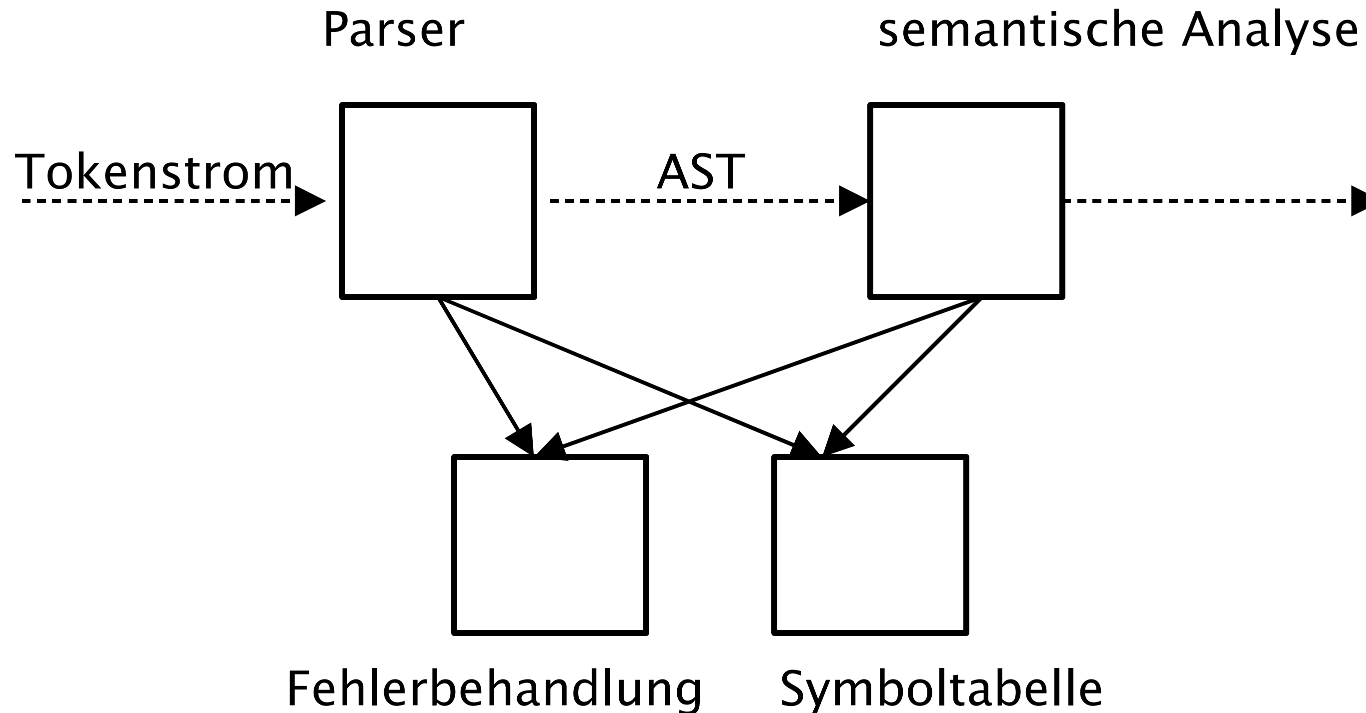
4. Kapitel
Attributierte Grammatiken
(für semantische Analyse)

Kapitel 4: AG

0. Einbettung
1. Grundbegriffe
2. Hierarchie
   - WAG, ANCAG, PAG, OAG, LAG, RAG, AAG
   - Besuchssequenzen
   - Induzierte Abhängigkeiten
3. Implementierung
4. Attributspeicherung
5. Zusammenfassung

4.0 Schnittstelle Parser – semantische Analyse



4.0 Warum AG?

- Die semantische Analyse hat nur den Strukturbaum, um Informationen zu gewinnen.
  - Programmiersprachen sind kompositionell definiert
  - Gesucht effiziente Berechnungsmethode
  - Art der Berechnungen ist abhängig vom jeweiligen Knotentyp
- Attributgrammatiken (AG) sind ein systematischer Ansatz für solche Aufgaben
  - AG erlauben eine von konkreten Berechnungsreihenfolgen unabhängige Spezifikation
  - Die Bearbeitung von XML-Bäumen ist eigentlich eine direkte Anwendung von AGs, was die meisten Leute aber nicht wissen

Kapitel 4: AG

0. Einbettung
1. Grundbegriffe
2. Hierarchie
   - WAG, ANCAG, PAG, OAG, LAG, RAG, AAG
   - Besuchssequenzen
   - Induzierte Abhängigkeiten
3. Implementierung
4. Attributspeicherung
5. Zusammenfassung

4.1 Attributgrammatiken (AG)

Verfahren zur Spezifikation der Eigenschaften von Bäumen

- Baum beschrieben durch kontextfreie Grammatik

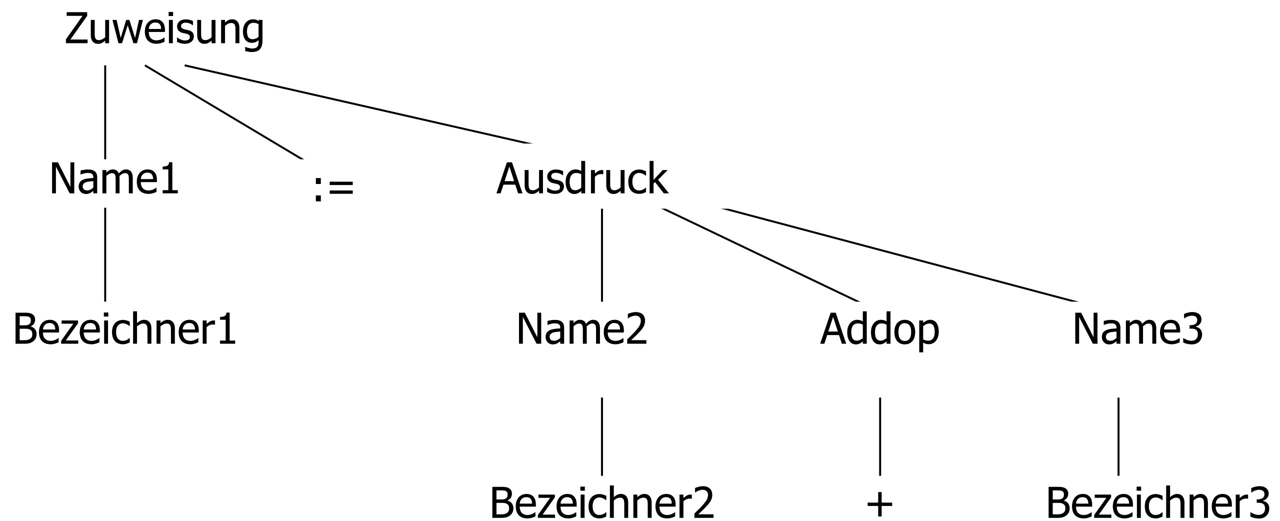
wird eingesetzt zur Spezifikation der semantischen Analyse

auch bei vielen anderen Aufgaben im software engineering zu gebrauchen

Denkschema:

- Jeder Knoten im Baum besitzt ein oder mehrere Attribute
- Attribute können vorbesetzt sein, z.B. Positionsangaben, Bezeichner: Verweis in Symboltabelle
- Attribute verschiedener Knoten zur gleichen Produktion der kfG können voneinander abhängen
- Abhängige Attribute im Kontext einer Produktion aus anderen berechnen
- Jedes Attribut wird genau einmal berechnet, sonst gibt es (im allgemeinen) Konsistenzprobleme

4.1 Beispiel (konkrete Syntax)



4.1 Beispiel AG

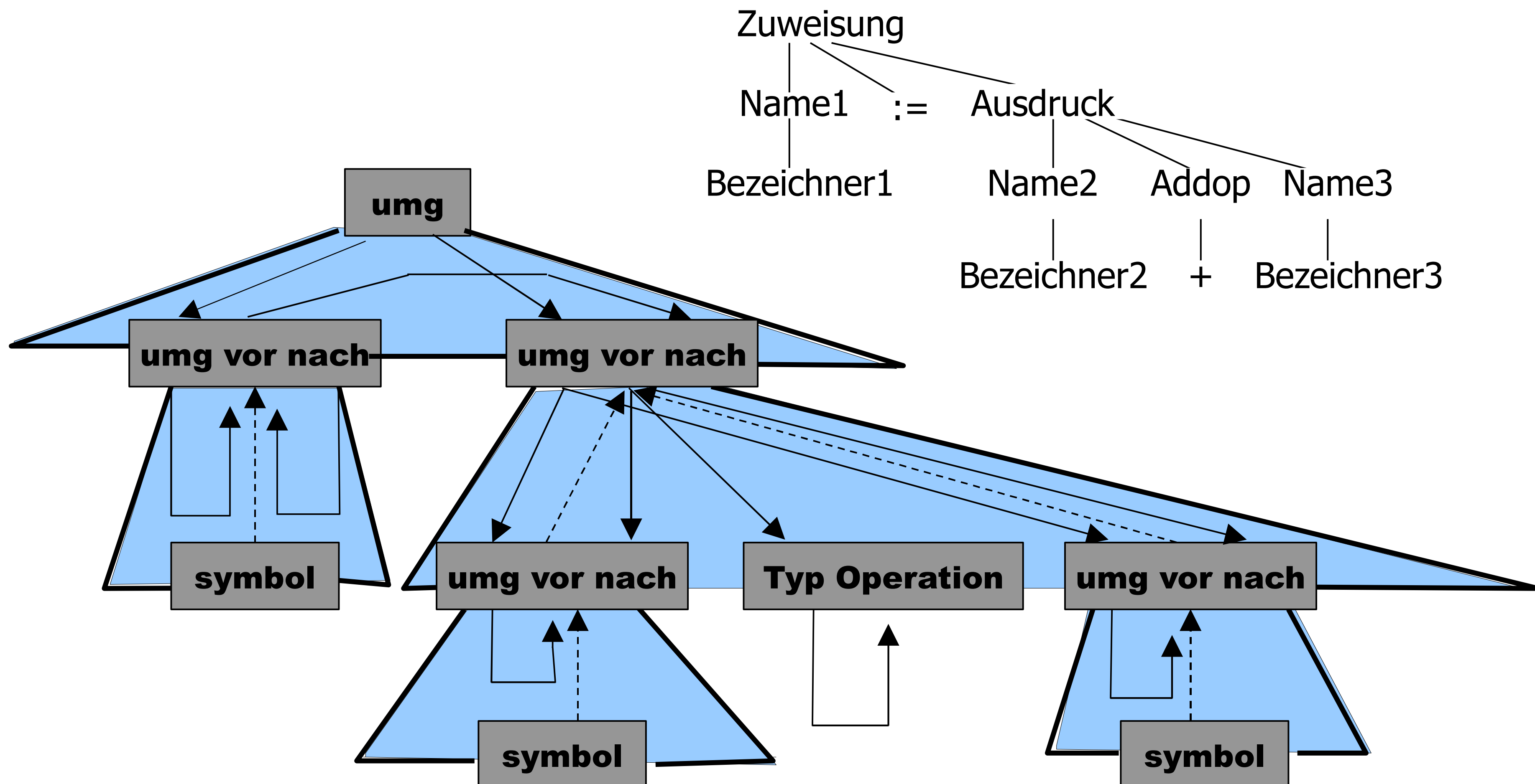
rule *Zuweisung* ::= *Name* ':= ' *Ausdruck* .
attribution
Name.umg := *Zuweisung.umg;* A*usdruck.umg* := *Zuweisung.umg;*
Name.nach := *Name.vor;*
Ausdruck.nach := **`if`** *Name.vor* = `int` **`then`** `int` **`else`** `real` **`end;`**

rule *Ausdruck* ::= *Name addop Name* .
attribution
Name[1]*.umg* := A*usdruck.umg; Name*[2]*.umg* := *Ausdruck.umg;*
Ausdruck.vor := **`if`** *anpaßbar(Name*[1] *.vor,*`int`) ^ *anpaßbar*(N*ame*[2] *.vor,* `int`) **`then`** `int`
  `else` `real` **`end;`**
addop.Typ := *Ausdruck.vor;*
Name[1]*.nach* := A*usdruck.vor; Name*[2].n*ach* := *Ausdruck.vor;*
condition *anpaßbar*(A*usdruck.vor,*A*usdruck.nach*);

rule *addop* ::= '+ ' .
attribution *addop.operation* := **`if`** *addop.Typ* = `int` **`then`** `int_add` **`else`** `real_add`
  `end;`

rule *Name* ::= *Bezeichner* .
attribution *Name.vor* := *definiert*(*Bezeichner.Symbol,Name.umg*);
condition *anpaßbar*(*Name.vor,Name .nach*);

4.1 Beispiel (abstrakte Syntax mit Attributabhängigkeit)



4.1 Attributgrammatiken D.E. Knuth 1968

$AG = (G, A, R, B)$ mit

- $G = (T, N, P, Z)$ ist eine reduzierte, kontextfreie Grammatik,
- $A = \bigcup_{X \in T \cup N} A(X)$ endliche Menge von Attributen,
- $R = \bigcup_{p \in P} R(p)$ endliche Menge von Attributierungsregeln,
- $B = \bigcup_{p \in P} B(p)$ endliche Menge von Bedingungen
- $A(X) \cap A(Y) \neq \emptyset \Rightarrow X = Y$.
- Ergebnis und Argumente der Attributierungsregeln $X_i.a := f(\ldots, X_j.b, \ldots) \in R(p)$ sind Attribute, die zu einem Nichtterminal von $p\colon X_0 \to X_1 \ldots X_n$ gehören, $0 \leq i,j \leq n$
- $AF(p) := \{X_i.a \mid p\colon X_0 \to X_1 \ldots X_n,\ 0 \leq i \leq n,\ X_i.a := f(\ldots) \in R(p)\}$ heißt Menge der in p definierten Attribute
- Jedes Attribut $X.a \in A(X)$ eines Knotens X im Strukturbaum eines Satzes der Sprache $L(G)$ mit maximal einer Regel aus R berechenbar.

