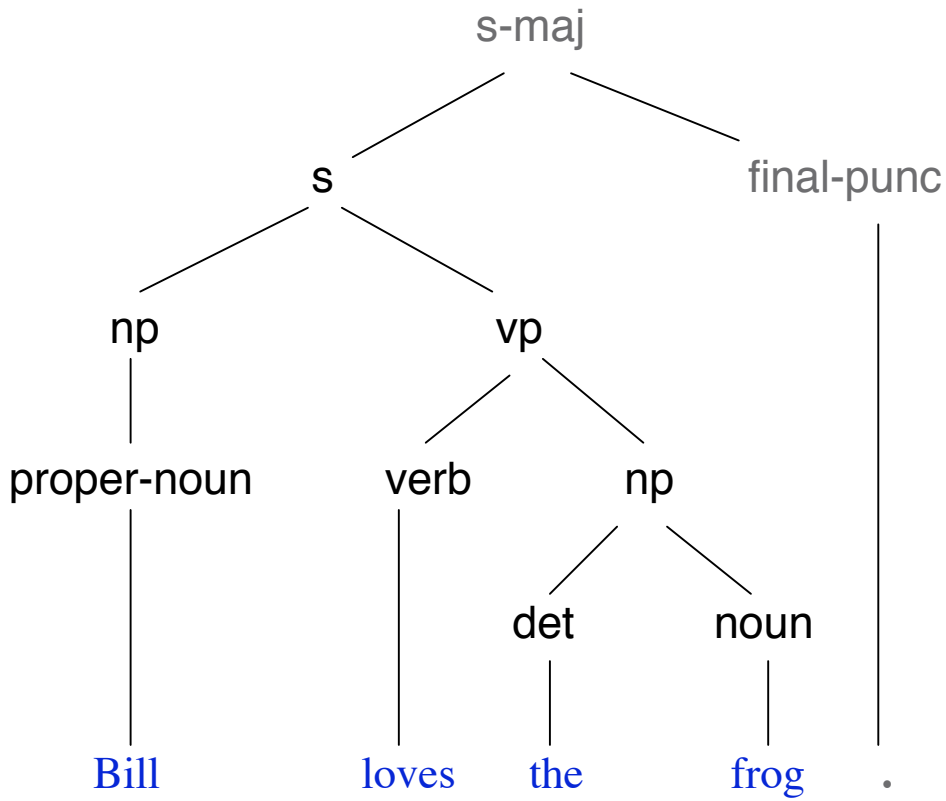
repräsentieren Elemente von Sätzen der betrachteten natürlichen Sprache

(z.B. the, frog, ate, ...)

Einfacher Fall: Kontextfreie Grammatik

Grammatik und ein Parse-Tree

s-maj –> s final-punc
s –> np vp
vp –> verb np
np –> det noun
np –> proper-noun
det –> the
noun –> boy
noun –> frog
verb –> ate
verb –> loves
proper-noun –> Jack
proper-noun –> Bill
...
final-punc –> .



np	noun-phrase	Nominalphrase
vp	verb-phrase	Verbalphrase
det	determiner	Artikel
noun		Nomen

Subjekt-Verb-Kongruenz

am Beispiel der Numerus-Kongruenz

The boys are hungry.

***The boys is hungry.**

3s

The fish is hungry.

The fish are hungry.

3p

Den grammatisch falschen zweiten Satz darf ein Parser nicht akzeptieren/generieren.

Deshalb muss die Übereinstimmung des Numerus von Nomen und Verb geprüft werden (number agreement).

Umgekehrt kann man bei angenommenen number agreement auf sonst nicht erkennbare syntaktische Merkmale schließen.

	Singular		**Plural**	
	Abkürzg.	Beispiel	Abkürzg.	Beispiel
erste Person	1s	I am hungry.	1p	We are hungry.
zweite Person	2s	You are hungry.	2p	You are hungry.
dritte Person	3s	She is hungry.	3p	They are hungry.

Lexikon-Einträge für den Parser

- Aufbau eines Lexikons z.B. mit einer Funktion „dictionary“
- Jeder Lexikon-Eintrag hat eine der folgenden Formen:

  (*word part-of-speech –feature-assignments–*)

  (*word root-form part-of-speech –feature-assignments–*)

  ↑ optional

Morphologisches Lexikon vs. Vollformenlexikon

lieben	**liebt**	**liebte**
geliebt	**ungeliebt**	

```
(dictionary
    (a det)
    (be auxverb (tense = tenseless))
    (is be auxverb (tense = present)
                        (v-number = 3s))
    (block noun)
    (block verb)
    (can modal
            (v-number =1s 2s 3s 1p 2p 3p))
    (do modal)
    (did do modal (tense = past)
            (v-number = 1s 2s 3s 1p 2p 3p))
    (fish noun (n-number = 3s 3p))
    (frog noun)
    (jack proper-noun)
    ...                                    )
```

Syntaktisches Parsing

hier nur am Beispiel kontextfreier Grammatiken

Problem: **Gegeben ein Satz als Folge von Wörtern.**
Finde den zugehörigen Syntaxbaum.

