



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

- Syntax natürlicher Sprachen
- Syntax von Programmiersprachen
- Syntax logischer Sprachen

Was ist Semantik?

- Semantik natürlicher Sprachen
- Semantik von Programmiersprachen
- Semantik logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

- Alphabete
- Worte
- Sprachen

Zusammenfassung

Kapitel 1

Syntax versus Semantik

Text und seine Bedeutung

Vorlesung *Logik für Informatiker* vom 27. Oktober 2006

Till Tantau

Institut für Theoretische Informatik
Universität zu Lübeck

Die zwei Hauptbegriffe der heutigen Vorlesung.



Grobe Definition (Syntax)

Unter einer **Syntax** verstehen wir **Regeln**, nach denen Texte **strukturiert** werden dürfen.

Grobe Definition (Semantik)

Unter einer **Semantik** verstehen wir die Zuordnung von **Bedeutung** zu Text.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

- Syntax natürlicher Sprachen
- Syntax von Programmiersprachen
- Syntax logischer Sprachen

Was ist Semantik?

- Semantik natürlicher Sprachen
- Semantik von Programmiersprachen
- Semantik logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

- Alphabete
- Worte
- Sprachen

Zusammenfassung

Beobachtungen zu einem ägyptischen Text.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen

Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen

Semantik von
Programmiersprachen

Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

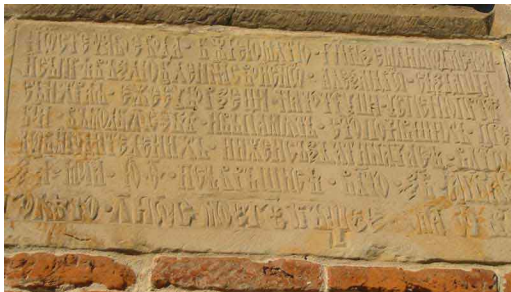
Zusammenfassung

Copyright by Guillaume Blanchard, GNU Free Documentation License, Low Resolution

Beobachtungen

- Wir haben keine Ahnung, was der Text bedeutet.
- Es gibt aber **Regeln**, die offenbar eingehalten wurden, wie »Hieroglyphen stehen in Zeilen«.
- Solche Regeln sind **syntaktische Regeln** – man kann sie überprüfen, ohne den Inhalt zu verstehen.

Beobachtungen zu einem kyrillischen Text.



Copyright by Cristian Chirita, GNU Free Documentation License, Low Resolution

Beobachtungen

- Wir haben keine Ahnung, was der Text bedeutet.
- Es gibt aber **Regeln**, die offenbar eingehalten wurden.
- Wir kennen mehr Regeln als bei den Hieroglyphen.

Zur Diskussion

Welche syntaktischen Regeln fallen Ihnen ein, die bei dem Text eingehalten wurden?



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen

Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen

Semantik von
Programmiersprachen

Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung

Beobachtungen zu einem deutschen Text.

Informatiker lieben Logiker.

Beobachtungen

- Auch hier werden viele syntaktische Regeln eingehalten.
- Es fällt uns aber **schwerer**, diese zu erkennen.
- Der Grund ist, dass wir **sofort über die Bedeutung nachdenken**.





- Die **Syntax** einer natürlichen Sprache ist die Menge an **Regeln**, nach denen Sätze gebildet werden dürfen.
- Die **Bedeutung** oder der **Sinn** der gebildeten Sätze ist dabei unerheblich.
- Jede Sprache hat ihre eigene Syntax; die Syntax verschiedener Sprachen ähneln sich aber oft.
- Es ist nicht immer klar, ob eine Regel noch zur Syntax gehört oder ob es schon um den Sinn geht.

Beispiel: Substantive werden groß geschrieben.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen

Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen

Semantik von
Programmiersprachen

Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung

Beobachtungen zu einem Programmtext.

```
\def\pgfpointadd#1#2{%  
  \pgf@process{#1}%  
  \pgf@xa=\pgf@x%  
  \pgf@ya=\pgf@y%  
  \pgf@process{#2}%  
  \advance\pgf@x by\pgf@xa%  
  \advance\pgf@y by\pgf@ya}
```

Beobachtungen

- Der Programmtext sieht sehr kryptisch aus.
- Trotzdem gibt es offenbar wieder Regeln.
- So scheint einem Doppelkreuz eine Ziffer zu folgen und Zeilen muss man offenbar mit Prozentzeichen beenden.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen

Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen

Semantik von
Programmiersprachen

Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung

Beobachtungen zu einem weiteren Programmtext.

```
for (int i = 0; i < 100; i++)  
    a[i] = a[i];
```

Beobachtungen

- Wieder gibt es Regeln, die eingehalten werden.
- Wieder fällt es uns **schwerer**, diese zu erkennen, da wir **sofort über den Sinn nachdenken**.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen

Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen

Semantik von
Programmiersprachen

Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung



- Die **Syntax** einer Programmiersprache ist die **Menge von Regeln**, nach der Programmtexte gebildet werden dürfen.
- Die **Bedeutung** oder der **Sinn** der Programmtexte ist dabei egal.
- Jede Programmiersprache hat ihre eigene Syntax; die Syntax verschiedener Sprachen ähneln sich aber oft.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen

Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen

Semantik von
Programmiersprachen

Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung

Beobachtungen zu einer logischen Formel.

$$p \rightarrow q \wedge \neg q$$

Beobachtungen

- Auch logische Formeln haben eine syntaktische Struktur.
- So wäre es **syntaktisch falsch**, statt einem Pfeil zwei Pfeile zu benutzen.
- Es wäre aber **syntaktisch richtig**, statt einem Negationszeichen zwei Negationszeichen zu verwenden.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen

Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung

- Die **Syntax** einer logischen Sprache ist die **Menge von Regeln**, nach der Formeln gebildet werden dürfen.
- Die **Bedeutung** oder der **Sinn** der Formeln ist dabei egal.
- Jede logische Sprache hat ihre eigene Syntax; die Syntax verschiedener Sprachen ähneln sich aber oft.



Der Hörsaal ist groß.

- Dieser Satz hat eine **Bedeutung**.
- Eine **Semantik** legt solche Bedeutungen fest.
- Syntaktisch falschen Sätzen wird im Allgemeinen keine Bedeutung zugewiesen.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung

Ein Satz, zwei Bedeutungen.

Steter Tropfen höhlt den Stein.

- Ein Satz kann **mehrere Bedeutungen haben**, welche durch **unterschiedliche Semantiken** gegeben sind.
- In der **wortwörtlichen Semantik** sagt der Satz aus, dass Steine ausgehöhlt werden, wenn man jahrelang Wasser auf sie tropft.
- In der **übertragenen Semantik** sagt der Satz aus, dass sich Beharrlichkeit auszahlt.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung

Die Semantik der Hieroglyphen

Syntax versus
Semantik

Till Tantau



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

- Syntax natürlicher Sprachen
- Syntax von Programmiersprachen
- Syntax logischer Sprachen

Was ist Semantik?

- Semantik natürlicher Sprachen
- Semantik von Programmiersprachen
- Semantik logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

- Alphabete
- Worte
- Sprachen

Zusammenfassung



Was bedeutet ein Programm?

```
for (int i = 0; i < 100; i++)  
    a[i] = a[i];
```

- Auch dieser Programmtext »bedeutet etwas«, wir »meinen etwas« mit diesem Text.
- Die **Semantik der Programmiersprache** legt fest, was mit dem Programmtext gemeint ist.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung

Ein Programm, zwei Bedeutungen.

```
for (int i = 0; i < 100; i++)  
    a[i] = a[i];
```

- Ein Programmtext kann **mehrere Bedeutungen haben**, welche durch **unterschiedliche Semantiken** gegeben sind.
- In der **operationalen Semantik** bedeutet der Programmtext, dass die ersten einhundert Elemente eines Arrays *a* nacheinander ihren eigenen Wert zugewiesen bekommen.
- In der **denotationellen Semantik** bedeutet der Programmtext, dass nichts passiert.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung



- Viele (aber nicht alle!) syntaktische Systeme bauen auf **Text** auf.
- Auch solche Systeme, die nicht auf Text aufbauen, lassen sich trotzdem durch Text beschreiben.
- Es ist deshalb nützlich, auf Text Methoden der Mathematik anwenden zu können.
- Im Folgenden wird deshalb die **mathematische Sicht** auf Text eingeführt, die **in der gesamten Theoretischen Informatik** genutzt wird.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung



Definition (Alphabet)

Ein **Alphabet** ist eine nicht-leere, endliche Menge von **Symbolen** (auch **Buchstaben** genannt).

- Alphabete werden häufig mit griechischen Großbuchstaben bezeichnet, also Γ oder Σ . Manchmal auch mit lateinischen Großbuchstaben, also N oder T .
- Ein Symbol oder »Buchstabe« kann auch ein komplexes oder komisches »Ding« sein wie ein Pointer oder ein Leerzeichen.

Beispiele

- Die Groß- und Kleinbuchstaben
- Die Menge $\{0, 1\}$ (bei Informatikern beliebt)
- Die Menge $\{A, C, G, T\}$ (bei Biologen beliebt)
- Die Zeichenmenge des UNICODE.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte
Sprachen

Zusammenfassung

Definition (Wort)

Ein **Wort** ist eine (endliche) Folge von Symbolen.