4.1 Synthetisierte und ererbte Attribute

Die folgenden Mengen sind disjunkt für alle X im Vokabular von G:

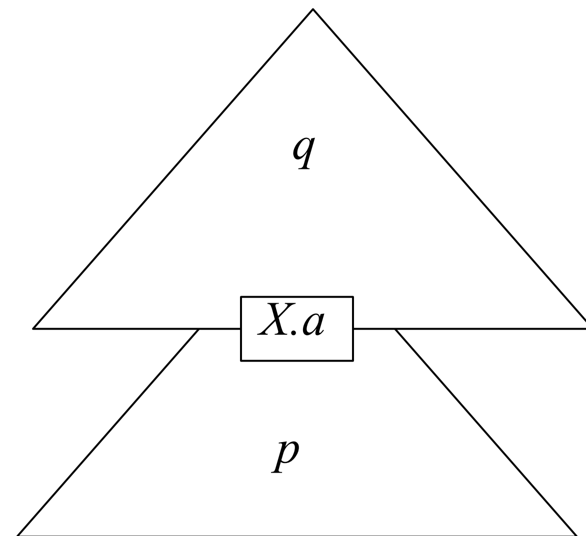
$AS(X) = \{X.a \mid \exists p: X \rightarrow X_1 \ldots X_n \in P \wedge X.a \in AF(p)\}$

$AI(X) = \{X.a \mid \exists q: Y \rightarrow uXv \in P \wedge X.a \in AF(q)\}$

Grund: Für alle $a \in A(X)$ nur eine Berechnungsregel $X.a := f(\ldots)$ in R.

Attribute in $AS(X)$ heißen
synthetisiert oder abgeleitet

Attribute in $AI(X)$ heißen
ererbt (inherited)



4.1 Vollständigkeit einer AG

Eine AG heißt vollständig, wenn

- $\forall\ p: X \rightarrow x \in P: AS(X) \subseteq AF(p)$
- $\forall\ q: Y \rightarrow \mu X n \in P: AI(X) \subseteq AF(q)$
- $AS(X) \cup AI(X) = A(X)$
- $AI(Z) = \emptyset$, wenn Z das Axiom der kfG ist

zu deutsch:

- für alle Attribute, die nicht vorbesetzt sind, gibt es eine Attributierungsregel in der „richtigen" Produktion (linksseitig bei abgeleiteten, rechtsseitig bei ererbten Attributen)
- die Baumwurzel besitzt keine ererbten Attribute

4.1 Korrekte Attributierung

Ein Strukturbaum heißt korrekt attributiert, wenn alle Bedingungen den Wert *wahr* haben.

Die Bedingung $B(p)$ einer Produktion p: $X_0 \rightarrow X_1 \ldots X_n$ kann man als Attribut $X_0.b$ der linken Seite auffassen. Faßt man dieses Attribut mit den entsprechenden Attributen $X_i.b$ aller X_i zusammen, also

$X_0.b := B(p) \wedge X_1.b \wedge \ldots \wedge X_n.b$

so ist ein Strukturbaum genau dann korrekt attributiert, wenn das Attribut $Z.b$ der Baumwurzel (des Axioms) wahr ist.

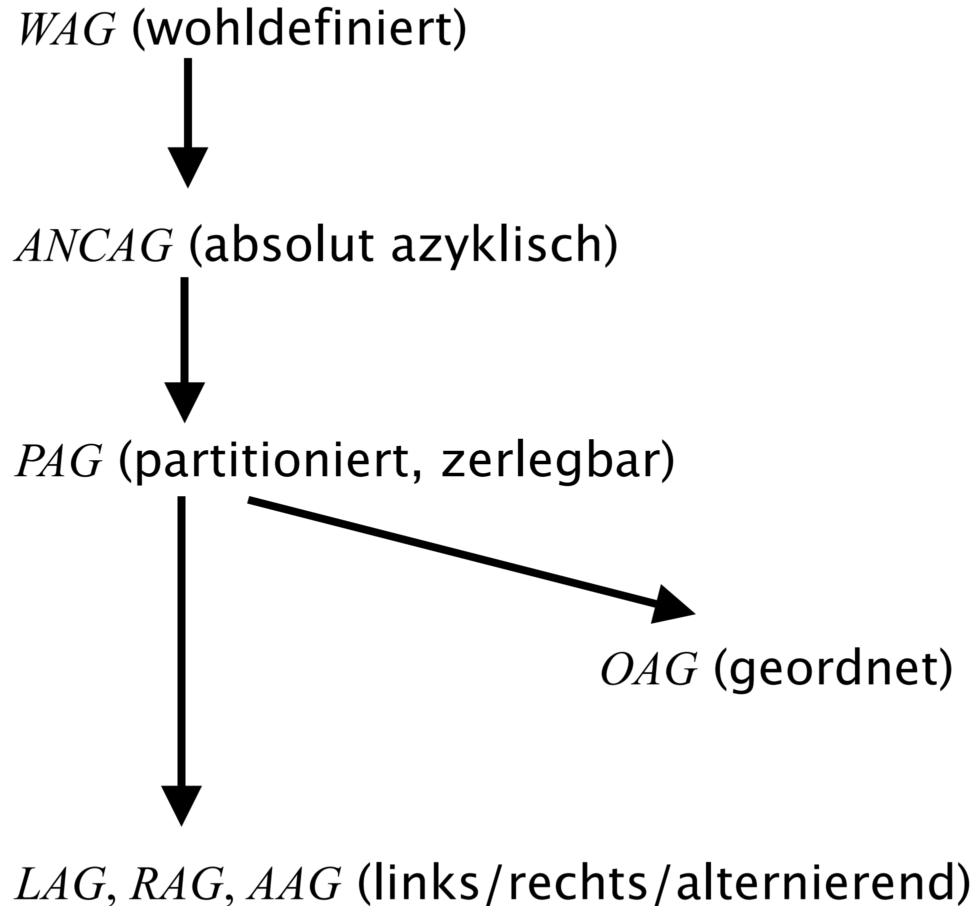
Aus diesem Grund sprechen wir im folgenden nur noch von Attributen und erfassen damit auch die Bedingungen.

Übung: Die Bedingungsattribute sind abgeleitete Attribute.

Kapitel 4: AGs

0. Einbettung
1. Grundbegriffe
2. Hierarchie
    WAG, ANCAG, PAG, OAG, LAG, RAG, AAG
    Besuchssequenzen
    Induzierte Abhängigkeiten
3. Implementierung
4. Attributspeicherung
5. Zusammenfassung

4.2 *AG* Hierarchie



4.2 Wohldefiniertheit einer *AG*: *WAG*

Eine *AG* ist wohldefiniert gdw. sie vollständig ist und für jeden Strukturbaum alle Attribute effektiv berechenbar sind.
Also: für jedes Attribut im Baum gibt es genau eine Regel. Attribute sind nicht zyklisch voneinander abhängig.

Wohldefiniertheit ist nur mit exponentiellem Aufwand nachprüfbar!

Intuitives Schema (Fang 1972): Ordne jedem Attribut $X.a$ im Baum einen Prozeß zu. Ein Prozeß wird gestartet, wenn alle Attribute $X'.b$ der Attributierungsregel $X.a := f(\ldots,X'.b,\ldots)$ bekannt sind (Synchronisierungsbedingung); nach Berechnung von $X.a$ teilt er dies allen Prozessen mit, die $X.a$ verwenden. Eine *AG* ist wohldefiniert gdw. dieses Prozeßsystem verklemmungsfrei ist.

4.2 Kriterium für *WAG*

Menge der direkten Attributabhängigkeiten einer Produktion

$p : X_0 \rightarrow X_1 \ldots X_n \in P$: $DDP(p) = \{(X_i.a, X_j.b) \mid X_j.b := f(\ldots X_i.a \ldots) \in R(p)\}$

AG heißt lokal azyklisch, wenn $DDP(p)$ azyklisch ist für alle $p \in P$.

S sei ein attributierter Strukturbaum zu einem Satz aus $L(G)$ und

$K_0 \ldots K_n$ seien Knoten im Strukturbaum zu einer Regel $p : X_0 \rightarrow X_1 \ldots X_n$.

$\boldsymbol{K_i.a \rightarrow K_j.b}$ wenn $(X_i.a,\ X_j.b) \in DDP(p)$.

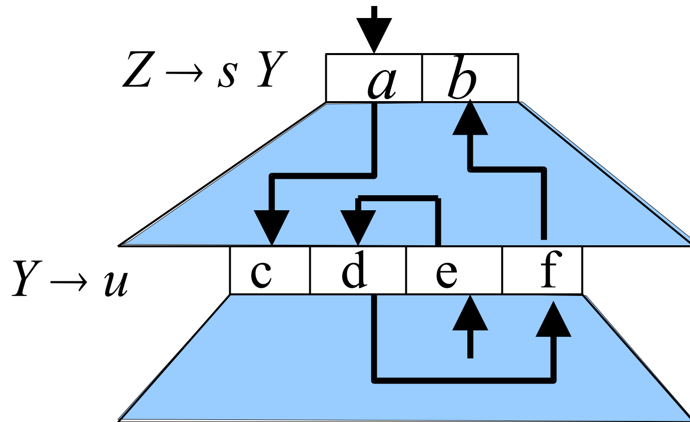
Abhängigkeiten $DT(S)$ über dem Baum S : $DT(S) = \{K_i.a \rightarrow K_j.b\}$

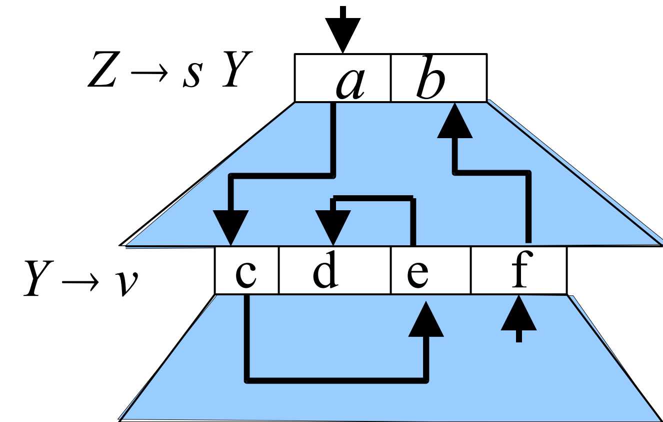
wobei alle Anwendungen von Produktionen in S berücksichtigt werden.

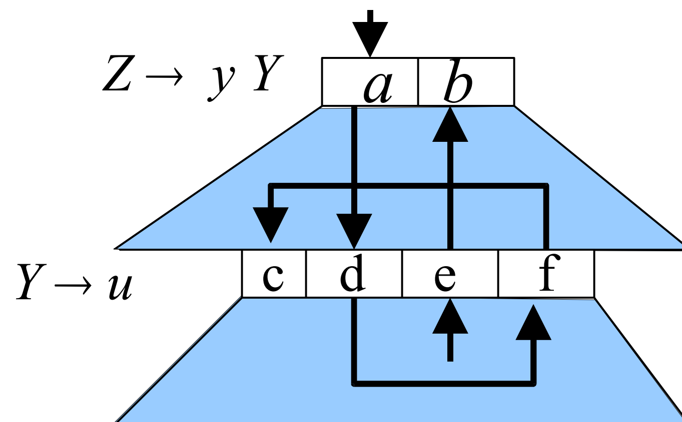
AG ist WAG gdw. sie vollständig und $DT(S)$ azyklisch ist für alle S.

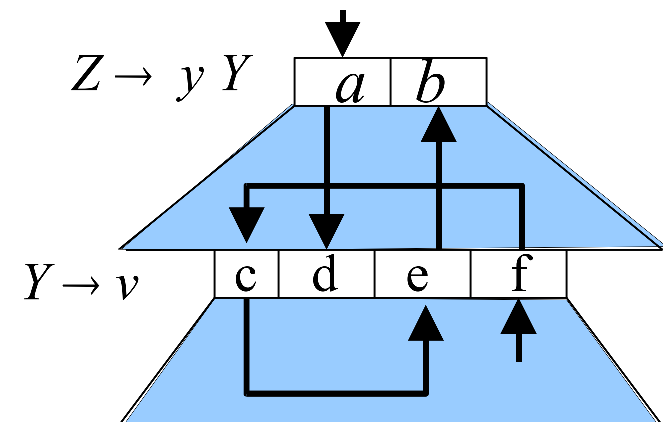
4.2 *WAG* mit 4 Ableitungsbäumen

$S \rightarrow Z$
$Z \rightarrow s\ Y \mid y\ Y$
$Y \rightarrow u \mid v$









4.2 Besuchssequenzen

Attribute werden berechnet im Kontext der

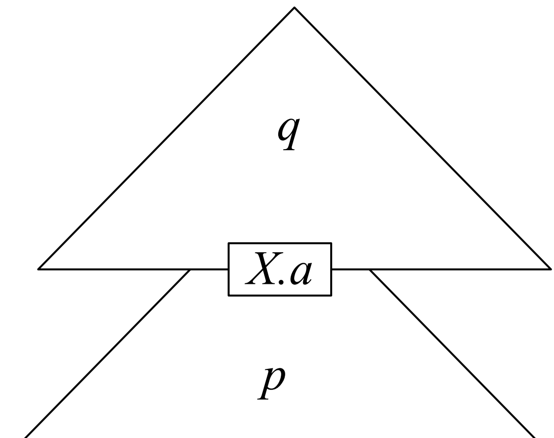
- Unterproduktion: abgeleitetes Attribut
- Oberproduktion: ererbtes Attribut

Berechnungen im Kontext p und q interagieren:

- Wenn für ererbtes (abgeleitetes) $X.a := f(...)$ Argumente aus der anderen Produktion erforderlich, zuerst die andere Produktion besuchen, um Argumente zu berechnen