1. Grundmethode:

Bottom-up Parsing **--> Beispiel 1**

Idee: **Die Syntaxregeln werden "rückwärts" benutzt, bis sich der Satz auf das Startsymbol der Grammatik zurückführen lässt.**

2. Grundmethode:

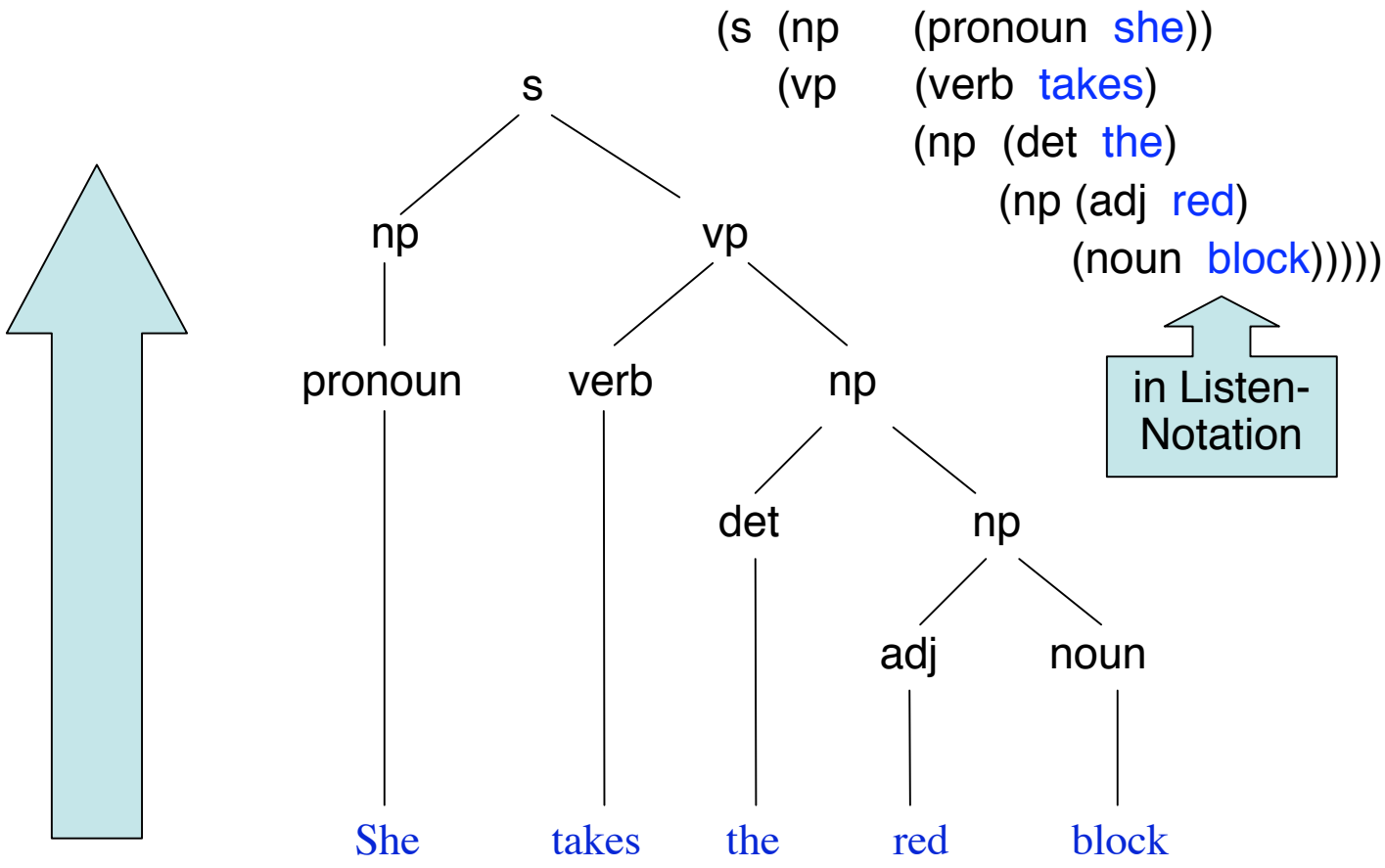
Top-down Parsing **--> Beispiel 2**

Idee: **Beginne mit dem Startsymbol der Grammatik und expandiere durch Ausdrücke, die nach den Grammatikregeln möglich sind.**

Beispiel 1: Bottom-up-Parsing

s –> np vp
vp –> verb np
np –> det noun
np –> det np
np –> proper-noun
np –> pronoun
np –> adj noun
det –> the
det –> a
adj –> red
noun –> boy
noun –> frog
verb –> ate
verb –> takes
proper-noun –> Max
pronoun –> he
pronoun –> she

Die Syntaxregeln werden "rückwärts" benutzt, bis sich der Satz auf das Startsymbol der Grammatik zurückführen lässt.



