

# Formale Semantik

## 03. Mengen und Funktionen

Roland Schäfer

Institut für Germanistische Sprachwissenschaft  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Folien in Überarbeitung. Englische Teile (ab Woche 7) sind noch von 2007!

Stets aktuelle Fassungen: <https://github.com/rsling/VL-Semantik>

1 Mengen und Funktionen

2 Funktionen und Relationen

3 Mehr über Relationen und Mengen

# Mengen und Funktionen

# Was ist eine Menge?

Eine frei definierbare ungeordnete Sammlung von diskreten Objekten

- Zahlen
- Menschen
- Schuhe
- Wörter
- ...
- nicht unbedingt zweckgebunden
- jedes Objekt maximal einmal in jeder Menge

Das Wesentliche von heute in Partee u. a. (1990: Kapitel 1–4)

Mengendefinition  $\{ \}$ , Elementstatus  $\in$

- $M_1 = \{a, b, c\}$  (Menge von Buchstaben)
- $N_1 = \{ 'my\ book' \}$  (einelementige Menge, enthält eine NP)
  - ▶ vs.  $N_2 = \{ my\ book \}$  (einelementige Menge, enthält mein Buch)
  - ▶ vs.  $N_3 = \{ 'my', 'book' \}$  (Menge von Wörtern)
- auch möglich:  $N_4 = \{ 'my', book \}$
- definiert über eine Eigenschaft der Elemente (zwei Notationen):  
 $M_2 = \{ x : x \text{ is one of the first three letters of the alphabet} \}$   
 $M_2 = \{ x | x \text{ is one of the first three letters of the alphabet} \}$
- $U$ : die universelle Menge (alle Objekte)

Zwei Mengen mit exakt den gleichen Elementen sind **identisch**.

- $\{a, b, c\} = \{x: x \text{ is one of the first three letters of the alphabet}\}$
- $\{x: x \text{ is human}\} = \{x: x \text{ is from the Earth, a primate but not an ape}\}$

# Teilmengen und Obermengen

**Teilmenge** | Eine Menge N, die kein Element enthält, das nicht auch in Menge M enthalten ist (umg. **Obermenge**).

Teilmenge oder Identität  $\subseteq$

Obermenge oder Identität  $\supseteq$

- $\{a\} \subseteq \{a, b, c\}$  und  $\{a, b, c\} \supseteq \{a\}$
- $\{a\} \subseteq \{a, b, c\}$  und  $\{a, b, c\} \supseteq \{a\}$
- $\{a, b, c\} \subseteq \{a, b, c\}$
- $\{a, b, c, d\} \not\subseteq \{a, b, c\}$  und  $\{a, b, c\} \not\supseteq \{a, b, c, d\}$
- $\{x: x \text{ is human}\} \subseteq \{x: x \text{ is an ape}\}$

# Echte Teilmengen und Obermengen

**Echte Teilmenge** | Eine Menge N, die kein Element enthält, das nicht auch in Menge M enthalten ist, und die nicht mit M identisch ist.

Echte Teilmenge  $\subset$

Echte Obermenge  $\supset$

- $\{a\} \subset \{a, b, c\}$  und  $\{a\} \subset \{a, b, c\}$
- $\{a, b, c\} \not\subset \{a, b, c\}$  aber  $\{a, b, c\} \subseteq \{a, b, c\}$



- Achtung bei Mengen von Mengen

- ▶  $\{\{a\}\} \not\subseteq \{a, b, c\}$
- ▶  $\{\{a\}\} \not\subset \{a, b, c\}$
- ▶  $\{\{a\}\} \notin \{a, b, c\}$

- für leere Menge  $\{\}$  oder  $\emptyset$

- ▶  $\{\} \subset$  jede anderen Menge
- ▶  $\{\} \not\subseteq \{\}$

- Logik mit Mengen
  - ▶ *Alle Anglistikprofessoren sind menschlich.  
Herr Webelhuth ist Anglistikprofessor.*
  - ▶  $w = \text{Herr Webelhuth}$   
 $E = \{x: x \text{ is a professor of English Linguistics}\}$   
 $H = \{x: x \text{ is human}\}$
  - ▶ Aus  $w \in E$  und  $E \subset H$  folgt  $w \in H$
- Aber
  - ▶ *Die Anglistikprofessoren sind zahlreich.*
  - ▶  $N = \{x: x \text{ is a set with many members}\}$
  - ▶ Aus  $w \in E$  und  $E \in N$  folgt nicht  $w \in N$
  - ▶ Vergleiche: *\*Herr Webelhuth ist zahlreich.*

