

# Formale Semantik

## o6. Quantifikation und Modelltheorie

Roland Schäfer

Institut für Germanistische Sprachwissenschaft  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Folien in Überarbeitung. Englische Teile (ab Woche 8) sind noch von 2007!  
Stets aktuelle Fassungen: <https://github.com/rsling/VL-Semantik>

1 Von Prädikatenlogik zu natürlicher Sprache

2 Modelltheorie

3 Quantifikation in natürlicher Sprache

4 Aufgaben

# Kernfragen in dieser Woche

Wie modelliert man natürliche Sprache als Prädikatenlogik?

Wie modelliert man natürliche Sprache als Prädikatenlogik?  
Wozu braucht man Quantorenbewegung (LF) in GB-Ansätzen?

Wie modelliert man natürliche Sprache als Prädikatenlogik?

Wozu braucht man Quantorenbewegung (LF) in GB-Ansätzen?

Wie sieht eine ausbuchstabierte Modelltheorie aus?

Und wie werden Quantoren und Variablen modelltheoretisch interpretiert?

Wie modelliert man natürliche Sprache als Prädikatenlogik?  
Wozu braucht man Quantorenbewegung (LF) in GB-Ansätzen?  
Wie sieht eine ausbuchstabierte Modelltheorie aus?  
Und wie werden Quantoren und Variablen modelltheoretisch interpretiert?

Text für heute: Chierchia & McConnell-Ginet (2000: Kapitel 3)

## Von Prädikatenlogik zu natürlicher Sprache





## Semantik von Fragment F1

## Semantik von Fragment F1

- Namen referieren auf spezifische Individuen

## Semantik von Fragment F1

- Namen referieren auf spezifische Individuen
- intransitive Verben referieren auf Mengen von Individuen

## Semantik von Fragment F1

- Namen referieren auf spezifische Individuen
- intransitive Verben referieren auf Mengen von Individuen
- mehrstellige Verben referieren auf Mengen von Tupeln von Individuen

## Semantik von Fragment F1

- Namen referieren auf spezifische Individuen
- intransitive Verben referieren auf Mengen von Individuen
- mehrstellige Verben referieren auf Mengen von Tupeln von Individuen
- Sätze referieren auf Wahrheitswerte!

## Semantik von Fragment F1

- Namen referieren auf spezifische Individuen
- intransitive Verben referieren auf Mengen von Individuen
- mehrstellige Verben referieren auf Mengen von Tupeln von Individuen
- Sätze referieren auf Wahrheitswerte!
- F2 | Integration von Erkenntnissen aus Prädikatenlogik

# Das Problem mit Pronomina



Wie situationsabhängige Namen

Wie situationsabhängige Namen

*This is red.*

Wie situationsabhängige Namen

*This is red.*

- Pronomen *this* | syntaktisch eine NP

## Wie situationsabhängige Namen

*This is red.*

- Pronomen *this* | syntaktisch eine NP
- ... und referiert auf ein spezifisches Objekt (wie Namen)  
keine Quantifikation bzw. Mengenreferenz

## Wie situationsabhängige Namen

*This is red.*

- Pronomen *this* | syntaktisch eine NP
- ... und referiert auf ein spezifisches Objekt (wie Namen)  
keine Quantifikation bzw. Mengenreferenz
- Aber **nur in gegebener Situation interpretierbar**  
Deixis, im Text auch Anaphorik

## Wie situationsabhängige Namen

*This is red.*

- Pronomen *this* | syntaktisch eine NP
- ... und referiert auf ein spezifisches Objekt (wie Namen)  
keine Quantifikation bzw. Mengenreferenz
- Aber **nur in gegebener Situation interpretierbar**  
Deixis, im Text auch Anaphorik
- Kein Äquivalent in klassischer Logik



## Ähnlichkeit von Variablen und Pronominalausdrücken



## Ähnlichkeit von Variablen und Pronominalausdrücken

- Rumpf einer quantifizierten Wff | Wff  $P(x)$  aus Wff  $(\forall x)Px$

## Ähnlichkeit von Variablen und Pronominalausdrücken

- Rumpf einer quantifizierten Wff | Wff  $P(x)$  aus Wff  $(\forall x)Px$
- Ungebundenes  $x$  in  $P(x)$  ähnlich wie Pronominalbedeutung  
Externe Interpretationsvorschrift erforderlich