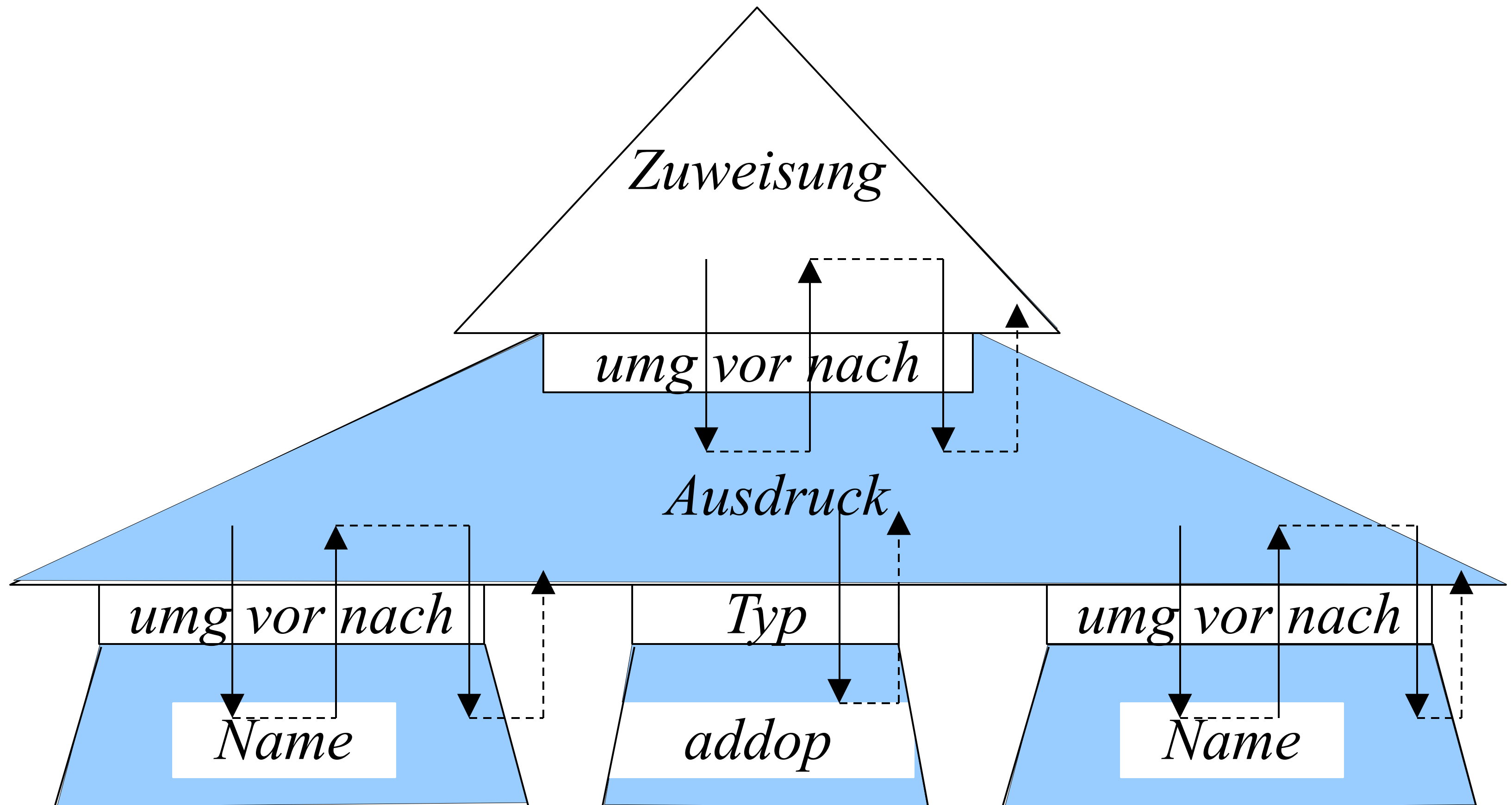
Aktivitäten an der Schnittstelle X:

- In q:
  - berechne ererbtes $X.a$
  - besuche Sohn p
- In p:
  - berechne abgeleitetes $X.a$
  - Rückkehr zum Vater



Besuchssequenz: Interaktionsprotokoll *berechne, besuche Sohn, besuche Vater*

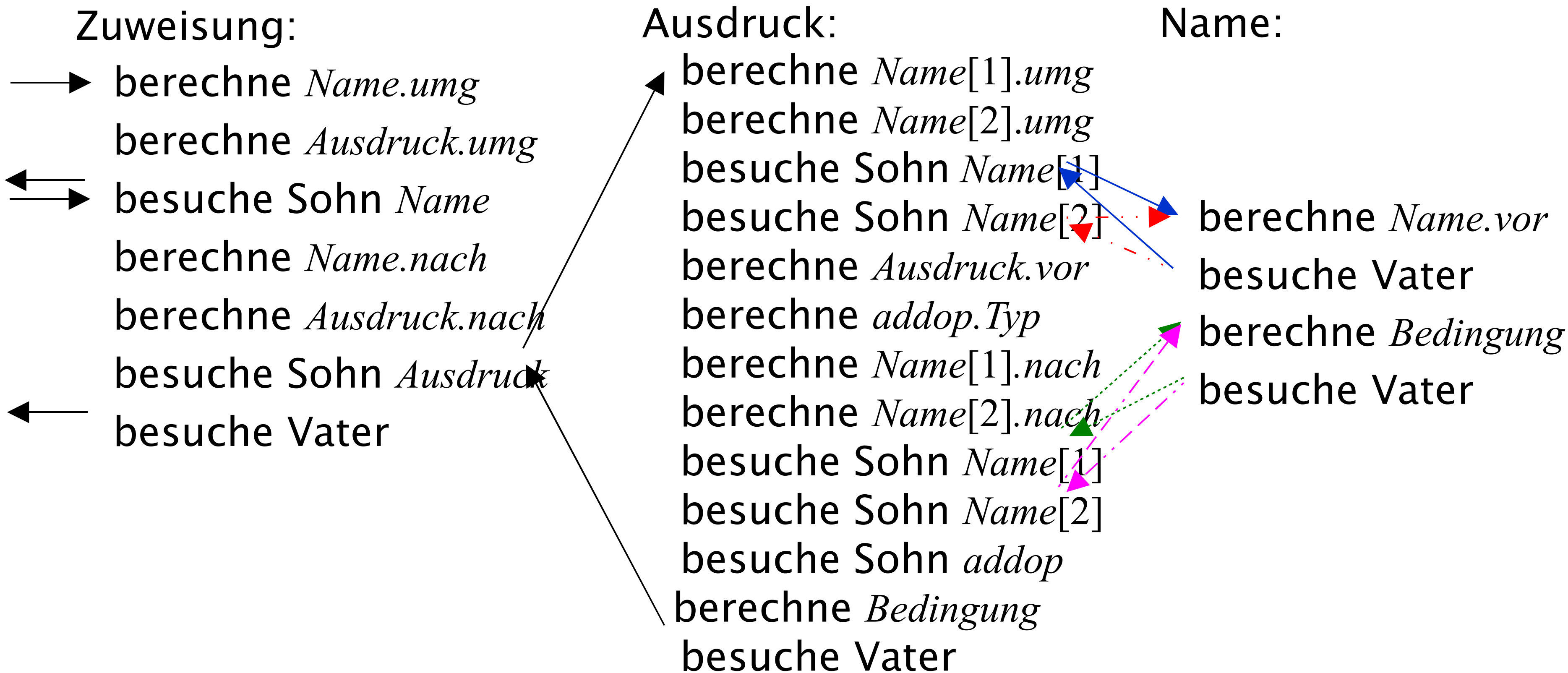
4.2 Besuchssequenzen



4.2 Beispiel Wiederholung

```
rule Zuweisung ::= Name ':= ' Ausdruck .
attribution
Name.umg := Zuweisung.umg; Ausdruck.umg := Zuweisung.umg;
Name.nach := Name.vor;
Ausdruck.nach := if Name.vor = int then int else real end;
rule Ausdruck ::= Name addop Name .
attribution
Name[1].umg := Ausdruck.umg; Name[2].umg := Ausdruck.umg;
Ausdruck.vor := if anpaßbar(Name[1] .vor,int) ^ anpaßbar(Name[2] .vor, int) then int
   else real end;
addop.Typ := Ausdruck.vor;
Name[1].nach := Ausdruck.vor; Name[2].nach := Ausdruck.vor;
condition anpaßbar(Ausdruck.vor,Ausdruck.nach);
rule addop ::= '+ ' .
attribution addop.operation := if addop.Typ = int then int_add else real_add end;
rule Name ::= Bezeichner .
attribution Name.vor := definiert(Bezeichner.Symbol,Name.umg);
condition anpaßbar(Name.vor,Name .nach);
```

4.2 Besuchssequenzen als Kommunikationsprotokoll



4.2 Induzierte Abhängigkeiten

Für alle $p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$ definiere die normalisierten direkten Abhängigkeiten

$NDDP(\mathrm{p}) = DDP(\mathrm{p})^+ \setminus \{(X_i.a, X_j.b) \mid X_i.a, X_j.b \in AF(\mathrm{p})\}$

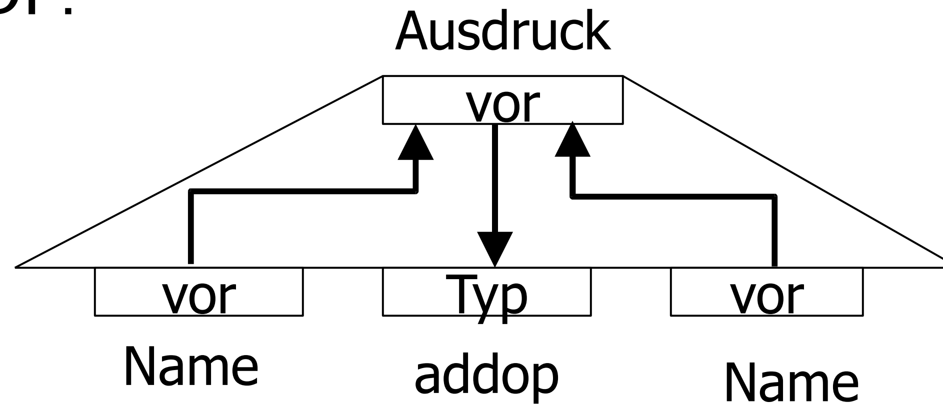
1. Für alle $p \in P$, $IDP(p) := NDDP(p)$.
2. Für alle $X \in N \cup T$, $IDS(\mathrm{X}) := \{(\mathrm{X}.a, X.b) \mid \exists q$ so daß $(\mathrm{X}.a, X.b) \in IDP(q)^+\}$
3. Für alle $p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$, $IDP(\mathrm{p}) := IDP(p) \cup IDS(\mathrm{X}_0) \cup \ldots \cup IDS(\mathrm{X}_n)$
4. Wiederhole (2) und (3) bis alle IDP und IDS unverändert bleiben.

IDP und IDS heißen induzierte Abhängigkeiten über Produktionen bzw. Symbole.

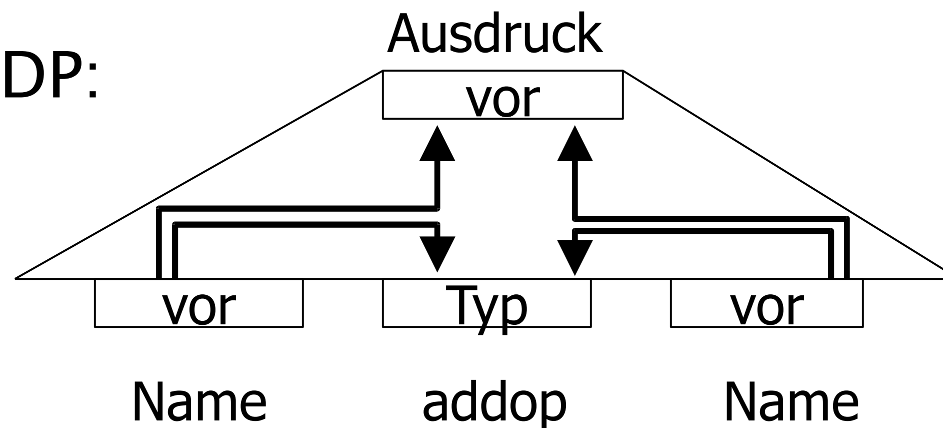
Unterschied $NDDP(\mathrm{p})$, $DDP(\mathrm{p})$: Wenn $X_i.a$ in der Produktion berechnet wird: $X_i.a := g(\ldots) \in R(p)$, dann ersetze überall die Verwendung von $X_i.a$ durch $g(\ldots)$, streiche $X_i.a$ und passe die Abhängigkeiten an (die Abhängigkeit $(X_i.a, X_j.b)$ entfällt, neue können hinzukommen).

4.2 *NDDP* und *DDP*

DDP:



NDDP:



4.2 *IDP* und *IDS* intuitiv

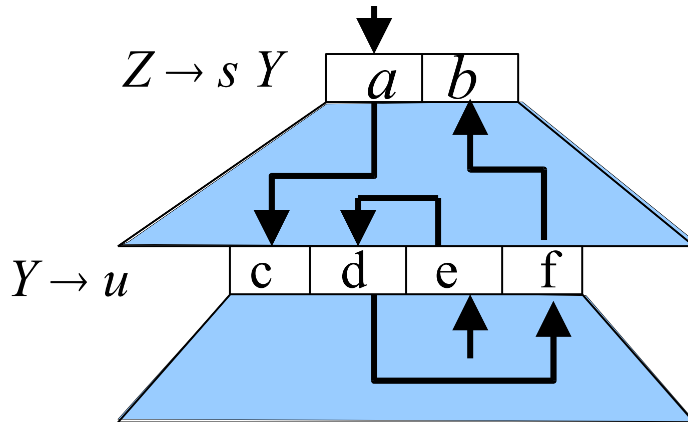
- *IDS*(*X*) enthält alle induzierten Abhängigkeiten zwischen Attributen des gleichen Nichtterminals *X* unabhängig von den Ober- und Unterproduktionen, die über *X* verbunden sind.
- *IDP*(*p*) enthält alle induzierten Abhängigkeiten zwischen Attributen der Symbole in *p* unabhängig davon, in welchem Kontext *p* im Baum erscheint.
- *IDS* und *IDP* sind pessimistische Approximationen.
  Die tatsächlich in einem Strukturbaum möglichen Abhängigkeiten werden überschätzt.