Schwierigkeit bei bottom-up

- **Die Ersetzungsregeln sind zu interpretieren als**
  "<linke Seite> kann ersetzt werden durch <rechte Seite>".
- **Wenn mehrere Regeln anwendbar sind, kann ein begonnener Syntaxbaum u.U. nicht konsistent weitergebaut werden.**

noun –> can

modal –> can

np

That can made him sick.

That can make him sick.

np

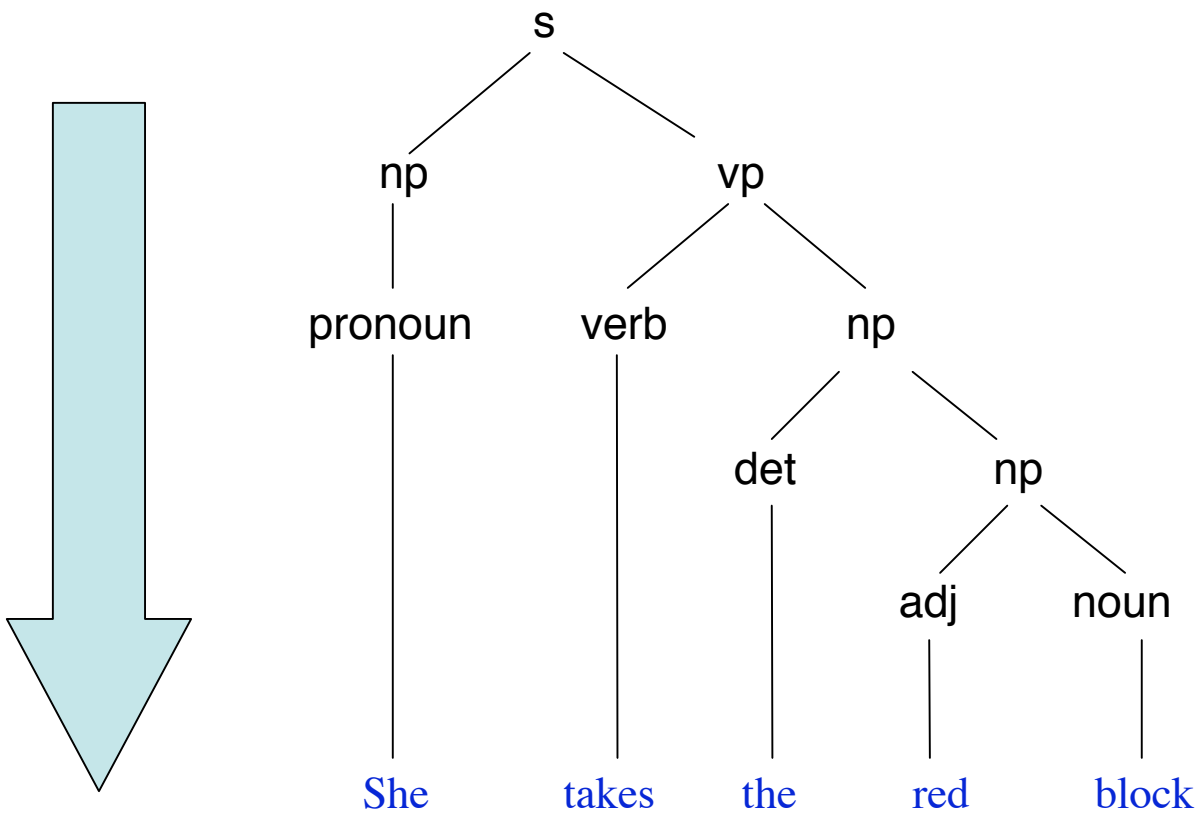
Einziger Weg:

- **Solange durchprobieren, bis eine Kombination von Regelanwendungen gefunden wird, die einen vollständigen Syntaxbaum liefert.**
- **Bei mehreren voneinander unabhängigen Ambiguitäten:**
  exponentiell viele Möglichkeiten!

Beispiel 2: Top-down-Parsing

s –> np vp
vp –> verb np
np –> det noun
np –> det np
np –> proper-noun
np –> pronoun
np –> adj noun
det –> the
det –> a
adj –> red
noun –> boy
noun –> frog
verb –> ate
verb –> takes
proper-noun –> Max
pronoun –> he
pronoun –> she

Beginne mit dem Startsymbol der Grammatik und expandiere durch Ausdrücke, die nach den Grammatikregeln möglich sind, bis der Satz dasteht.