## Ähnlichkeit von Variablen und Pronominalausdrücken

- Rumpf einer quantifizierten Wff | Wff  $P(x)$  aus Wff  $(\forall x)Px$
- Ungebundenes  $x$  in  $P(x)$  ähnlich wie Pronominalbedeutung  
Externe Interpretationsvorschrift erforderlich
- Quantoren | Auswertungsalgorithmus  
Für alle möglichen belegungen von  $x$ ,  $P(x)$

## Ähnlichkeit von Variablen und Pronominalausdrücken

- Rumpf einer quantifizierten Wff | Wff  $P(x)$  aus Wff  $(\forall x)Px$
- Ungebundenes  $x$  in  $P(x)$  ähnlich wie Pronominalbedeutung  
Externe Interpretationsvorschrift erforderlich
- Quantoren | Auswertungsalgorithmus  
Für alle möglichen belegungen von  $x$ ,  $P(x)$
- Pronomina | Kontextuelle Auswertung  
Belegung für  $x$  im gegebenen Kontext



## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var} \mid \text{Individuenausdrücke}$

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var} \mid$  Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow \mid$  Funktoren



## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var} \mid$  Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow \mid$  Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg \mid$  Negation

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var} \mid$  Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow \mid$  Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg \mid$  Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall \mid$  nur zwei Quantoren

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var} \mid$  Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow \mid$  Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg \mid$  Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall \mid$  nur zwei Quantoren

$\text{pred}^1 \rightarrow P, Q \mid$  einstellige Prädikate

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var}$  | Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$  | Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg$  | Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall$  | nur zwei Quantoren

$\text{pred}^1 \rightarrow P, Q$  | einstellige Prädikate

$\text{pred}^2 \rightarrow R$  | zweistellige Prädikate

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var} \mid$  Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow \mid$  Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg \mid$  Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall \mid$  nur zwei Quantoren

$\text{pred}^1 \rightarrow P, Q \mid$  einstellige Prädikate

$\text{pred}^2 \rightarrow R \mid$  zweistellige Prädikate

$\text{pred}^3 \rightarrow S \mid$  dreistellige Prädikate

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var}$  | Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$  | Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg$  | Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall$  | nur zwei Quantoren

$\text{pred}^1 \rightarrow P, Q$  | einstellige Prädikate

$\text{pred}^2 \rightarrow R$  | zweistellige Prädikate

$\text{pred}^3 \rightarrow S$  | dreistellige Prädikate

$\text{const} \rightarrow b, c$  | nur zwei Individuenkonstanten

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var}$  | Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$  | Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg$  | Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall$  | nur zwei Quantoren

$\text{pred}^1 \rightarrow P, Q$  | einstellige Prädikate

$\text{pred}^2 \rightarrow R$  | zweistellige Prädikate

$\text{pred}^3 \rightarrow S$  | dreistellige Prädikate

$\text{const} \rightarrow b, c$  | nur zwei Individuenkonstanten

$\text{var} \rightarrow x_1, x_2, \dots, x_n$  | beliebig viele Variablen

## Als Vorüberlegung | Prädikatenlogik als Phrasenstrukturgrammatik

$a \rightarrow \text{const}, \text{var}$  | Individuenausdrücke

$\text{conn} \rightarrow \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$  | Funktoren

$\text{neg} \rightarrow \neg$  | Negation

$Q \rightarrow \exists, \forall$  | nur zwei Quantoren

$\text{pred}^1 \rightarrow P, Q$  | einstellige Prädikate

$\text{pred}^2 \rightarrow R$  | zweistellige Prädikate

$\text{pred}^3 \rightarrow S$  | dreistellige Prädikate

$\text{const} \rightarrow b, c$  | nur zwei Individuenkonstanten

$\text{var} \rightarrow x_1, x_2, \dots, x_n$  | beliebig viele Variablen

- Die Formalisierung ist äquivalent zur mengenbasierten von letzter Woche!





Wir nehmen eine Prädikatsnotation ohne Klammern |  $Px$  statt  $P(x)$  usw.

Wir nehmen eine Prädikatsnotation ohne Klammern |  $Px$  statt  $P(x)$  usw.