# Potenzmengen (power sets)

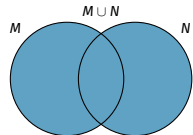
Potenzmenge  $\wp(\cdot)$  | Für jede Menge  $M$ :  $\wp(M) = \{X : X \subseteq M\}$

- Beispiel

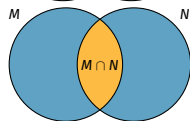
- ▶  $M = \{a, b, c\}$
- ▶  $\wp(M) = \{\{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, \{a, b, c\}, \{\}$

- Warum ist die leere Menge in der Potenzmenge jeder Menge?
- Warum ist die leere Menge eine echte Teilmenge jeder Menge?

# Vereinigungsmenge und Schnittmenge



Vereinigungsmenge | Für Mengen M und N:  $M \cup N = \{x : x \in M \text{ oder } x \in N\}$



Schnittmenge | Für Mengen M und N:  $M \cap N = \{x : x \in M \text{ und } x \in N\}$

- Beispiel Vereinigungsmenge

- ▶  $M = \{a, b, c\}$
- ▶  $N = \{a, b, d\}$
- ▶  $M \cup N = \{a, b, c, d\}$

- Beispiel Schnittmenge

- ▶  $M = \{a, b, c\}$
- ▶  $N = \{a, b\}$
- ▶  $M \cap N = \{a, b\}$

# Generalisierte Vereinigungs- und Schnittmenge

$$\bigcup M = \{x : x \in Y \text{ für irgendeine } Y \in M\}$$

$$\bigcap M = \{x : x \in Y \text{ für jede } Y \in M\}$$

- Beispiel generalisierte Vereinigungsmenge

- ▶  $M = \{\{a\}, \{a, b\}, \{a, b, c\}\}$
- ▶  $\bigcup M = \{a, b, c\}$

- Beispiel generalisierte Schnittmenge

- ▶  $M = \{\{a\}, \{a, b\}, \{a, b, c\}\}$
- ▶  $\bigcap M = \{a\}$

# Differenzmenge und Komplementmenge

Differenzmenge |  $M - N = \{x : x \in M \text{ and } x \notin N\}$

Komplementmenge |  $M \setminus N = \{x : x \in N \text{ and } x \notin M\}$

- Beispiel Differenzmenge

- ▶  $M = \{a, b, c\}$
- ▶  $N = \{a\}$
- ▶  $M - N = \{b, c\}$

- Beispiel Komplementmenge

- ▶  $O = \{a, b, c, k\}$
- ▶  $M \setminus O = \{k\}$

- Universelles Komplement

- ▶ die universelle Menge |  $U = \{x : x \text{ is an object}\}$
- ▶  $M' = \{x : x \in U \text{ and } x \notin M\}$

# Triviale Identitäten

Idempotenz	$M \cup M$	$=$	$M$
	$M \cap M$	$=$	$M$
Kommutativität	$M \cup N$	$=$	$N \cup M$
	$M \cap N$	$=$	$N \cap M$
Assoziativität	$(M \cup N) \cup O$	$=$	$M \cup (N \cup O)$
	$(M \cap N) \cap O$	$=$	$M \cap (N \cap O)$
Distributivität	$M \cup (N \cap O)$	$=$	$(M \cup N) \cap (M \cup O)$

## Komplementgesetze

- $M \cup \emptyset = M$
- $M'' = M$
- $M \cap M' = \emptyset$
- $X \cap U = U$

## DeMorgan

- $(M \cup N)' = M' \cap X'$
- DeMorgan begegnet uns in der Logik wieder.