Vergleich bottom-up/top-down

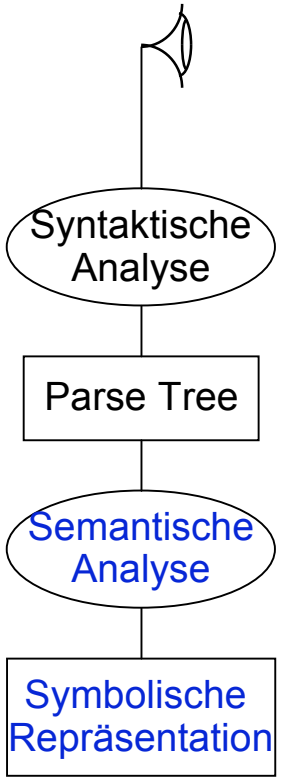
- **Für bestimmte Sätze ist "top-down" besser als "bottom-up", für andere schlechter – keine Methode ist grundsätzlich überlegen.**

Did you hit Bill?

Hilfsverb

- **Striktes top-down parsing beginnt mit `s –> np vp` und würde (hier ohne Ergebnis) erst alle Möglichkeiten suchen, `np` zu expandieren.**
- **In vielen Fällen werden top-down Parser vorgezogen (einfacher zu realisieren).**
- **Sehr bekannte top-down Parser sind die sogenannten ATN-Parser. (Augmented Transition Networks)**

Von Syntax zu Semantik



Bisher: Natürlichsprachlicher Satz –> Syntaxbaum

Jetzt: Syntaxbaum –> interne Repräsentation

semantische Analyse

> vereinfachte Betrachtung
> Hauptzweck: Motivation

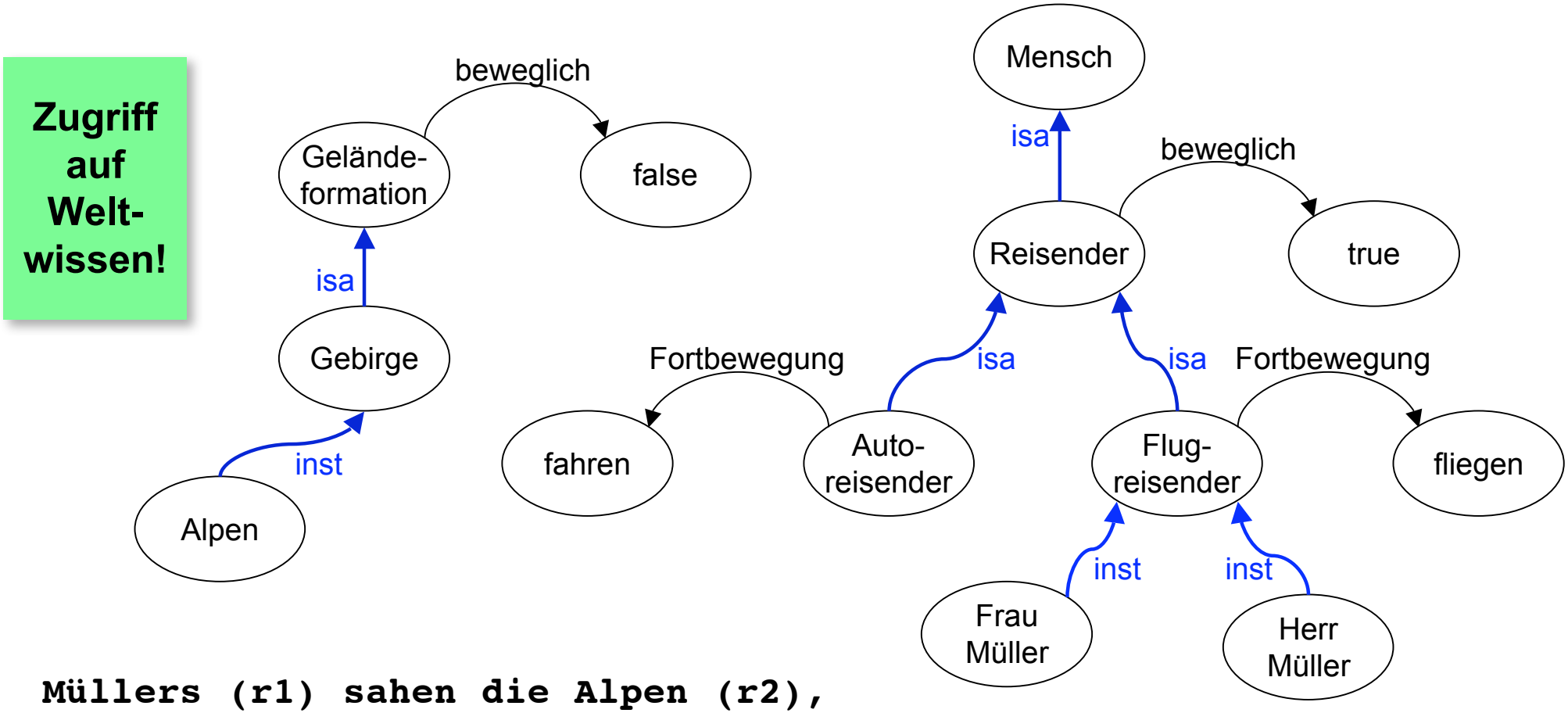
Zwei Teilaufgaben:

- **Disambiguierung von Wortsinn und Referenz**
- **Überführung in eine symbolische Repräsentation**

  (in der gewählten internen Repräsentationssprache)

Beispiel: Referenz disambiguiert

- **Müllers sahen die Alpen, während sie nach Italien flogen.**
  (Wer oder was fliegt hier?)