- $wff \rightarrow pred^1 a_1 \dots a_n$  |  $n$ -stellige Prädikate und ihre Argumente

Wir nehmen eine Prädikatsnotation ohne Klammern |  $Px$  statt  $P(x)$  usw.

- $wff \rightarrow pred^1 a_1 \dots a_n$  |  $n$ -stellige Prädikate und ihre Argumente
- $wff \rightarrow neg\ wff$  | Applikation von Negation auf Wffs

Wir nehmen eine Prädikatsnotation ohne Klammern |  $Px$  statt  $P(x)$  usw.

- $wff \rightarrow pred^1 a_1 \dots a_n$  | n-stellige Prädikate und ihre Argumente
- $wff \rightarrow neg\ wff$  | Applikation von Negation auf Wffs
- $wff \rightarrow wff\ conn\ wff$  | Applikation von anderen Funktoren auf Wffs

Wir nehmen eine Prädikatsnotation ohne Klammern |  $Px$  statt  $P(x)$  usw.

- $wff \rightarrow pred^1 a_1 \dots a_n$  |  $n$ -stellige Prädikate und ihre Argumente
- $wff \rightarrow neg\ wff$  | Applikation von Negation auf Wffs
- $wff \rightarrow wff\ conn\ wff$  | Applikation von anderen Funktoren auf Wffs
- $wff \rightarrow Q\ var\ wff$  | Quantifikation

# Eine Wff ohne Quantoren

# Eine Wff ohne Quantoren

Zum Beispiel: *Ben (b) paddelt (P) und ( $\wedge$ ) Ben rudert (R) nicht ( $\neg$ ) mit Chris (c).*

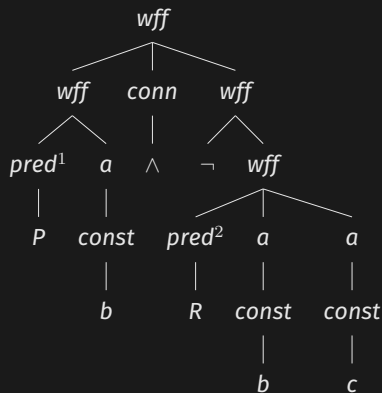
In PL:  $Pb \wedge \neg Rbc$



# Eine Wff ohne Quantoren

Zum Beispiel: *Ben (b) paddelt (P) und ( $\wedge$ ) Ben rudert (R) nicht ( $\neg$ ) mit Chris (c).*

In PL:  $Pb \wedge \neg Rbc$





# Eine Wff mit Quantoren

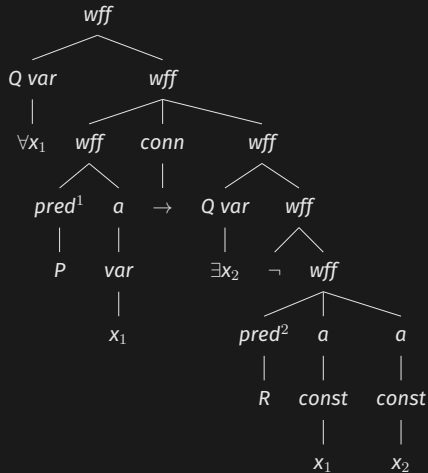
Zum Beispiel: *Als Paddler hat man immer jemanden, mit dem man nicht rudert.*

In PL:  $\forall x_1 [Px_1 \rightarrow \exists x_2 \neg Px_1x_2]$

# Eine Wff mit Quantoren

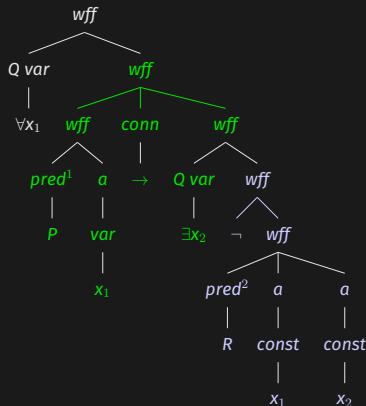
Zum Beispiel: Als Paddler hat man immer jemanden, mit dem man nicht rudert.