- »Worte« sind im Prinzip dasselbe wie Strings. Insbesondere können in Worten Leerzeichen als Symbole auftauchen.
- Die Menge aller Worte über einem Alphabet Σ hat einen besonderen Namen: Σ^* .
- Deshalb schreibt man oft: »Sei $w \in \Sigma^*$, ... «
- Es gibt auch ein **leeres Wort**, abgekürzt ϵ oder λ , das dem String "" entspricht.

Beispiele

- Hallo
- TATAAAATATTA
- ϵ
- Hallo Welt.



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung

5-Minuten-Aufgabe



Die folgenden Aufgaben sind nach Schwierigkeit sortiert. Lösen Sie **eine** der Aufgaben.

- 1 Schreiben Sie alle Worte der Länge höchstens 2 über dem Alphabet $\Sigma = \{0, 1, *\}$ auf.
- 2 Wie viele Worte der Länge n über dem Alphabet $\Sigma = \{0, 1, *\}$ gibt es?
- 3 Wie viele Worte der Länge höchstens n über einem Alphabet mit q Buchstaben gibt es?

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete

Worte

Sprachen

Zusammenfassung

- Natürlichen Sprachen sind komplexe Dinge, bestehend aus Wörtern, ihrer Aussprache, einer Grammatik, Ausnahmen, Dialekten, und vielem mehr.
- Bei **formalen Sprachen** vereinfacht man radikal.
- Formale Sprachen müssen weder sinnvoll noch interessant sein.

Definition (Formale Sprache)

Eine **formale Sprache** ist eine (oft unendliche!) Menge von Worten für ein festes Alphabet.

- Statt »formale Sprache« sagt man einfach »Sprache«.
- Als Menge von Worten ist eine Sprache eine Teilmenge von Σ^* .
- Deshalb schreibt man oft: »Sei $L \subseteq \Sigma^*$, ... «



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte

Sprachen

Zusammenfassung



- Ein Renderer produziert 3D-Bilder.
- Dazu erhält er eine **Szenerie** als Eingabe.
- Diese Szenerie ist als **Text**, also als ein **Wort** gegeben.
- Eine **Syntax** beschreibt die (formale) Sprache, die alle **syntaktisch korrekten Szenerien** enthält.
- Eine **Semantik** beschreibt, was diese Beschreibungen bedeuten.

Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte

Sprachen

Zusammenfassung

Formale Sprachen in der Medieninformatik

Das »Wort«, das eine Szenerie beschreibt...

```
global_settings{ assumed_gamma 1.0 }

camera{
  location <10.0, 10, -10.0>
  direction 1.5*z
  right_x * image_width / image_height
  look_at <0.0, 0.0, 0.0>
}

sky_sphere{ pigment { color rgb <0.6, 0.7, 1.0> } }

light_source{
  <0, 0, 0> // light's position (translated below)
  color rgb <1, 1, 1> // light's color
  translate <-30, 30, -30>
  shadowless
}

#declare i = 0;
#declare Steps = 30;
#declare Kugel = sphere <0, 0, 0>, 0.5 pigment { color rgb <1, 0, 0> } };

while (i < Steps)
  object { Kugel translate <3, 0, 0> rotate <0, i * 360 / Steps, 0> }
  #declare i = i + 1;
#end
```



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

Syntax
natürlicher Sprachen
Syntax von
Programmiersprachen
Syntax
logischer Sprachen

Was ist Semantik?

Semantik
natürlicher Sprachen
Semantik von
Programmiersprachen
Semantik
logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

Alphabete
Worte
Sprachen

Zusammenfassung

Formale Sprachen in der Medieninformatik

... und was es bedeutet.



Copyright Matthias Kabel, GNU Free Documentation License, Low Resolution

Syntax versus
Semantik

Till Tantau



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

- Syntax natürlicher Sprachen
- Syntax von Programmiersprachen
- Syntax logischer Sprachen

Was ist Semantik?

- Semantik natürlicher Sprachen
- Semantik von Programmiersprachen
- Semantik logischer Sprachen

**Grundlage der
Syntax: Text**

- Alphabete
- Worte
- Sprachen**

Zusammenfassung

Formale Sprachen in der Medieninformatik

Komplexeres Beispielbild, das ein Renderer produziert.



Copyright Giorgio Krenkel and Alex Sandri, GNU Free Documentation License, Low Resolution

Syntax versus
Semantik

Till Tantau



Ziele und Inhalt

Was ist Syntax?

- Syntax natürlicher Sprachen
- Syntax von Programmiersprachen
- Syntax logischer Sprachen

Was ist Semantik?

- Semantik natürlicher Sprachen
- Semantik von Programmiersprachen
- Semantik logischer Sprachen

Grundlage der Syntax: Text

- Alphabete
- Worte
- Sprachen

Zusammenfassung