Müllers (r1) sahen die Alpen (r2), während sie (r1) nach Italien flogen.

Semantische Parser-Steuerung

- Der Suchraum eines Syntax-Parsers kann dadurch eingeschränkt werden, dass Semantikbetrachtungen zur Steuerung des Parsers herangezogen werden.
- entspricht der Verwendung einer Zustandsbewertungs-funktion für einen Suchalgorithmus **search**:
  - Schätzung der Distanz zum nächsten Zielzustand bzw. der *Kosten* für den nächsten Zielzustand
  - Kostenmaß wäre anzugeben für die *semantische Plausibilität* von Teil-„Parses“
  - Effekt: semantisch plausiblere Zerlegungen würden zuerst weiter exploriert werden.

Semantische Interpretation

Max takes the red block <– definite Beschreibung

Prinzip der kompositionellen Semantik. (Theorie über Verstehen der Bedeutung von Sprache)

1. Syntaktische Analyse

2. *Ableitung der Bedeutung des Ganzen aus der Bedeutung der Teile.*

Es gibt andere Formen der semantischen Interpretation.

Aufbau der Repräsentation für "the red block" erfordert:

- **Zuordnung von Bedeutungen zu den einzelnen Wörtern (zu finden in einem Konzept-Lexikon):**

red	-->	`(color ?x red)`
block	-->	`(inst ?x block)`
the	-->	`retrieve-val`

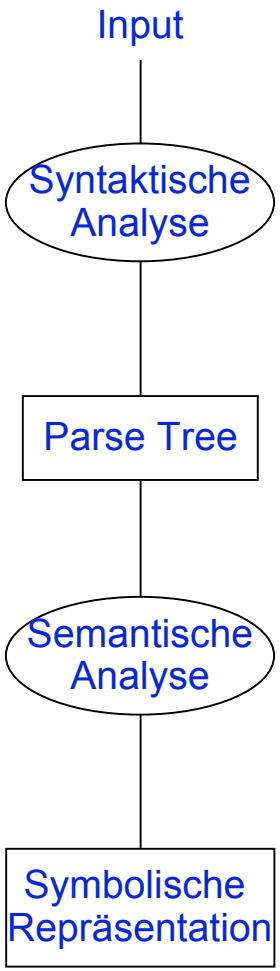
- **Kombination der einzelnen Wortbedeutungen, um Bedeutung der Wortgruppen zu erhalten:**

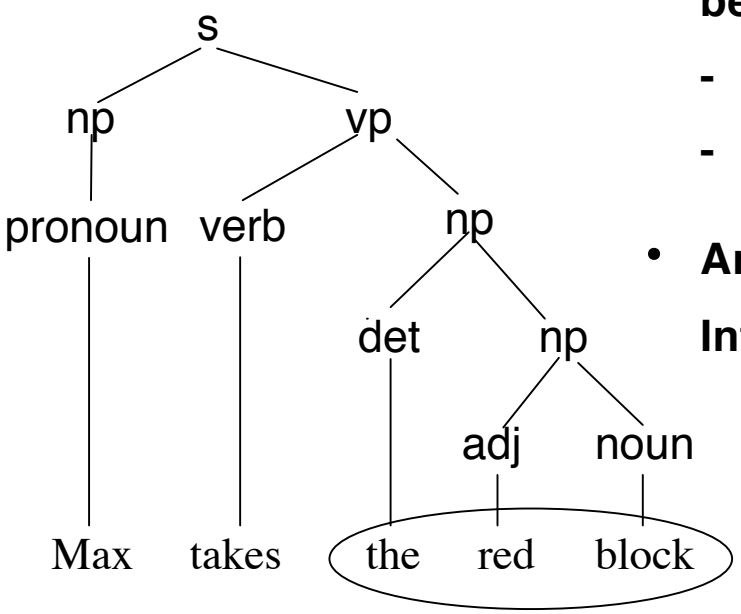
red block --> `(and(inst ?x block)(color ?x red))`

the red block -->
```
( retrieve-val '?x
'(and (inst ?x block)
 (color ?x red)))
```