In PL:  $\forall x_1 [Px_1 \rightarrow \exists x_2 \neg Px_1x_2]$



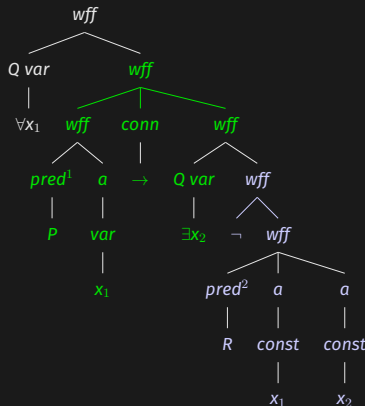
## Skopus in konfiguraler Logik-Syntax: c-Kommando

Variablen als gebunden vom nächsten c-kommandierenden koindizierten Quantor



## Skopus in konfiguraler Logik-Syntax: c-Kommando

Variablen als gebunden vom nächsten c-kommandierenden koindizierten Quantor

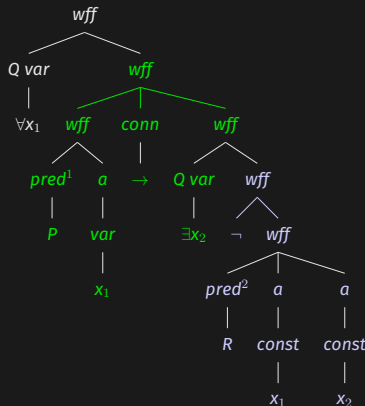


Skopus/c-Kommando-Domäne von  $\exists x_2$

# Skopus und c-Kommando

## Skopus in konfiguraler Logik-Syntax: c-Kommando

Variablen als gebunden vom nächsten c-kommandierenden koindizierten Quantor



Skopus/c-Kommando-Domäne von  $\exists x_2$  | Skopus/c-Kommando-Domäne von  $\forall x_1$  (zgl. derer von  $\exists x_2$ )

# Modelltheorie





Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in  $v$  gdw ...*

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in  $v$  gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in  $v$  gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in v gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$
- Funktion  $V_n$  | Valuation – Zuweisung von

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in v gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$
- Funktion  $V_n$  | Valuation – Zuweisung von
  - ▶ Namen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in v gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$
- Funktion  $V_n$  | Valuation – Zuweisung von
  - ▶ Namen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$
  - ▶ Predikaten zu Tupeln von Individuen

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in v gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$
- Funktion  $V_n$  | Valuation – Zuweisung von
  - ▶ Namen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$
  - ▶ Predikaten zu Tupeln von Individuen
- $\mathcal{M}_n = \langle D_n, V_n \rangle$



Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in v gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$
- Funktion  $V_n$  | Valuation – Zuweisung von
  - ▶ Namen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$
  - ▶ Predikaten zu Tupeln von Individuen
- $\mathcal{M}_n = \langle D_n, V_n \rangle$
- Funktion  $g_n$  | Zuweisung von Variablen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$

Ziel (zur Erinnerung) | T-Sätze der Form *S aus L ist wahr in v gdw ...*

- Modell  $\mathcal{M}$  | zugängliches Diskursuniversum (bzw. dessen Beschreibung)
- Menge  $D_n$  | Zugängliche Individuen (*domain*) in  $\mathcal{M}_n$
- Funktion  $V_n$  | Valuation – Zuweisung von
  - ▶ Namen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$
  - ▶ Predikaten zu Tupeln von Individuen
- $\mathcal{M}_n = \langle D_n, V_n \rangle$
- Funktion  $g_n$  | Zuweisung von Variablen zu Individuen in  $\mathcal{M}_n$
- Allgemeine Evaluation in  $\mathcal{M}_n$  |  $\llbracket \alpha \rrbracket^{\mathcal{M}_n, g_n}$   
Lies: *Die Extension von Ausdruck  $\alpha$  relativ zu  $\mathcal{M}_n$  und  $g_n$*

# Unterschied zwischen $V_n$ und $g_n$

# Unterschied zwischen $V_n$ und $g_n$

Feste und variable Denotation

## Feste und variable Denotation

- $V_n$  evaluiert statisch im Modell.

Wenn das Modell einmal feststeht, evaluiert  $V_n$  jede Konstante stets gleich.

## Feste und variable Denotation

- $V_n$  evaluiert statisch im Modell.  
Wenn das Modell einmal feststeht, evaluiert  $V_n$  jede Konstante stets gleich.
- Variablen (gebunden durch Quantoren) werden volatil interpretiert.