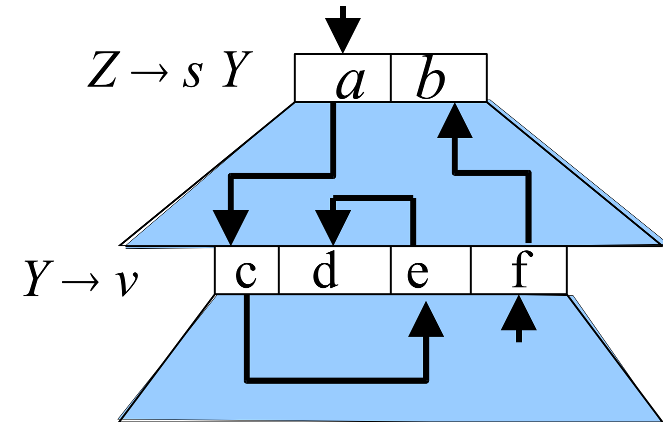
Aber: *IDS* und *IDP* sind statisch, unabhängig von den Strukturbäumen berechenbar!

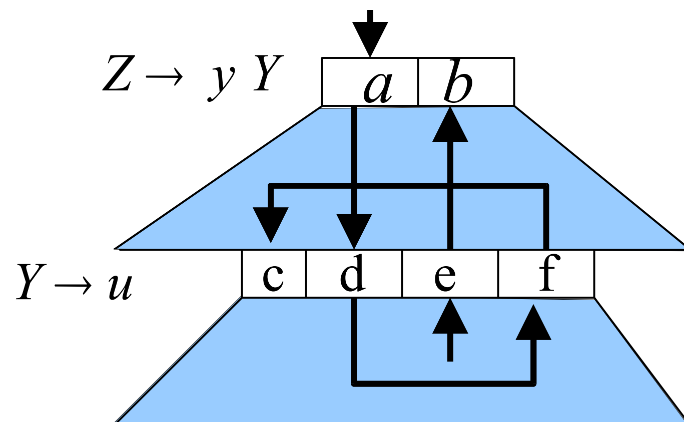
Anschaulich: Alle Abhängigkeiten aller möglichen Ableitungsbäume werden zur Gewinnung von *IDS* und *IDP* übereinandergelegt.

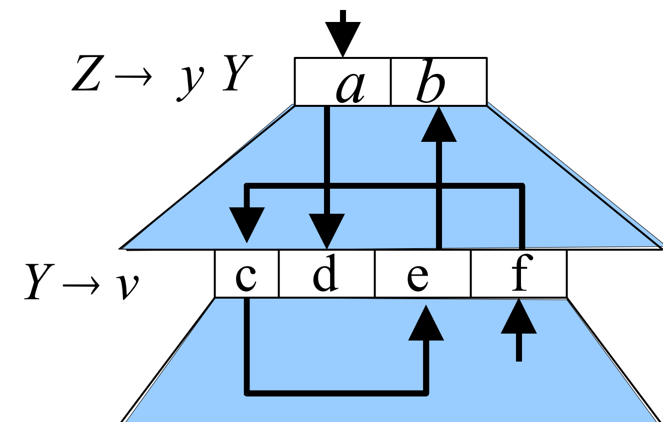
4.2 Wdh: *WAG* mit 4 Ableitungsbäumen

$S \to Z$
$Z \to s\ Y \mid y\ Y$
$Y \to u \mid v$



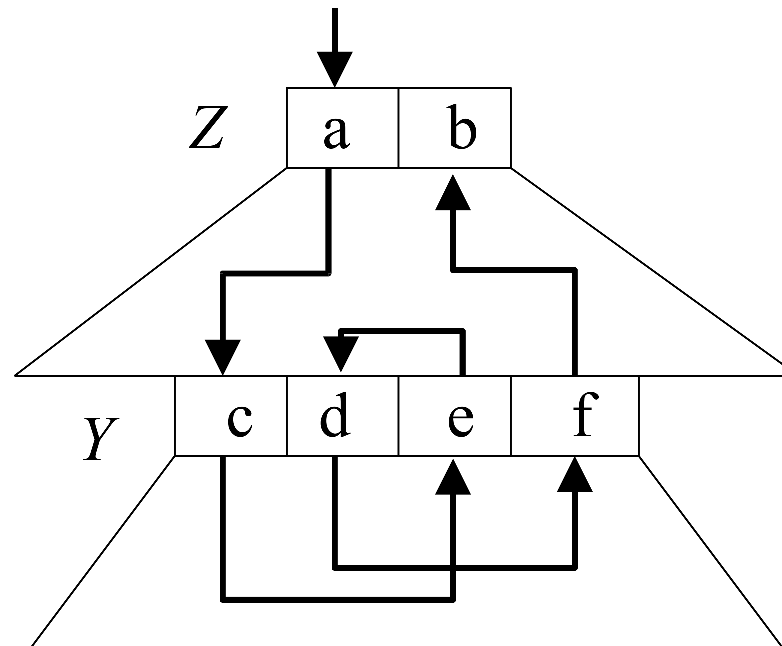






4.2 *IDP* und *IDS*

für Z:



$IDS\,(Z) = \{a \to b\}$ obwohl diese Abhängigkeit in keinem der vier konkreten Ableitungsbäume vorhanden ist.

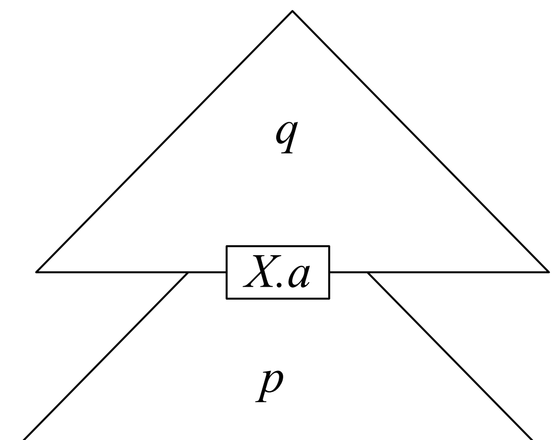
4.2 Absolut Azyklische *AG*s: *ANCAG*

Eine Attributgrammatik heißt absolut azyklisch (eine *ANCAG*), wenn

- $IDS(X)$ azyklisch für alle Symbole $X \in N \cup T$
- $IDP(p)$ azyklisch für alle Produktionen $p \in P$.

Bei absolut azyklischen Attributgrammatiken hängt die Besuchssequenz vom Paar p,q ab, das über ein Nichtterminal X verbunden ist.

Eigenschaft mit polynomiellem Aufwand prüfbar!



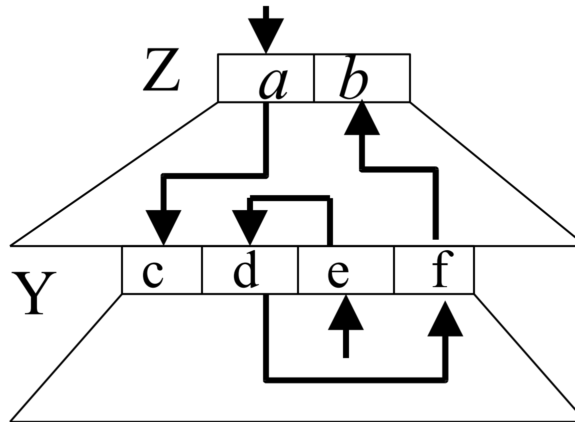
4.2 Wohldefiniert, aber nicht *ANCAG*

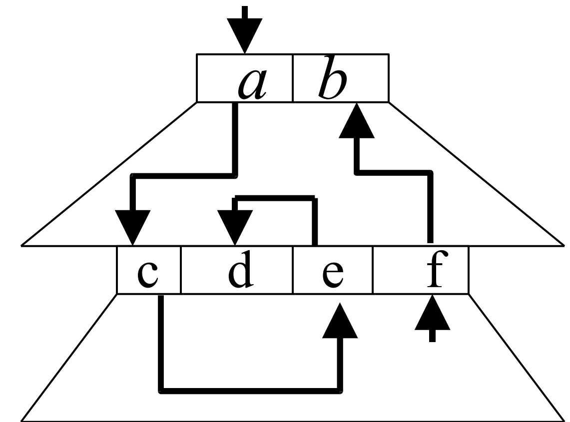
Hier noch mal unser Beispiel. Obwohl jeder Ableitungsbaum nur azyklische Abhängigkeiten hat, ist die AG nicht ANCAG. Siehe nächste Folie.

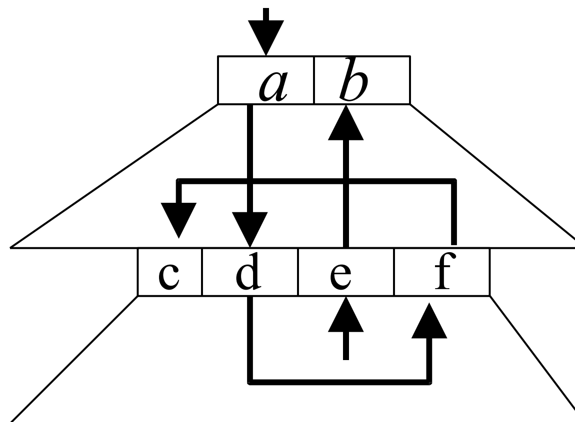
$S \rightarrow Z$

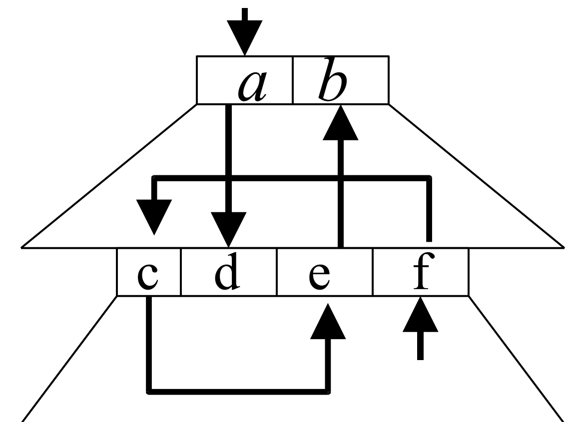
$Z \rightarrow s\ Y \mid y\ Y$

$Y \rightarrow u \mid v$





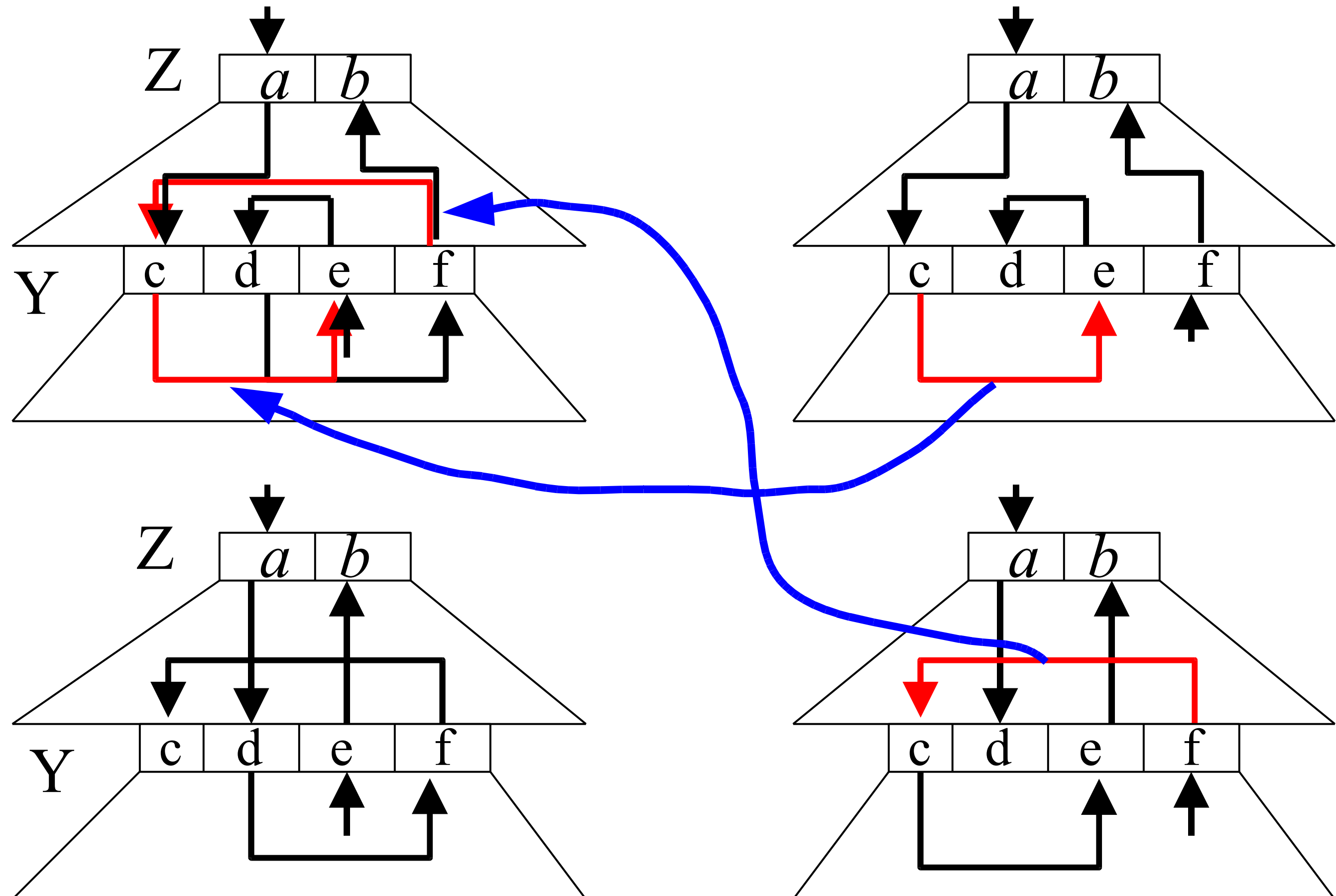




4.2 Wohldefiniert, aber nicht *ANCAG*

$IDS(Y)$ zyklisch (entstanden durch Übereinanderlegen), obwohl in keinem konkreten Ableitungsbaum eine zyklische Abhängigkeit vorhanden:

$S \rightarrow Z$
$Z \rightarrow s\ Y \mid y\ Y$
$Y \rightarrow u \mid v$



4.2 Partitionierbare (zerlegbare) *AG*: *PAG*

Eine Partitionierung $A_1(X), \ldots, A_m(X)$ der Attribute $A(X)$, $X \in N \cup T$, heißt zulässig, wenn für alle X,

- $A_i(X) \subseteq AS(X)$ für $i = m, m - 2, \ldots$, und
- $A_i(X) \subseteq AI(X)$ für $i = m - 1, m - 3, \ldots$.