- **Anbindung dieser Prozesse an den syntaktischen Parser**

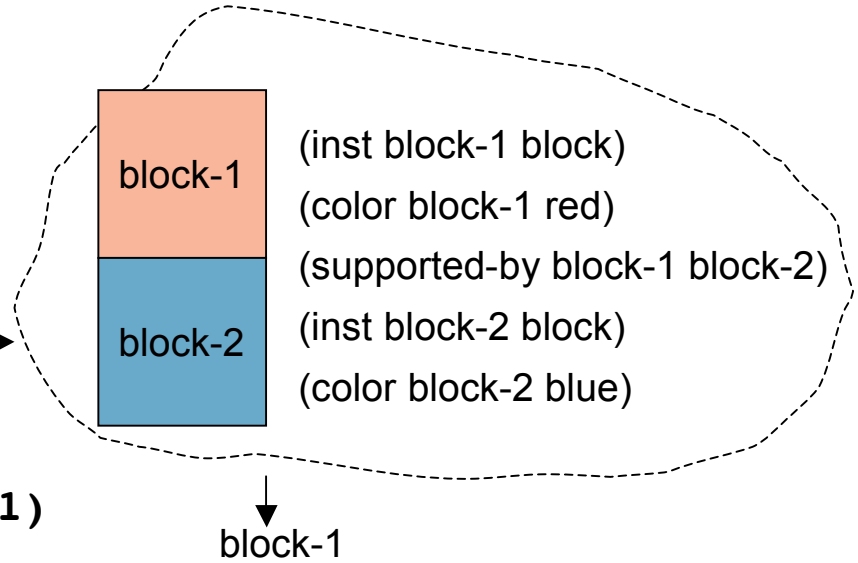
Vom Input zur Repräsentation





- **Parse Trees als wichtige Zwischenstruktur beim Übergang zur internen Repräsentation:**
  - **machen die syntaktische Struktur explizit**
  - **weisen die syntaktischen Kategorien aus**
- **Anbindung semantischer Analyse an Parser; Interpretation durch Bezug auf Weltmodell**

```
(retrieve-val '?x
'(and (inst ?x block)
 (color ?x red)))
```




```
assert: (take max-1 block-1)
```

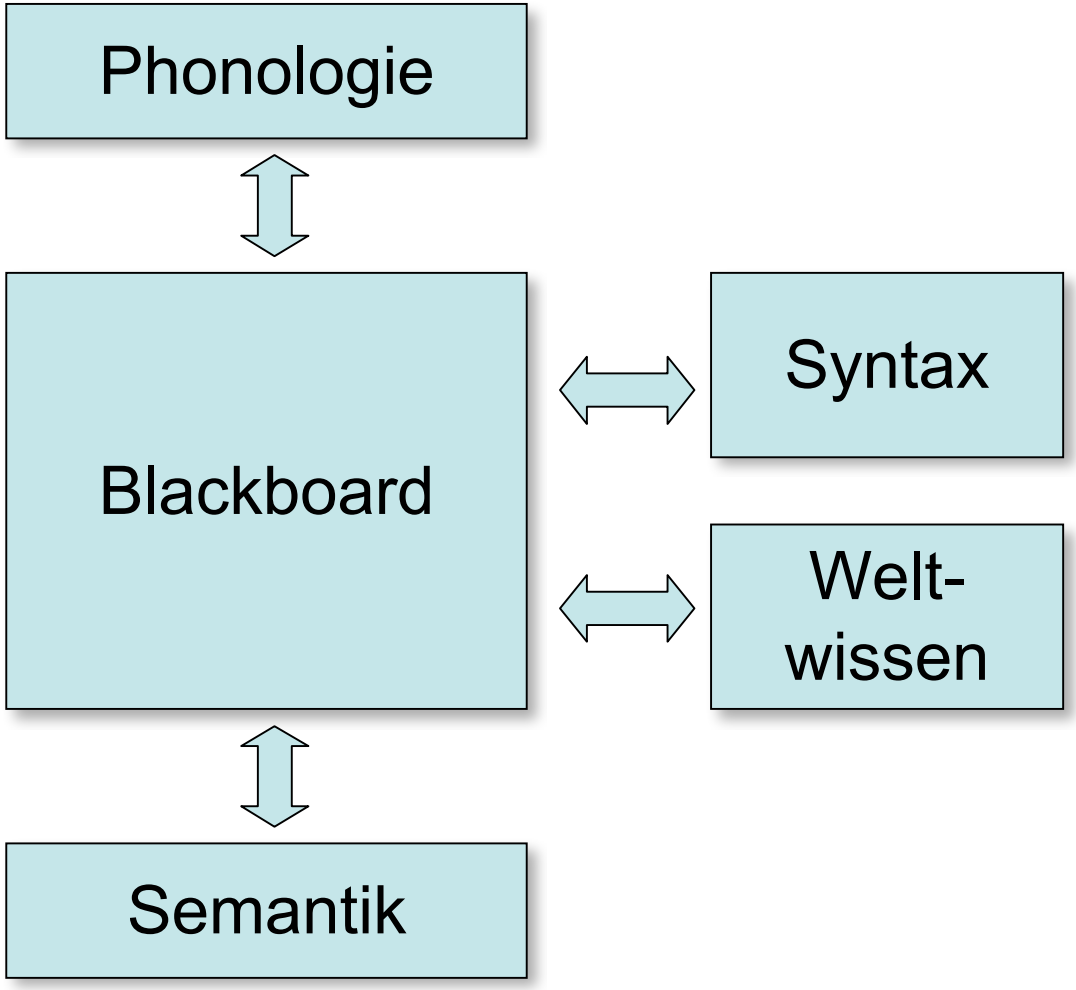
Alternativ: Blackboard-Modell

(HEARSAY II, 1980)

Syntax, Semantik (und alle weiteren Prozesse) arbeiten separat, aber parallel.