## Feste und variable Denotation

- $V_n$  evaluiert statisch im Modell.  
Wenn das Modell einmal feststeht, evaluiert  $V_n$  jede Konstante stets gleich.
- Variablen (gebunden durch Quantoren) werden volatil interpretiert.
- Iteration durch Universum  $D_n$  durch  $g_n$

## Feste und variable Denotation

- $V_n$  evaluiert statisch im Modell.  
Wenn das Modell einmal feststeht, evaluiert  $V_n$  jede Konstante stets gleich.
- Variablen (gebunden durch Quantoren) werden volatil interpretiert.
- Iteration durch Universum  $D_n$  durch  $g_n$
- Eine Modifikation der Belegung pro Iteration



## Feste und variable Denotation

- $V_n$  evaluiert statisch im Modell.

Wenn das Modell einmal feststeht, evaluiert  $V_n$  jede Konstante stets gleich.

- Variablen (gebunden durch Quantoren) werden volatil interpretiert.
- Iteration durch Universum  $D_n$  durch  $g_n$
- Eine Modifikation der Belegung pro Iteration
  - ▶ Modifizierte *assignment function*  $g_n[d_i/x_m]$   
Lies: *relativ zu  $g_n$ , wobei die Referenz von Variable  $x_m$  auf Individuum  $d_i$  gesetzt wird*



$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(P) = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Prädikat } P \text{ (z. B. ist ein physikalisches Objekt) in } \mathcal{M}_1$

# Evaluation von Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(P) = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Prädikat } P \text{ (z. B. ist ein physikalisches Objekt) in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

# Evaluation von Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(P) = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Prädikat } P \text{ (z. B. ist ein physikalisches Objekt) in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Herr Webelhuth}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 1$$

# Evaluation von Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(P) = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Prädikat } P \text{ (z. B. ist ein physikalisches Objekt) in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Herr Webelhuth}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 1$$

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_1]} = \text{Frau Klenk}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_1]} = 1$$

# Evaluation von Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(P) = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Prädikat } P \text{ (z. B. ist ein physikalisches Objekt) in } \mathcal{M}_1$

Evaluiere  $\llbracket \forall x_1 P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Herr Webelhuth}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 1$$

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_1]} = \text{Frau Klenk}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_1]} = 1$$

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Mensa}/x_1]} = 1$$



# Evaluation von Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid$  Individuen in  $\mathcal{M}_1$

$V_1(P) = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid$  Prädikat  $P$  (z. B. *ist ein physikalisches Objekt*) in  $\mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 1$  weil keiner Belegung  $\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Herr Webelhuth}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 1$$

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_1]} = \text{Frau Klenk}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_1]} = 1$$

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$

$$g_1 = \begin{bmatrix} x_1 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{bmatrix}$$

$$\llbracket P x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Mensa}/x_1]} = 1$$



$D_1 = \{\textit{Herr Webelhuth}, \textit{Frau Klenk}, \textit{Turm} - \textit{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$

▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$



# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid$  Individuen in  $\mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid$  Prädikat  $Q$  (z. B.  $x$  besucht  $y$ ) in  $\mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1[\text{Klenk}/x_2]} = 0$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluiere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$

- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1[\text{Klenk}/x_2]} = 0$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1[\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid$  Individuen in  $\mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid$  Prädikat  $Q$  (z. B.  $x$  besucht  $y$ ) in  $\mathcal{M}_1$

Evaluiere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid$  Individuen in  $\mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid$  Prädikat  $Q$  (z. B.  $x$  besucht  $y$ ) in  $\mathcal{M}_1$

Evaluieren  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_2 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluiere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$   
Abbruch!

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$

Abbruch!
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = \text{Herr Webelhuth}$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$   
**Abbruch!**
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = \text{Herr Webelhuth}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = 1$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$



# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$   
**Abbruch!**
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = \text{Herr Webelhuth}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = 1$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 1$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1}$

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$   
**Abbruch!**
- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = \text{Herr Webelhuth}$ 
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = 1$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 1$
  - ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_2 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

# Evaluation mit zwei Variablen

$D_1 = \{\text{Herr Webelhuth}, \text{Frau Klenk}, \text{Turm} - \text{Mensa}\} \mid \text{Individuen in } \mathcal{M}_1$