## Funktionen und Relationen

# Tupel (geordnete Paare, Vektoren)

Mengen | **ungeordnet**  $\{a, b, c\} = \{a, c, b\} = \{b, a, c\} = \{b, c, a\} = \{c, a, b\} = \{c, b, a\}$

Tupel | dasselbe, aber **geordnet**  $\langle a, b \rangle \neq \langle b, a \rangle$

- tion ohne neues Primitiv |  $\langle a, b \rangle \stackrel{\text{def}}{=} \{\{a\}, \{a, b\}\}$
- Rekursive Anwendung |  $\langle a, b, c \rangle = ???$
- in  $\langle a, b \rangle$  |  $a$  **erste** und  $b$  **zweite Koordinate**

Mengen von Tupeln |  $\{ \langle a, b \rangle, \langle a, c \rangle, \langle b, c \rangle \}$  usw.

Kartesisches Produkt |  $S_1 \times \cdots \times S_n = \{ \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle : x_i \in S_i \}$

- Für zwei Mengen |  $S_1 \times S_2 = \{ \langle x, y \rangle \mid x \in S_1 \text{ and } y \in S_2 \}$ 
  - ▶  $S_1 = \{a, b, c\}$
  - ▶  $S_2 = \{1, 2, 3\}$
  - ▶  $S_1 \times S_2 = \{ \langle a, 1 \rangle, \langle a, 2 \rangle, \langle a, 3 \rangle, \langle b, 1 \rangle, \langle b, 2 \rangle, \langle b, 3 \rangle, \langle c, 1 \rangle, \langle c, 2 \rangle, \langle c, 3 \rangle \}$
  - ▶ Achtung |  $\langle 1, a \rangle \notin S_1 \times S_2$  usw.
- Nomenklatur |  $\vec{x}$  für  $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$
- n-faches Produkt |  $S^n = \{ \vec{s} : s_i \in S \text{ for } 1 \leq i \leq n \}$ 
  - ▶  $S_1^2 = S_1 \times S_1 = \{ \langle a, a \rangle, \langle a, b \rangle, \langle a, c \rangle, \langle b, a \rangle, \langle b, b \rangle, \langle b, c \rangle, \langle c, a \rangle, \langle c, b \rangle, \langle c, c \rangle \}$

*a sieht b, a wohnt im selben Stockwerk wie b, a macht b Vorwürfe, ...*

- Notationen |  $Rab, aRb, R(a, b), R(\langle a, b \rangle)$
- Definitionsmenge (domain)  $A$  |  $a \in A$
- Zielmenge, Wertemenge (range)  $B$  |  $b \in B$
- Zielmenge = Wertemenge  $A$  |  $R$  ist eine Relation in  $A$ .
- Relation  $R$  = eine Menge von Tupeln
- $R \subseteq A \times B$

Komplement von  $R$  |  $R' = (A \times B) - R = R \setminus (A \times B) = \{\langle a, b \rangle \notin R\}$  for  $R \subseteq A \times B$

Umkehrung (inverse) von  $R$  |  $R^{-1} = \{\langle b, a \rangle : \langle a, b \rangle \in R\}$  for  $R \subseteq A \times B$

- Beispiel Komplement

- ▶  $R \stackrel{\text{def}}{=} \{\langle a, b \rangle : a \text{ ist Lehrer von } b\}$
- ▶  $\langle \text{Herr Webelhuth, Herr Schäfer} \rangle \in R$
- ▶  $R' = \{\langle a, b \rangle : a \text{ ist nicht Lehrer von } b\}$
- ▶  $\langle \text{Herr Webelhuth, Frau Klenk} \rangle \notin R$ ,  
 $\langle \text{der Garten meiner Eltern, Frau Klenk} \rangle \notin R$  usw.