Eine *AG* heißt partitionierbar (zerlegbar), wenn sie lokal azyklisch ist und für alle X eine zulässige Partitionierung existiert, so daß die Attributmengen immer in der Reihenfolge $A_1(X), \ldots, A_m(X)$ ausgewertet werden können (unabhängig von den Produktionen, in denen X vorkommt!).

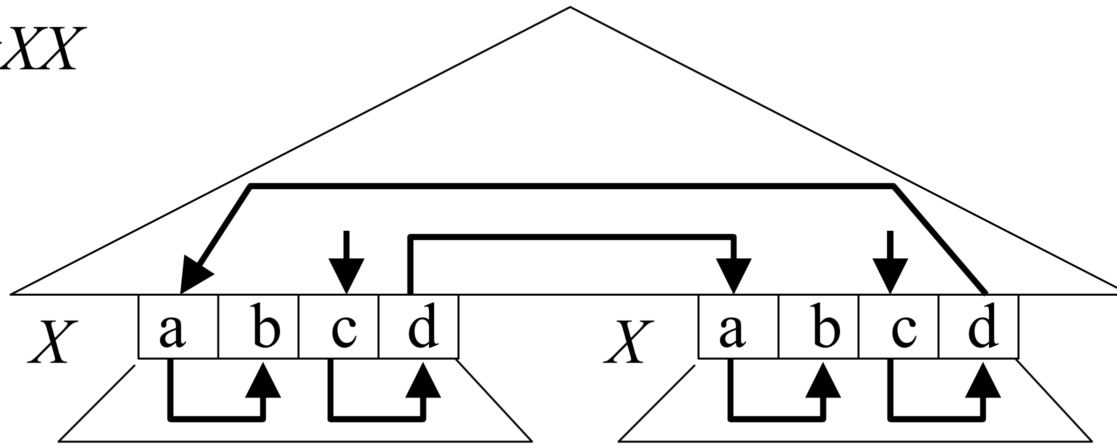
Beachte: $m = m(X)$ ist von dem Nichtterminal X abhängig, $A_m(X) \in AS(X)$!

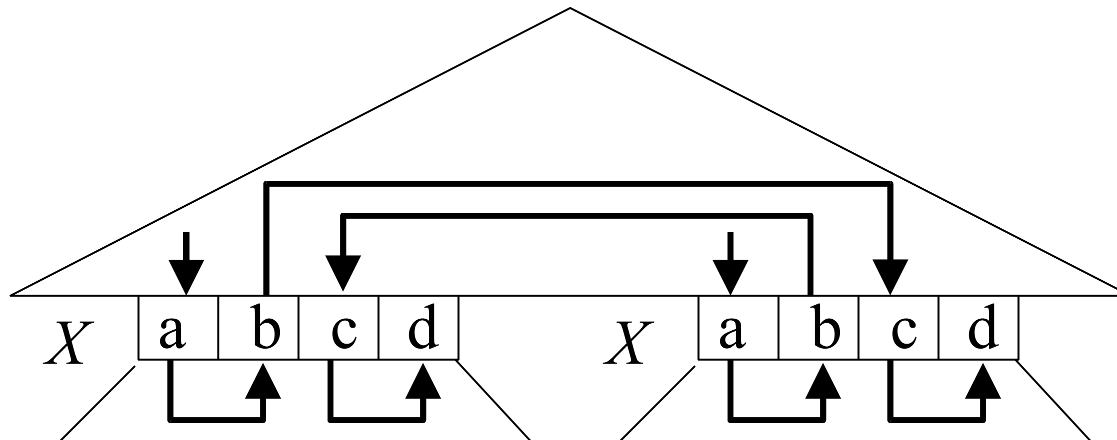
Bei *PAGs* ist die Berechnungsreihenfolge unabhängig vom Strukturbaum: Attributauswerter statisch konstruierbar.

Aber: Prüfung der Eigenschaft *PAG* ist *NP*-vollständig!

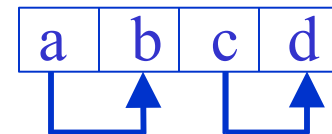
4.2 *ANCAG*, aber nicht *PAG*

$Z \rightarrow sXX \mid tXX$
$X \rightarrow u$





IDS(*X*)



aber:
Berechnungs-
reihenfolge
(a,b)/(c,d)
unterschiedlich

4.2 Abhängigkeiten über Produktionen

Für alle X sei eine zulässige Zerlegung $A_1(X), \ldots, A_m(X)$ gegeben.

Für alle $p: X_0 \rightarrow X_1 \ldots X_n \in P$ ist

$$DP(p) = IDP(p) \cup \{(X_i.a, X_i.b) \mid a \in A_j(X_i), b \in A_k(X_i), 0 \leq i \leq n, j < k\}$$

die Abhängigkeitsrelation über der Produktion p.

Satz: AG ist zerlegbar, gdw. $DP(p)$ azyklisch für alle $p \in P$.

4.2 Geordnete Attributgrammatiken: *OAG*

Eine AG heißt geordnet,
wenn faule Auswertung eine zulässige Partitionierung liefert:

Sei $T_{-1}(X) = T_0(X) = \emptyset$ und für $k > 0$

$$T_{2k-1}(X) = \{a \in AS(X) \mid (a,b) \in IDS(X) \Rightarrow b \in T_j(X),\ j \leq 2k-1\}$$

$$T_{2k}(X) = \{a \in AI(X) \mid (a,b) \in IDS(X) \Rightarrow b \in T_j(X),\ j \leq 2k\}$$

Definiere Partitionierung $A_i(X) = T_{m-i+1}(X) \setminus T_{m-i-1}(X)$ für $i = 1,\ldots,m$

m ist minimal mit der Eigenschaft $T_{m-1}(X) \cup T_m(X) = A(X)$.

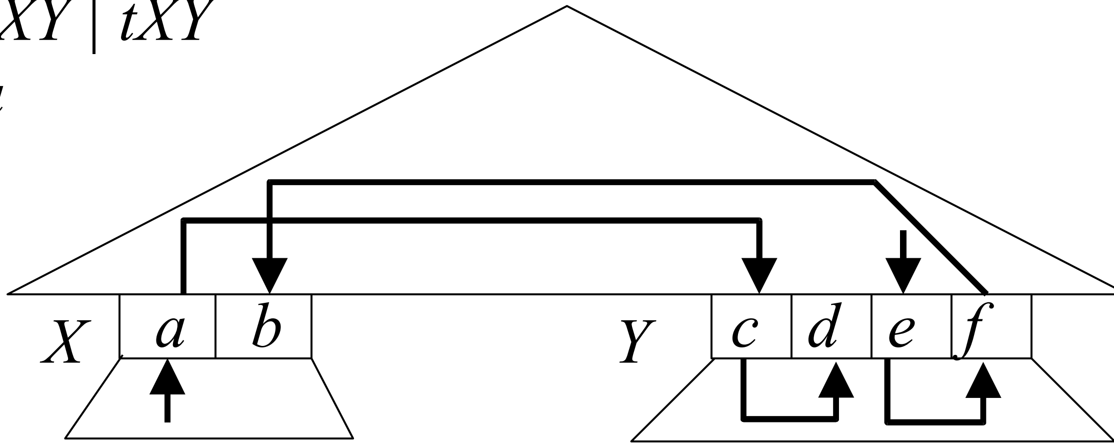
m ist abhängig von X, einige $T_k(X)$ könnten leer sein.

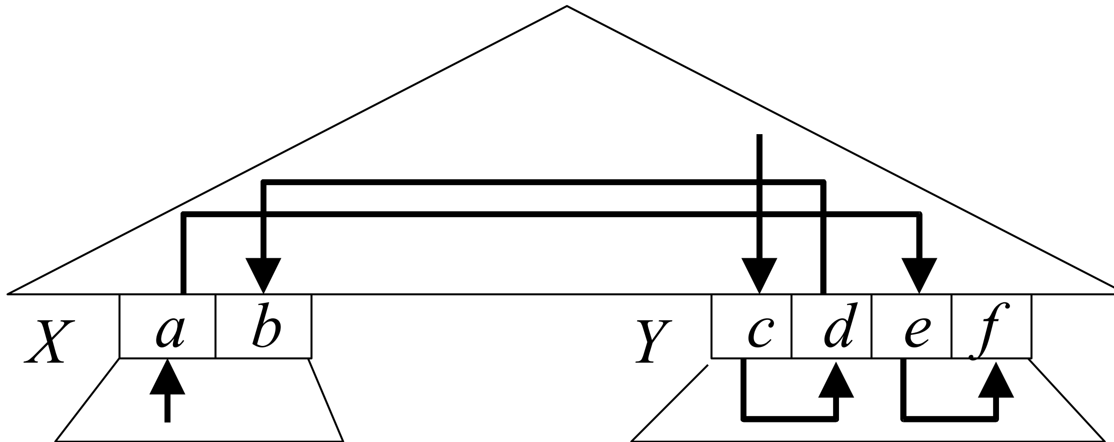
Die *OAG*-Eigenschaft ist mit polynomiellem Aufwand nachprüfbar.

Konstruktionsprinzip: in $T_h(X)$ werden alle Attribute a aufgenommen,
von denen nur Attribute $b \in T_j(X),\ j \leq h,$ abhängen.
Also: $A_i(X)$ enthält alle Attribute, die zu keinem $A_j(X)$, $i<j$, gehören dürfen (faule Auswertung).

4.2 Zerlegbar, aber nicht geordnet

$Z \rightarrow sXY \mid tXY$
$X \rightarrow u$
$Y \rightarrow v$





Zerlegung (PAG):

$A_1(X) = \{a\}, A_2(X)=\{b\}, A_3(X)=\{\}$
$A_1(Y) = \{c,e\}, A_2(Y) = \{d,f\}$

OAG konstruiert aber

$A_1(X) = \{b\}, A_2(X)=\{a\}$

mit Zyklen

$b \rightarrow a \rightarrow \{c,e\} \rightarrow \{d,f\} \rightarrow b$

in DP

Offenbar gibt es eine Zerlegung, aber der OAG Algorithmus findet sie nicht.

4.2 Erweiterung $PAG \rightarrow OAG$

Satz: Jede *PAG* kann durch Zufügen zusätzlicher Abhängigkeiten zu einer geordneten AG gemacht werden.

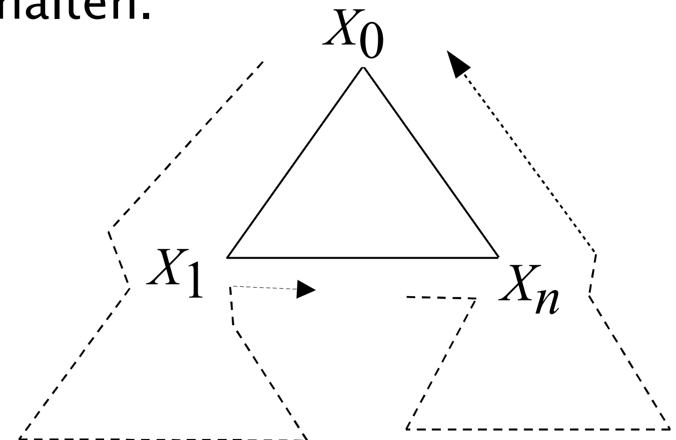
Beweisidee: *OAG* bedeutet „Berechnung so spät wie möglich”. Wenn die gegebene Partitionierung ein Attribut zu früh berechnet, so kann man durch Zufügen einer an sich nicht vorhandenen Abhängigkeit erzwingen, daß das Attribut später berechnet wird.

Beispiel: füge auf der vorangehenden Folie eine Abhängigkeit $a \rightarrow b$ hinzu. Dann wird b nach a berechnet.

4.2 $LAG(1)$ – Attributgrammatik

Eine AG ist links abwärts berechenbar, eine $LAG(1)$, wenn für jede Produktion $p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$ die Attribute in der Reihenfolge $AI(X_0), AI(X_1), AS(X_1), AI(X_2), \ldots, AS(X_n), AS(X_0)$ berechnet werden können.

- Eine $LAG(1)$ ist während einer LL-Zerteilung auswertbar.
- Eine $LAG(1)$ entspricht dem intuitiven Begriff eines Übersetzerlaufs.
- In der Praxis Variationen möglich, aber Grundprinzip links-abwärts bleibt erhalten.
- $LAG(1)$ von Hand programmierbar.