$V_1(Q) = \{\langle \text{Webelhuth}, \text{Klenk} \rangle, \langle \text{Webelhuth}, \text{Mensa} \rangle, \langle \text{Klenk}, \text{Webelhuth} \rangle\} \mid \text{Prädikat } Q \text{ (z. B. } x \text{ besucht } y) \text{ in } \mathcal{M}_1$

Evaluere  $\llbracket \forall x_1 \exists x_2 Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$  weil nicht für jede Belegung von  $x_1$  mindestens einmal 1

- Initiale Belegung  $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = \text{Frau Klenk}$

- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1} = 0$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Klenk}/x_2]} = 0$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_2]} = 1$

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = \text{Turm} - \text{Mensa}$

- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1]} = 0$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 0$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Turm} - \text{Mensa}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$

Abbruch!

- $\llbracket x_1 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = \text{Herr Webelhuth}$

- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1]} = 1$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1, \text{Klenk}/x_2]} = 1$
- ▶  $\llbracket Qx_1x_2 \rrbracket^{\mathcal{M}_1, g_1 [\text{Webelhuth}/x_1, \text{Webelhuth}/x_2]} = 0$

$$g_1 = \left[ \begin{array}{l} x_1 \rightarrow \text{Frau Klenk} \\ x_2 \rightarrow \text{Turm} - \text{Mensa} \\ x_3 \rightarrow \text{Herr Webelhuth} \end{array} \right]$$

## Quantifikation in natürlicher Sprache



Wie quantifiziert *meist*?

Wie quantifiziert *meist*?

- Kleineres Problem |  $\exists$  sowohl *mindestens ein* als auch *einige*

Wie quantifiziert *meist*?

- Kleineres Problem |  $\exists$  sowohl *mindestens ein* als auch *einige*
- Grundsätzliches Problem | *meist* (und andere)



Wie quantifiziert *meist*?

- Kleineres Problem |  $\exists$  sowohl *mindestens ein* als auch *einige*
- Grundsätzliches Problem | *meist* (und andere)  
*Die meisten Patienten sind zufrieden.*

Wie quantifiziert *meist*?

- Kleineres Problem |  $\exists$  sowohl *mindestens ein* als auch *einige*
- Grundsätzliches Problem | *meist* (und andere)

*Die meisten Patienten sind zufrieden.*

- ▶ Hypothetischer Quantor  $W$  |  $WxPx \rightarrow Zx$

Für die meisten Objekte gilt, dass sie zufrieden sind, wenn sie Patienten sind.

Wie quantifiziert *meist*?

- Kleineres Problem |  $\exists$  sowohl *mindestens ein* als auch *einige*
- Grundsätzliches Problem | *meist* (und andere)

*Die meisten Patienten sind zufrieden.*

- ▶ Hypothetischer Quantor  $W$  |  $WxPx \rightarrow Zx$

Für die meisten Objekte gilt, dass sie zufrieden sind, wenn sie Patienten sind.

- ▶ **Falsche Interpretation** | Domäne =  $\llbracket P \rrbracket^{\mathcal{M}_1} \{x : x \text{ ist Patient}\}$ , nicht  $D_1$

Wie quantifiziert *meist*?

- Kleineres Problem |  $\exists$  sowohl *mindestens ein* als auch *einige*
- Grundsätzliches Problem | *meist* (und andere)
  - Die meisten Patienten sind zufrieden.*
  - ▶ Hypothetischer Quantor  $W$  |  $WxPx \rightarrow Zx$   
Für die meisten Objekte gilt, dass sie zufrieden sind, wenn sie Patienten sind.
  - ▶ **Falsche Interpretation** | Domäne =  $\llbracket P \rrbracket^{\mathcal{M}_1} \{x : x \text{ ist Patient}\}$ , nicht  $D_1$
- Korrekte Lösung | Generalisierte Quantoren (am Ende des Seminars)



In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränex Normalform (PNF), Quantor in situ



In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne präfixe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody.* (ELS)

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody.* (ELS)
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody. (ELS)*
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$
  - ▶  $\exists x_2 \forall x_1 Lx_1 x_2$

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody. (ELS)*
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$
  - ▶  $\exists x_2 \forall x_1 Lx_1 x_2$
- Für eine strukturelle Modellierung (c-Kommando) | LF-Bewegung