- Beispiel Umkehrung

- ▶  $R^{-1} = \{\langle a, b \rangle : b \text{ ist Lehrer von } a\}$
- ▶  $= \{\langle a, b \rangle : a \text{ ist Schüler von } b\}$
- ▶  $\langle \text{Herr Schäfer, Herr Webelhuth} \rangle \in R^{-1}$

*a hat Vater b, zugelassenes Auto a hat Kennzeichen b, b ist der Logarithmus von a, ...*

Funktion  $f$  | eine Relation, sodass für jedes  $a \in A$  genau ein  $\langle a, b \rangle \in A \times B$  existiert

- partielle Funktion | Funktion in  $A \times B$  sodass für mindestens ein  $a \in A$  kein  $\langle a, b \rangle \in A \times B$  existiert
- formal meistens |  $\bar{f} \subseteq A \times (B \cup \{\perp\})$  mit  $\perp$  als *undefiniert*

*b ist die Mutter des Vaters von a (schwed. farmor),*

*a ist der Kehrwert des Logarithmus von b, ...*

Funktionsverknüpfung (composition) | Für  $F_1 \subseteq A \times B$  und  $F_2 \subseteq A \times C$ :  $F_1 \circ F_2 \subseteq A \times C$

- *farmor* |  $F = \text{Vater} \circ \text{Mutter}$  und  $F \subseteq \text{Menschen} \times \text{Frauen}$

- ▶  $\text{Männer} = \{\text{Ulrich Schäfer}, \text{Roland Schäfer}, \text{Jan Böhmermann}, \dots\}$
- ▶  $\text{Frauen} = \{\text{Maria Schäfer}, \text{Frau Dr. Heide Rezepa-Zabel}, \dots\}$
- ▶  $\text{Menschen} = \text{Männer} \cup \text{Frauen}$
- ▶  $\text{Vater} \subseteq \{\langle \text{Roland Schäfer}, \text{Ulrich Schäfer} \rangle, \langle \text{Frau Dr. Heide Rezepa-Zabel}, \text{Jan Böhmermann} \rangle, \dots\}$
- ▶  $\text{Mutter} \subseteq \{\langle \text{Ulrich Schäfer}, \text{Maria Schäfer} \rangle, \langle \text{Jan Böhmermann}, \text{Frau Dr. Heide Rezepa-Zabel} \rangle, \dots\}$
- ▶  $F(\text{Roland Schäfer}) = \text{Vater} \circ \text{Mutter}(\text{Roland Schäfer}) = \text{Maria Schäfer}$

## Mehr über Relationen und Mengen



Eine Relation  $R$  in  $A$  ist ...

reflexiv	gdw	für <b>jedes</b> $a \in A$ : $\langle a, a \rangle \in R$	<i>ist dasselbe Objekt wie</i>
irreflexiv	gdw	für <b>jedes</b> $a \in A$ : $\langle a, a \rangle \notin R$	<i>ist Vater von</i>
nichtreflexiv	gdw	für <b>ein</b> $a \in A$ : $\langle a, a \rangle \notin R$	<i>hat gesehen</i>

Eine Relation  $R$  in  $A$  ist ...

symmetrisch	gdw	für jedes $\langle a, b \rangle \in R : \langle b, a \rangle \in R$	<i>hat dasselbe Auto wie</i>
asymmetrisch	gdw	für jedes $\langle a, b \rangle \in R : \langle b, a \rangle \notin R$	<i>hat ein anderes Auto als</i>
nichtsymmetrisch	gdw	für ein $\langle a, b \rangle \in R : \langle b, a \rangle \notin R$	<i>ist Mutter von</i> <sup>1</sup>
antisymmetrisch	gdw	für jedes $\langle a, b \rangle \in R : \langle b, a \rangle \notin R$ <b>oder</b> $a = b$	$\leq$

<sup>1</sup> Wer hat *Dark* gesehen?

Eine Relation  $R$  in  $A$  ist ...

transitiv	gdw	$\langle a, b \rangle \in R$ and $\langle b, c \rangle \in R : \langle a, c \rangle \in R$	<i>steht links von</i>
nichttransitiv	gdw	das Obige stimmt manchmal nicht	<i>mag</i>
intransitiv	gdw	das Obige stimmt nie	<i>ist Mutter von</i>

Wozu das Ganze?