4.2 $LAG(k)$ – Attributgrammatik

Eine AG ist $LAG(k)$, wenn für jede Produktion
$p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$ die Attribute in Gruppen $G_1,\ldots,G_k$ so zerlegt werden können, daß die Gruppen nacheinander und die Attribute jeder Gruppe nach dem $LAG(1)$–Schema berechnet können.

Entspricht dem intuitiven Begriff mehrerer Übersetzerpässe.

Erforderlich, da $LAG(1)$ fast nie ausreicht.

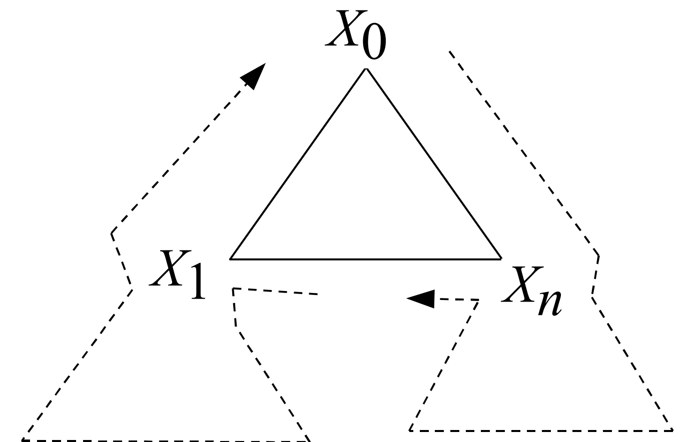
4.2 *RAG*(1) – Attributgrammatik

Eine AG ist rechts abwärts berechenbar, eine $RAG(1)$, wenn für jede Produktion $p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$ die Attribute in der Reihenfolge $AI(X_0)$, $AI(X_n)$, $AS(X_n)$, $AI(X_{n-1})$, . . . , $AS(X_1)$, $AS(X_0)$ berechnet werden können.

Wichtiges Prinzip, wenn die Daten nicht vollständig im Speicher gehalten werden können.

Methode, um Information von hinten nach vorne zu bringen:

- früher wichtig mit Magnetbändern als Zwischenspeicher
- $RAG(1)$ von Hand programmierbar.



4.2 $RAG(k)$ – Attributgrammatik

Eine AG ist $RAG(k)$, wenn für jede Produktion $p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$ die Attribute in Gruppen $G_1,\ldots,G_k$ so zerlegt werden können, daß die Gruppen nacheinander und die Attribute jeder Gruppe nach dem $RAG(1)$–Schema berechnet können.

4.2 Alternierende Attributgrammatiken, $AAG(k)$

Eine AG ist eine alternierende AG, eine $AAG(k)$, wenn für jede Produktion
$p : X_0 \to X_1 \ldots X_n \in P$ die Attribute in Gruppen $G_1,\ldots,G_k$ so zerlegt werden können, daß die Attribute jeder Gruppe abwechselnd nach dem $LAG(1)$–Schema und dem $RAG(1)$–Schema berechnet können, also G_1 $LAG(1)$, G_2 $RAG(1)$, usw.

- früher: vorwärts auf Band schreiben, rückwärts lesen und vorwärts schreiben, usw.
- $AAG(k)$ ist die allgemeinste Form der $(L/R)AG(k)$. Bei wahlfreiem Zugriff simuliert die Berechnung von mehreren Gruppen von Attributmengen $AI(X_0), AI(X_n), AS(X_n), AI(X_{n-1}), \ldots,$ $AS(X_1), AS(X_0)$ in beliebiger Reihenfolge eine $AAG(k)$
- $AAG(k)$ ist von Hand programmierbar.

4.2 Beispiele

Ein Einpaß-Übersetzer, der an die Syntaxanalyse mit rekursivem Abstieg die semantische Analyse und Codeeerzeugung unmittelbar anschließt (kein expliziter Strukturbaum), setzt eine $LAG(1)$-Attributierung voraus

- Beispiel: Züricher Pascal-, Modula- und Oberon-Übersetzer
- Notwendig:
  - Vereinbarung vor erster Verwendung eines Bezeichners
  - Vorvereinbarung von Sprungmarken und verschränkt rekursiven Prozeduren, usw.

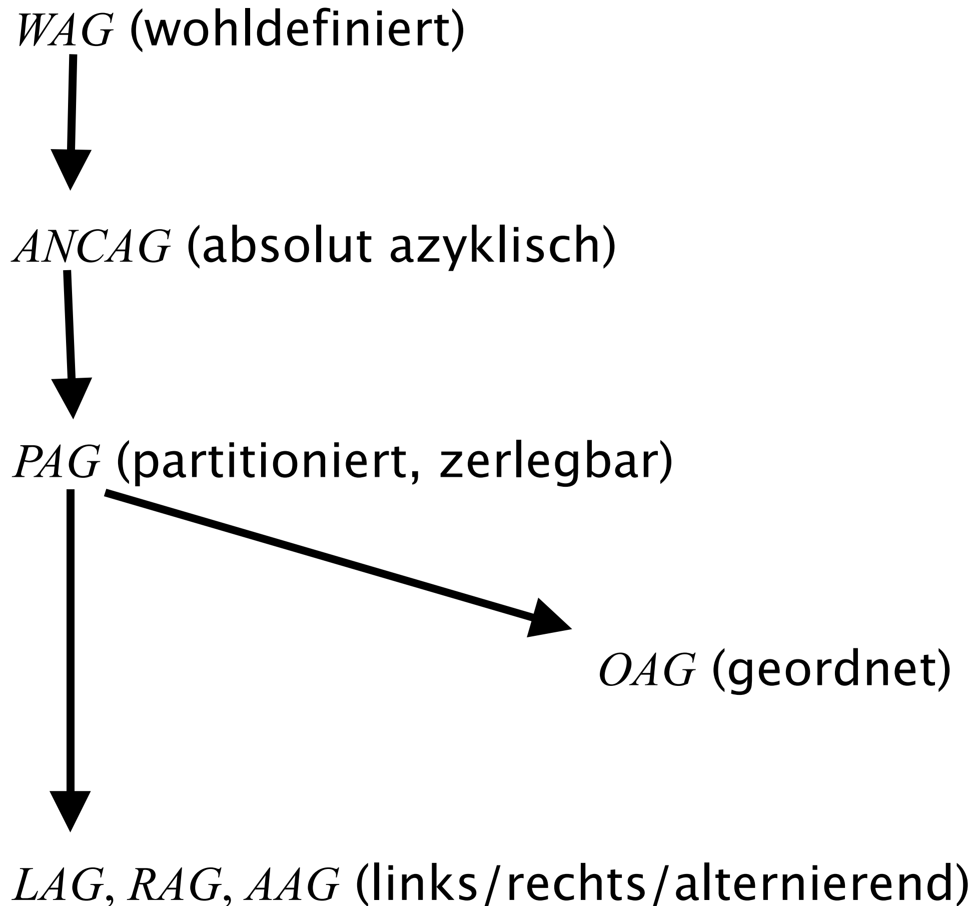
fast alle Sprachen benötigen k=2,3 oder 4. Höheres k immer nur lokal für einzelne Sprachelemente nötig

- Daher ist eine OAG meist kostengünstiger: sie spart Baumdurchläufe. Sie ist auch systematischer zu entwerfen:

Denken in $LAG(k)$ oder $AAG(k)$ führt zu schlechtem Entwurf:

- Zuerst wird k zu klein angenommen (Pascal benötigt tatsächlich k=4!)
- Nach Korrektur Neuentwurf nötig, um Attribute vernünftig auf die Gruppen zu verteilen.

4.2 *AG* Hierarchie (Wdh)



Kapitel 4: AGs

0. Einbettung
1. Grundbegriffe
2. Hierarchie
   - WAG, ANCAG, PAG, OAG, LAG, RAG, AAG
   - Besuchssequenzen
   - Induzierte Abhängigkeiten
3. Implementierung
4. Attributspeicherung
5. Zusammenfassung

4.3 Entwurfsprobleme

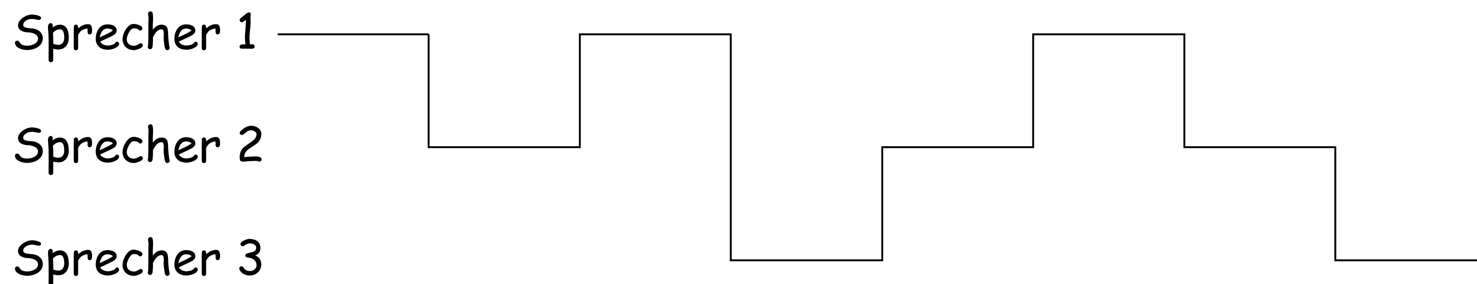
- AG korrekt entwerfen: systematischer Ansatz mit Begutachtung Spezifikation gegen Sprachbeschreibung nötig.
- AG mit geeigneten Werkzeugen als Prototyp implementierbar
  - Test der AG billiger, Testaufwand Implementierung geringer
- Spezifikation sehr umfangreich (> 100 S. für große Sprachen). Viele Vereinfachungen möglich (hier nicht behandelt)
- In Datenabhängigkeiten, nicht in Ablaufreihenfolgen denken: OAG statt $LAG(k)$ benutzen.
- Speicheraufwand sehr groß: Zu viele Bytes/Knoten des Strukturbaums. Dazu Anzahl Attribute reduzieren:
  - zuerst die für die Weiterverarbeitung (Transformation, Codeerzeugung) unbedingt nötigen Attribute bestimmen, erst dann die für die semantische Analyse zusätzlich nötigen Attribute.

4.3 Implementierungsprobleme

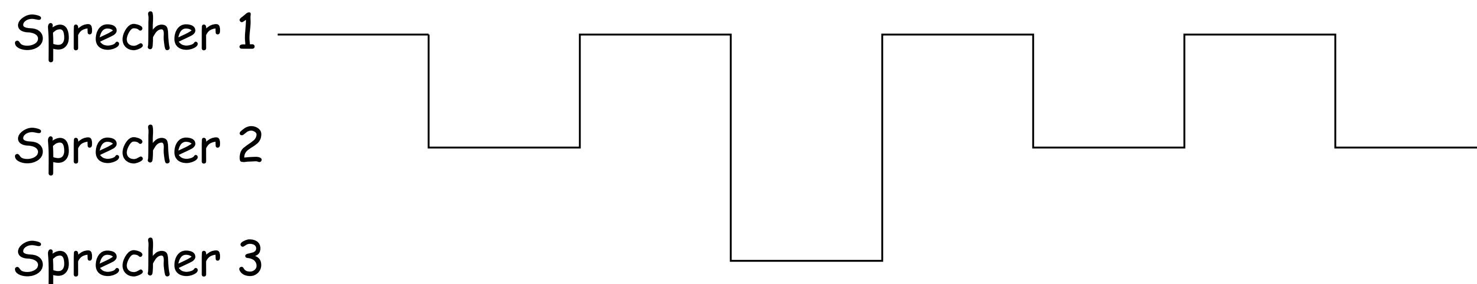
- Interaktion zwischen den Attributierungen verschiedener Produktionen: Implementierung des Besuchsprotokolls durch Koroutineninteraktion
- Speicherprobleme:
  Gegenmaßnahmen in der Implementierung:
  - Attribute möglichst lokal und nicht auf Dauer im Baum speichern. Benutzung von Kellern und globalen Variablen.
  - Kontextinformationen in globale Tabellen statt in den Baum.
  - Kopieren von Attributen zwischen Nachbarknoten vermeiden.

4.3 Exkurs Koroutinen (1)

Symmetrische Koroutinen (strenges Wechselgespräch):



Asymmetrische Koroutinen (strenges Wechselgespräch mit Dirigent):

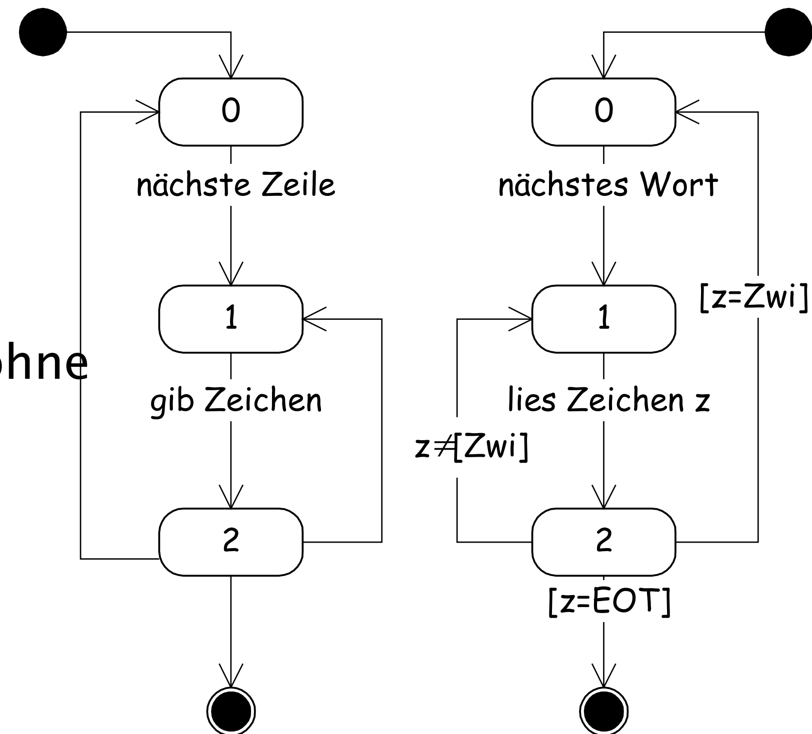


4.3 Exkurs Koroutinen (2)

Gegeben: Text mit $n \geq 0$ Zeilen zu 80 Zeichen;
die letzte Zeile kann kürzer sein.