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody. (ELS)*
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$
  - ▶  $\exists x_2 \forall x_1 Lx_1 x_2$
- Für eine strukturelle Modellierung (c-Kommando) | LF-Bewegung
- Beispiele für andere Lösungen, mehr in Montagues lf-Tradition

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody. (ELS)*
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$
  - ▶  $\exists x_2 \forall x_1 Lx_1 x_2$
- Für eine strukturelle Modellierung (c-Kommando) | LF-Bewegung
- Beispiele für andere Lösungen, mehr in Montagues lf-Tradition
  - ▶ Cooper Storage (implementiert in HPSG)

In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody. (ELS)*
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$
  - ▶  $\exists x_2 \forall x_1 Lx_1 x_2$
- Für eine strukturelle Modellierung (c-Kommando) | LF-Bewegung
- Beispiele für andere Lösungen, mehr in Montagues lf-Tradition
  - ▶ Cooper Storage (implementiert in HPSG)
  - ▶ Unterspezifikation (implementiert in HPSG; kognitiv recht plausibel)



In PL ist Skopus klar geregelt, in natürlicher Sprache nicht.

- c-Kommando für Skopus nicht adäquat
- Natürliche Sprache ohne pränexe Normalform (PNF), Quantor in situ
- Außerdem Ambiguität = mehrere Lesarten
  - ▶ *Everybody loves somebody. (ELS)*
  - ▶  $\forall x_1 \exists x_2 Lx_1 x_2$
  - ▶  $\exists x_2 \forall x_1 Lx_1 x_2$
- Für eine strukturelle Modellierung (c-Kommando) | LF-Bewegung
- Beispiele für andere Lösungen, mehr in Montagues lf-Tradition
  - ▶ Cooper Storage (implementiert in HPSG)
  - ▶ Unterspezifikation (implementiert in HPSG; kognitiv recht plausibel)
  - ▶ Hypothetische Beweise (implementiert in Kategorialgrammatik)



Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel
- Kein wesentlicher Unterschied, falls CP oder IP statt S

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel
- Kein wesentlicher Unterschied, falls CP oder IP statt S
- Außerdem |  $Det \rightarrow every, some$  and  $NP \rightarrow Det N^{count}$



Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel
- Kein wesentlicher Unterschied, falls CP oder IP statt S
- Außerdem |  $Det \rightarrow every, some$  and  $NP \rightarrow Det N^{count}$
- Syntax-Problem | Völlig unnötig eine **kontextsensitive Regel**

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel
- Kein wesentlicher Unterschied, falls CP oder IP statt S
- Außerdem |  $Det \rightarrow every, some$  and  $NP \rightarrow Det N^{count}$
- Syntax-Problem | Völlig unnötig eine **kontextsensitive Regel**
- Semantik-Probleme bei Chierchia

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel
- Kein wesentlicher Unterschied, falls CP oder IP statt S
- Außerdem |  $Det \rightarrow every, some$  and  $NP \rightarrow Det N^{count}$
- Syntax-Problem | Völlig unnötig eine **kontextsensitive Regel**
- Semantik-Probleme bei Chierchia
  - ▶ Einführung syntaktischer Typen wird skizzenhaft (s. Montague)

Relevante syntaktische Erweiterung zu  $F_1$  | Quantifier Raising (QR) Rule

$$[_S X NP Y] \implies [_{S'} NP_i [_S X t_i Y]]$$

- Phrasenstruktur als Input und Output (= Skopus in Syntax, LF als Syntax)
- Koindizierung und Linksadjunktion an S beide Teil einer Regel
- Kein wesentlicher Unterschied, falls CP oder IP statt S
- Außerdem |  $Det \rightarrow every, some$  and  $NP \rightarrow Det N^{count}$
- Syntax-Problem | Völlig unnötig eine **kontextsensitive Regel**
- Semantik-Probleme bei Chierchia
  - ▶ Einführung syntaktischer Typen wird skizzenhaft (s. Montague)
  - ▶ Definition zulässiger Modelle unterschlagen (s. Montague)



$$\begin{aligned} \llbracket [\textit{every } \beta]_i S \rrbracket^{\mathcal{M},g} = 1 \text{ iff for all } d \in D : \\ \text{if } d \in \llbracket \beta \rrbracket^{\mathcal{M},g} \text{ then } \llbracket S \rrbracket^{\mathcal{M},g[u/t_i]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \llbracket \llbracket \textit{every } \beta \rrbracket_i S \rrbracket^{\mathcal{M},g} = 1 \text{ iff for all } d \in D : \\ \text{if } d \in \llbracket \beta \rrbracket^{\mathcal{M},g} \text{ then } \llbracket S \rrbracket^{\mathcal{M},g[u/t_i]} \end{aligned}$$