Input

Alles, was auf dem Blackboard steht, wird von den anderen Prozessen genutzt.



Situiertheit

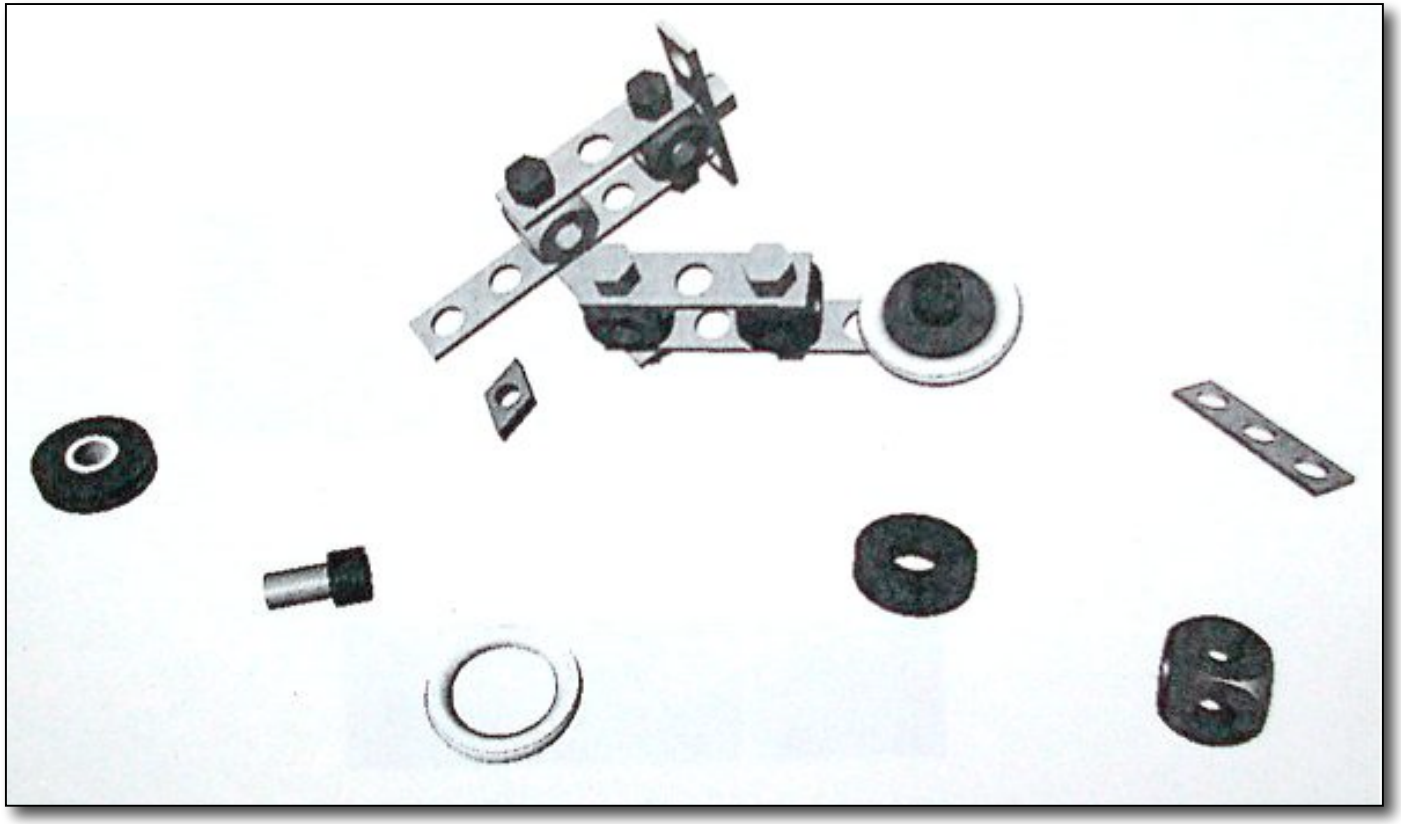
- menschliche Sprache kann, losgelöst vom jeweiligen Partner und Handlungszusammenhang, konkrete und abstrakte Inhalte vermitteln, jedoch:
  - gesprochene Sprache oft z.B. durch Gestik unterstützt: mehrmodale Kommunikation *("gib mir das da")*
  - auch im rein sprachlichen Bereich häufig "situiert" durch Bindung an die aktuelle Situation *("mir auch zwei")*

⇨ Wissen über die Situation erforderlich ...