- Referenzsemantik und Einteilung der Welt in Mengen
- Ausdrücke, die auf Relationen und Funktionen referieren
- andere Grundlage: **Logik, denn Sprache=Logik (irgendwie)**

1 Sind folgende Mengendefinitionen zulässig?

- ①  $A = \{a, b, d, e, f, g\}$
- ②  $C = \{x: x \text{ ist in keiner Menge enthalten}\}$
- ③  $D = \{\text{Böhmermann, Horst Lichter}, \{\}\}$
- ④  $E = \{a, b, a, d, e, f, g\}$
- ⑤  $F = \{r: r \text{ ist eine rationale Zahl}\} \cup \mathbb{N}$

2 Sind folgende Aussagen korrekt?

- ①  $\{\} \subseteq \{\text{blau, rot, gelb}\}$
- ②  $\{x : x \in A\} = A$
- ③  $\{\text{Jan, Horst, Heide}\} \neq \{\text{Horst, Jan, Heide}\}$
- ④ Wenn  $A = \{x: x \text{ ist ein Auto}\}$  und  $a \in A$  und außerdem  $B = \{x: x \text{ ist eine Menge von Dingen, die die Umwelt belasten}\}$  und  $A \in B$ , dann folgt daraus  $a \in B$ .
- ⑤ Wenn  $A \subseteq B$  und  $B \subseteq A$ , dann folgt  $A = B$ .
- ⑥ Wenn  $A \subset B$  und  $B \subset A$ , dann folgt  $A \neq B$ .
- ⑦ Wenn  $a \in A$  und  $a \in B$ , dann folgt  $a \in A \cup B$ .
- ⑧ Wenn  $a \in A$  und  $a \in B$ , dann folgt  $a \in A \cap B$ .
- ⑨ Wenn  $a \notin A$  und  $a \notin B$ , dann folgt  $a \in (A \cup B)'$ .

## 3 Beantworten Sie die folgenden Fragen.

- 1 Was ist  $\varnothing \{Horst, Heide, Jan\}$ ?
- 2 Beantworten Sie die beiden Fragen auf Folie 9.
- 3 Stimmt es, dass  $\{Horst, Heide\} \subset \bigcap \{\{Tschernobyl, Harrisburg\}, \{Horst, Heide, Albert\}, \{Horst, Webelhuth, Heide, Fukushima\}\}$ ?
- 4 Stimmt es, dass  $\{Heide, Harrisburg\} \subseteq \bigcup \{\{Tschernobyl, Harrisburg\}, \{Horst, Heide, Albert\}, \{Horst, Webelhuth, Heide, Fukushima\}\}$ ?
- 5 Stimmt es für nicht-leere Mengen  $A$  und  $B$ , dass  $A \setminus B = B - A$ ?
- 6 Und für leere Mengen?
- 7 Vervollständigen Sie von Folie 15  $\langle a, b, c \rangle = ???$  (Auflösen von Tupeln in Mengenschreibweise).
- 8 Auch wenn es weh tut, dasselbe bitte für  $\langle a, b, c, d \rangle$ !
- 9 Ist Folgendes korrekt:  $\langle Horst, Heide \rangle = \langle Heide, Horst \rangle$ ?
- 10 Ist Folgendes korrekt:  $\{\langle Horst, Heide \rangle, \langle Jan, Albert \rangle\} = \{\langle Jan, Albert \rangle, \langle Horst, Heide \rangle\}$ ?
- 11 Was muss der Fall sein, damit  $A \circ B = B \circ A$ ?
- 12 Finden Sie ein Beispiel für eine nicht-partielle Funktion von Dingen der realen Welt zu Dingen der realen Welt. Warum ist diese Funktion keine Relation? Finden Sie außerdem ein ähnliches Beispiel für eine partielle Funktion.
- 13 Finden Sie je eine Relationen zwischen Dingen der realen Welt, die reflexiv, irreflexiv, nichtreflexiv, symmetrisch, asymmetrisch, nichtsymmetrisch, antisymmetrisch, transitiv, nichttransitiv und intransitiv ist. Die Relationen müssen nicht mit einem bestimmten natürlichsprachlichen Wort ausdrückbar sein (vergleiche viele der Beispiele auf den Folien). In einigen Fällen ist das recht schwierig. Versuchen Sie es ohne Google, ChatGPT usw., sonst bringt es Ihnen nichts.

Partee, Barbara, Alice ter Meulen & Robert E. Wall. 1990. *Mathematical methods in linguistics*. Dordrecht: Kluwer.

## 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.