A sentence containing the trace  $t_i$  with an adjoined  $NP_i$  (which consists of *every* plus the common noun  $\beta$ ) extend to 1 iff for each individual  $d$  in the universe  $D$  which is in the set referred to by the common noun  $\beta$ ,  $S$  denotes 1 with  $d$  assigned to the pronominal trace  $t_i$ .  $g$  is modified iteratively to check that.

# Semantik für QR-Regel mit *some*



$$\begin{aligned} \llbracket \llbracket a \ \beta \rrbracket_i \ S \rrbracket^{\mathcal{M},g} = 1 \text{ iff for some } u \in U : \\ u \in \llbracket \beta \rrbracket^{\mathcal{M},g} \text{ and } \llbracket S \rrbracket^{\mathcal{M},g[u/t_i]} \end{aligned}$$

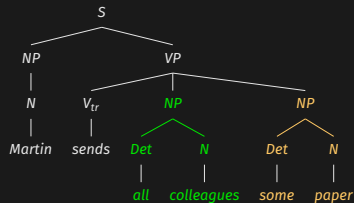
$$\begin{aligned} \llbracket [ [a \ \beta]_i \ S] \rrbracket^{\mathcal{M},g} = 1 \text{ iff for some } u \in U : \\ u \in \llbracket \beta \rrbracket^{\mathcal{M},g} \text{ and } \llbracket S \rrbracket^{\mathcal{M},g[u/t_i]} \end{aligned}$$

Die Interpretation erfolgt nach ähnlichem Schema.

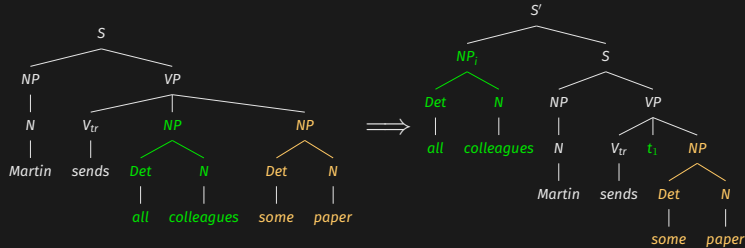


*Martin sends all colleagues some paper.* in the  $\exists\forall$  reading:

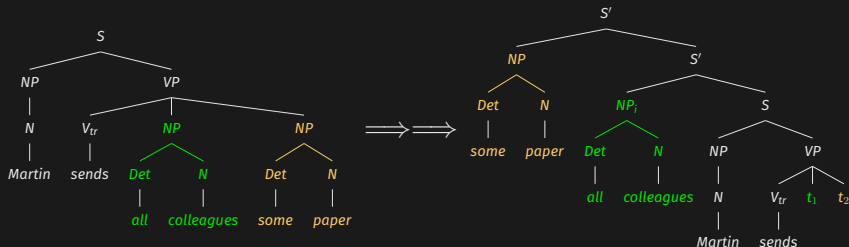
Martin sends *all colleagues* *some paper*. in the  $\exists\forall$  reading:



Martin sends *all colleagues* *some paper*. in the  $\exists\forall$  reading:



Martin sends *all colleagues* *some paper*. in the  $\exists\forall$  reading:



## Aufgaben



Unvollständig!

Chierchia, Gennaro & Sally McConnell-Ginet. 2000. *Meaning and grammar: An introduction to semantics*. 2. Aufl. Cambridge, MA: MIT Press.

## Kontakt

Prof. Dr. Roland Schäfer  
Institut für Germanistische Sprachwissenschaft  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Fürstengraben 30  
07743 Jena

<https://rolandschaefer.net>  
[roland.schaefer@uni-jena.de](mailto:roland.schaefer@uni-jena.de)

## Creative Commons BY-SA-3.0-DE

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ *Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland* zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.