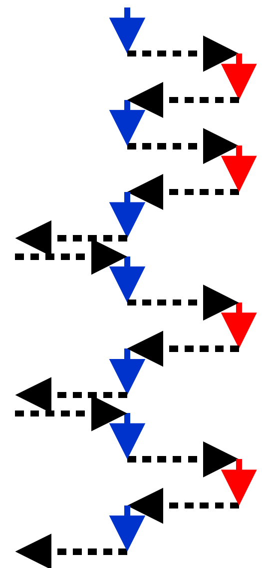
Der Text besteht aus Wörtern,
die durch einen Zwischenraum
getrennt sind.
Die Zeilen sind vollgeschrieben; Wörter,
die nicht vollständig passen, werden ohne
Trennzeichen auf der nächsten
Zeile fortgesetzt.

Wir wollen die Anzahl der Wörter zählen.

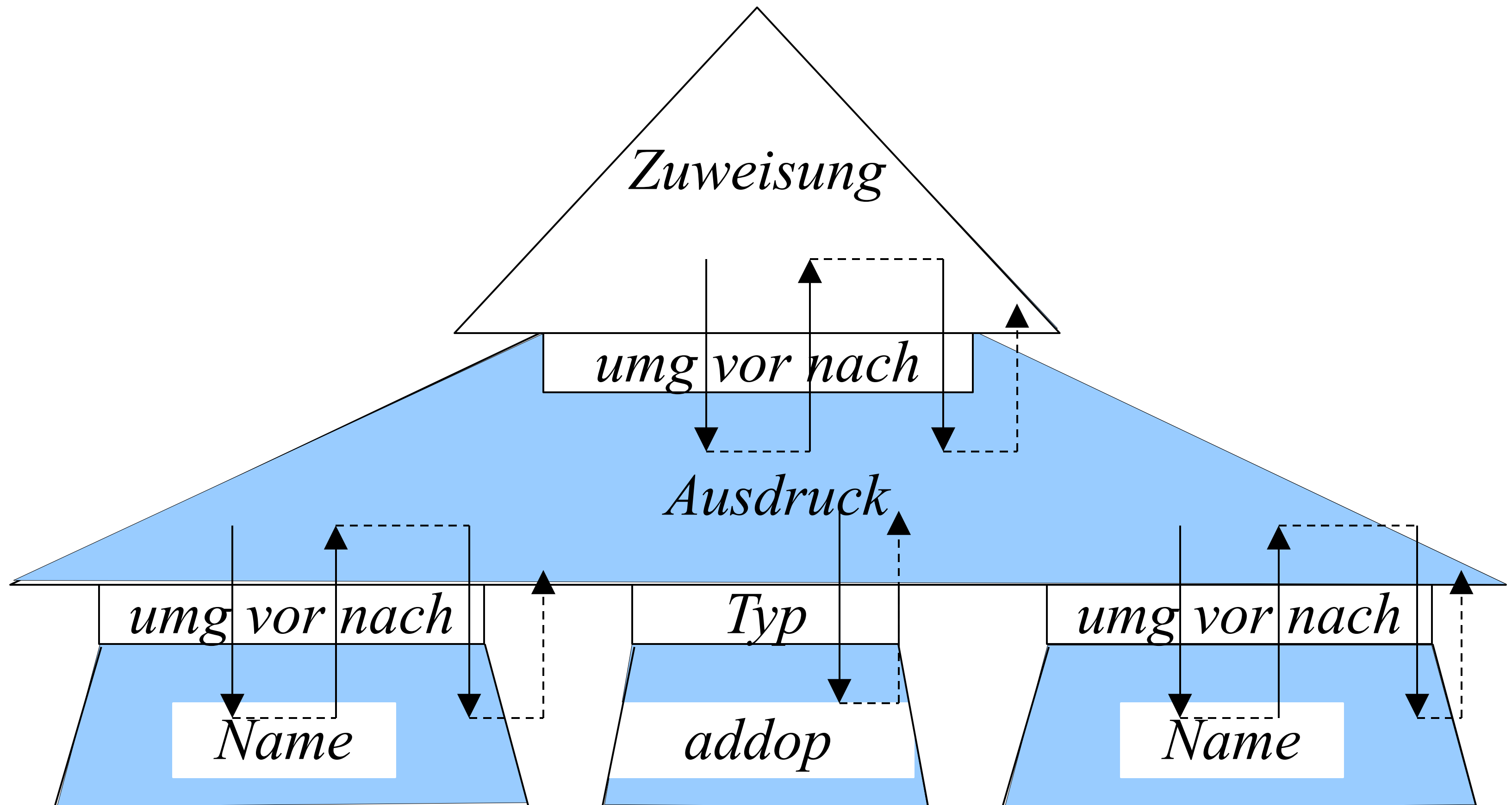


4.3 Implementierung von Koroutinen

- Grundverfahren in Simula 67: Koroutineninteraktion durch Aktion *resume*: Unterprogrammsprung auf Rückkehradresse
- Implementierung durch ereignisgesteuerte Fäden (threads):
  - Bei *resume* Fortsetzungsereignis an den betroffenen Nachbarfaden schicken.
  - Nachteil: In vielen Sprachen nicht möglich, bei weitem zu viele Fäden (pro Produktion im Strukturbaum einer)
- Implementierung durch Programminversion (Michael Jackson):
  - Jede Koroutine an den *resume*–Punkten aufschneiden. Aus jedem Stück eine Prozedur machen (oder eine Prozedur mit Fallunterscheidung)
  - Programminversion auch für andere Anwendungen einsetzbar



4.3 Besuchssequenzen



4.3 Implementierung AST Ausdruck

```
public class Expression extends Thread {
    Name n1, n2;        /*AST Knoten*/
    Addop a;
    Node parent;
    Type vor;        /*Attribute*/
    Postmode nach;
    Environment umg;
    MyThread t=null;
    /*AST Initialisierung*/
    Expression (Name n1, n2, Addop a, Node parent){
        this.N1 = n1;
        this.N1 = n2;
        this.a = a;
        this.parent = parent;
    }
```

4.3 Implementierung `resume`

```
/* Dezentrales resume */

public void resume_computation (){
if ( MyThread == null ) start();
   /*Erstmaliger Aufruf startet run()*/

   else t.resume();         /*Jeder weitere Aufruf*/

  currentThread.Suspend();  /*legt Aufrufer schlafen*/
}                           /*Aufrufer: n1,n2,a,oder parent*/
```

4.3 Implementierung Attributberechnung

```
/*Aktivität des Thread*/
public void run() {
  t=currentThread();              /*Merkt sich die ThreadId*/
  n1.umg=umg;                     /*Berechne n1.umg*/
  n1.resume_computation ();       /*Startet n1 Thread,
                                    legt sich selbst schlafen*/
  n2.umg=umg;                     /*etc. */
  n2.resume_computation ();
  vor = bestimme_Grundtyp(n1.vor, n2.vor);
  parent.resume_computation ();
  n1.nach=vor;
  n1.resume_computation ();
  a.Typ=vor;
  a.resume_computation ();
  n2.nach=vor;
  n2.resume_computation ();
  parent.resume_computation ();
}
```

4.3 Programminversion

Ersetze `node.resume()` durch `node.evaluate-attributes(`K`)`.

Ersetze `parent.resume()` durch `return()`.

Für jedes Symbol X

```
public class x extends Node{
  node n1, n2, ... , parent; -- AST
  Attributes a1, a2, ... ;  --Atribute von x
  evaluate-attributes(int k){
  if (k=0){
     /* Attributauswertung bis zum 1. parent.resume()*/
     return ();
  }
  else if (k=1){
     /* Attributauswertung bis zum 2. parent.resume()*/
     return ();
  }
  ...
  else if (k=n){
     /* Attributauswertung bis zum letzten parent.resume()*/
     return ();
  }
}
```

4.3 Anwendung für Ausdrücke

```
public class AddExpression extends Expression {
  Expression e1, e2; Addop a; Node parent; Primode vor; Postmode nach;
  Environment umg;
  public void evaluate-attributes(int k) {
    if (k==0){
      e1.umg=umg;
      e1.evaluate-attributes(0);
      e2.umg=umg;
      e2.evaluate-attributes(0);
      vor = bestimmeGrundtyp(e1.vor, e2.vor);
      return;
    }
    else if (k==1){
      e1.nach=vor;
      e1.evaluate-attributes(1);
      a.mode=vor;
      a.evaluate-attributes(0);
      e2.nach=vor;
      e2.evaluate-attributes(1);
      return;
    }
  }
}
```

4.3 Verallgemeinerung: OO Entwurf

- Anforderungsanalyse: alle Objekte im oo-Modell sind aktiv, d.h. selbständige Prozesse
    - nur private, keine öffentlichen Methoden
- Entwurf: konstruiere die Prozesse algorithmisch
- Implementierungsentwurf: bestimme alle Objekttypen (Klassen), die passiv werden sollen, d.h. nur bei Aufruf aus anderen Objekten aktiv
- Programminversion: schneide alle Prozesse passiver Klassen an den Kommunikationsstellen auf, die Stücke ergeben die öffentlichen Methoden
- der ursprüngliche Prozeß enthält ein Ablaufprotokoll: Reihenfolge der zulässigen Methodenaufrufe ist vorgeschrieben
    - kontrolliere das Ablaufprotokoll mit geeigneten Datenstrukturen (allgemeinster Fall: Implementierung eines endlichen Automaten)
- ersetze alle Kommunikationsoperationen mit passiven Objekten durch Methodenaufrufe

Kapitel 4: AGs

0. Einbettung
1. Grundbegriffe
2. Hierarchie
   - WAG, ANCAG, PAG, OAG, LAG, RAG, AAG
   - Besuchssequenzen
   - Induzierte Abhängigkeiten
3. Implementierung
4. Attributspeicherung
5. Zusammenfassung

4.4 Attributspeicherung

(i) AST
(ii) Prozedurkeller
(iii) Attributkeller
(iv) globale Variable
(v) globale Tabelle

(i) explizit im *AST* – teuer, immer möglich

(ii) im Prozedurkeller – effizienter als (i) , aber nicht immer möglich

(iii) in separaten Attributkeller – u.U. effizienter als (ii) , immer möglich wenn (ii) möglich

(iv) als globale Variable – effizienter als (iii) , aber selten möglich

(v) durch globale Tabelle: praktisch das wichtigste Verfahren, aber nicht systematisch aus *AG* ableitbar

Frage: Wie kann man die Attribute für alle *AST*s einheitlich implementieren?

4.4 Explizit im *AST* (i)

(i) AST
(ii) Prozedurkeller
(iii) Attributkeller
(iv) globale Variable
(v) globale Tabelle

Immer nötig, wenn

- Attribut als Ergebnis der Attributierung für folgende Übersetzerphasen benötigt und keine globale Tabelle benutzt
  - Speicheranordnung von Objekten

- Attribut ist Zwischenergebnis, jedoch (ii) – (iv) nicht möglich

4.4 *LAG* (1)

(ii) Immer möglich, wenn für die Lebensdauer eines Attribut $X.a$ gilt:

1. Definition einer Instanz von X.a
2. Definition von Instanzen X'.a
3. Letzte Verwendung von Instanzen X'.a und
4. Letzte Verwendung von Instanz X.a

Dadurch umschließende Lebenszeit von Attributen garantiert.

(iii) Auch immer möglich, wenn (ii) möglich

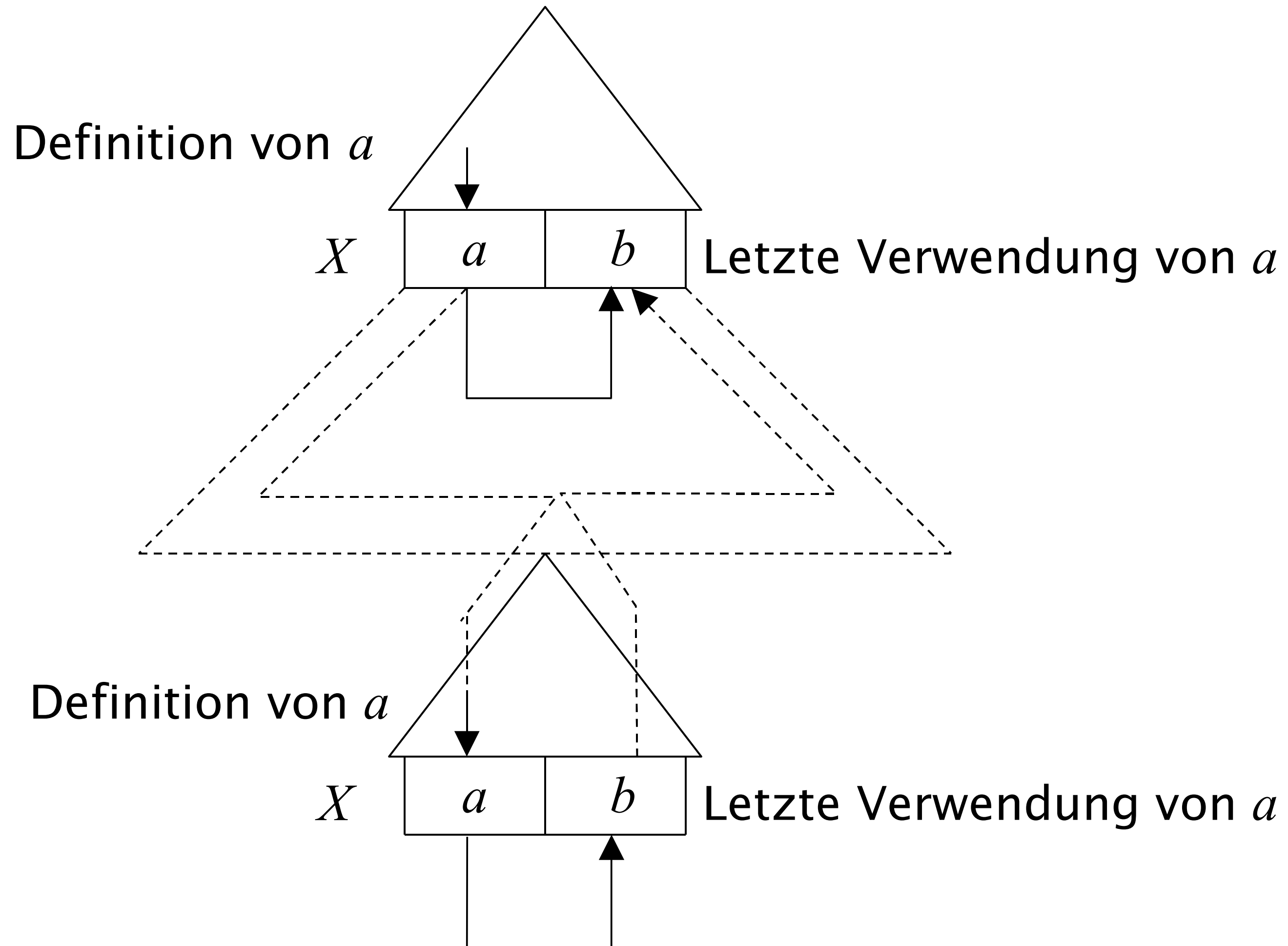
(iv) Nicht immer möglich, weil nicht garantiert werden kann:

1. Definition einer Instanz von X.a
2. Letzte Verwendung von Instanz X.a
3. Definition von Instanz X'.a
4. Letzte Verwendung von Instanz X'.a und

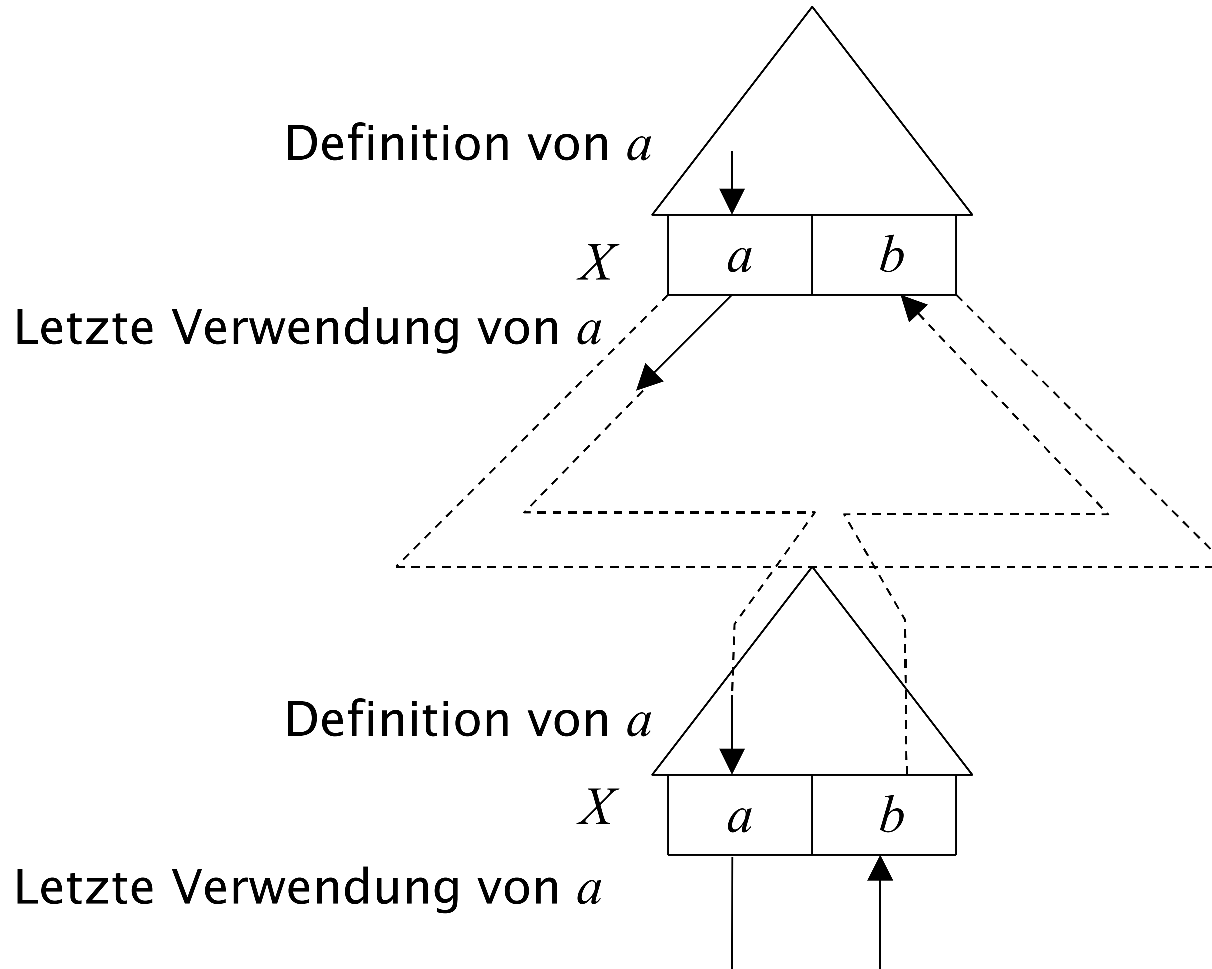
   nicht überlappende Lebenszeit von Attributen notwendig.

(i) AST
(ii) Prozedurkeller
(iii) Attributkeller
(iv) globale Variable
(v) globale Tabelle

4.4 Maximale Lebenszeit von *LAG*(1) Attributen



4.4 Nicht überlappende Lebenszeit

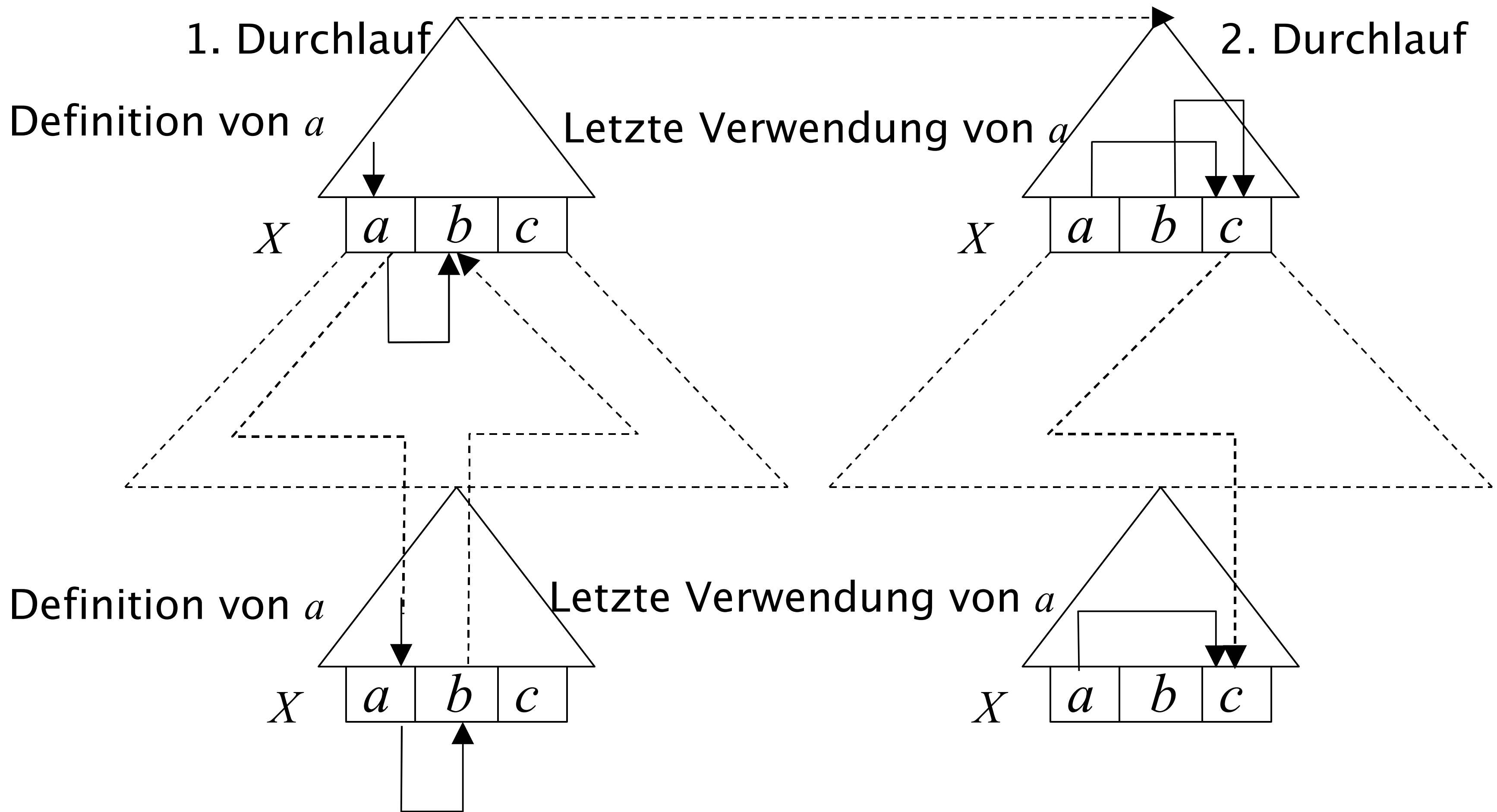


4.4 Verallgemeinerung für $LAG(k)$

(i) AST
(ii) Prozedurkeller
(iii) Attributkeller
(iv) globale Variable
(v) globale Tabelle

- (ii) nicht immer möglich, weil für ein Attribut $X.a$: Überlappende aber nicht umschließende Lebenszeit von Attributen möglich.
- Beispiel: Umgebungsattribut (*umg*) bei Sprachen mit Namensverwendung vor Namensbenutzung.
- Einziges Beispiel von praktischer Bedeutung
- Merken von Kellerinhalten: eigene Datenstruktur notwendig.

4.4 Beispiel *LAG*(2)



4.4 Hinreichendes Verfahren für Entscheidung (ii)

(i) AST
(ii) Prozedurkeller
(iii) Attributkeller
(iv) globale Variable
(v) globale Tabelle

1. Bestimme Grammatik G_B der Besuchssequenzen bezüglich Attribut $X.a$ mit
   - R für `return` zum Vater
   - D_a für Definition D_a für Attribut $X.a$ in einer Prozedur `evaluate-attribute`
   - L_a für letzte Verwendung L_a für Attribut $X.a$ in `evaluate-attribute`
2. Stelle fest, ob zwischen D_a und L_a kein R vorhanden.

Verallgemeinerbar für *PAG* und *OAG*.

4.4 Hinreichendes Verfahren für Entscheidung (iv)

(i) AST
(ii) Prozedurkeller
(iii) Attributkeller
(iv) globale Variable
(v) globale Tabelle

1. Bestimme Grammatik G_B der Besuchssequenzen bezüglich Attribut $X.a$
2. Wenn $L(G) \in (D_a L_a)^*$, d.h. abwechselnde Definition und Verwendung, dann globale Variable möglich.

Verallgemeinerbar für *PAG* und *OAG*.

4.4 Grammatik G_B für Besuchssequenzen bzgl. $X.a$

1. $T = \{D_a, R, L_a\}$
2. Für jedes Nichtterminal X der Grammatik – Nichtterminale $X(1) \ldots X(k)$ in G_B.
3. Für jede Besuchssequenz von Produktion $p: X_0 \rightarrow X_1 \ldots X_n$, werden k Produktionen für G_B generiert.
   (gemäß den Prozeduren `evaluate-attribute`)
4. k–te Besuchssequenz von P sei: $anweisung_1; \ldots; anweisung_m$
   wobei $anweisung_i \in \{X_i.\, a_j := f(X_l.\, a_k \ldots), N.\, call(k), return\}$
   Generiere Produktion $X_0(k) = p(anweisung_1); \ldots; p(anweisung_m)$wobei:
   $p(anweisung_i)$ = e wenn $X.a$ nicht beteiligt
   $p(anweisung_i)$ = D_a wenn $X.a$ definiert
   $p(anweisung_i)$ = L_a wenn $X.a$ verwendet
   $p(anweisung_i)$ = $X_i(k)$ für $N.call(k)$ mit $Typ\ N = X_i$.
   $p(return)$ = R

Kapitel 4: AGs

0. Einbettung
1. Grundbegriffe
2. Hierarchie
   - WAG, ANCAG, PAG, OAG, LAG, RAG, AAG
   - Besuchssequenzen
   - Induzierte Abhängigkeiten
3. Implementierung
4. Attributspeicherung
5. Zusammenfassung

4.5 Zusammenfassung AGs

- Attributierte Grammatiken sind allgemeines Hilfsmittel, um Eigenschaften in Bäumen zu berechnen
- AGs sind funktionale Sprachen, Turing-mächtig
- Klassifikation: *WAG, ANCAG, PAG (OAG), LAG/RAG/AAG*
- Begriff des Übersetzerlaufs
- beim Entwurf: denke in Datenabhängigkeiten, nicht in Berechnungsreihenfolgen
  - benutze PAGs/OAGs, keine LAGs
- Implementierungsprobleme bei PAGs: Implementierung von Koroutinen
- Probleme bei der Attributspeicherung