Bsp.: Wissen über die Situation

- Interpretation von „linke“: erfordert Einblick der beiden Kommunikations-partner in die gemeinsame Umgebungs-situation

- Interpretation von „dort“: erfordert z.B. die zusätzliche Wahrnehmung einer Zeigegeste

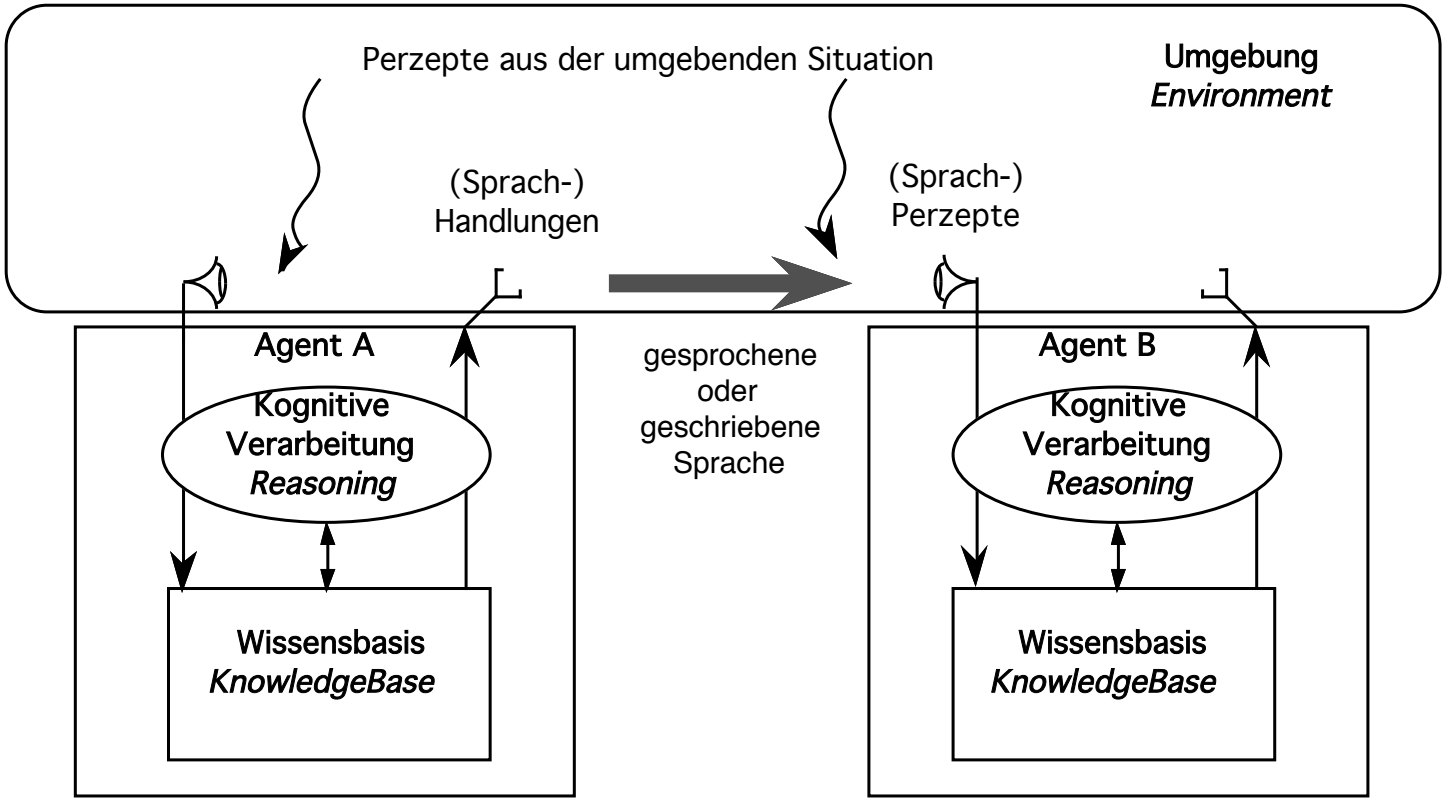


„nimm die linke Scheibe und schraube sie dort an“

„Situierte Kommunikation“

Situiertheit:

Fähigkeit, für das Handeln und bei der Kommunikation mit einem Partner die aktuelle Situation möglichst weitgehend als Informationsquelle auszunutzen.



- Kopplung der Agenten in die Situation während der kognitiven Verarbeitung
- Möglichkeit der Integration multimodaler Information (Sprache, Bild, Gestik)

Blick aufs Ganze: Dialogsysteme

- Strukturelle Analyse der natürlichen Sprache
  - Syntaxproblem
- Erfassen der Bedeutung unter Bezug auf ein Weltmodell
  - Semantikproblem
- Ableitung einer Antwort (in symbolischer Repräsentation)
  - Inferenzproblem
- Generierung einer Antwort in natürlicher Sprache
  - Generierungsproblem

zu Sprachanalyse:

- Charniak & McDermott, Kap.4, in Auszügen

alternativ:

- Russell & Norvig, Kap.22, in Auszügen