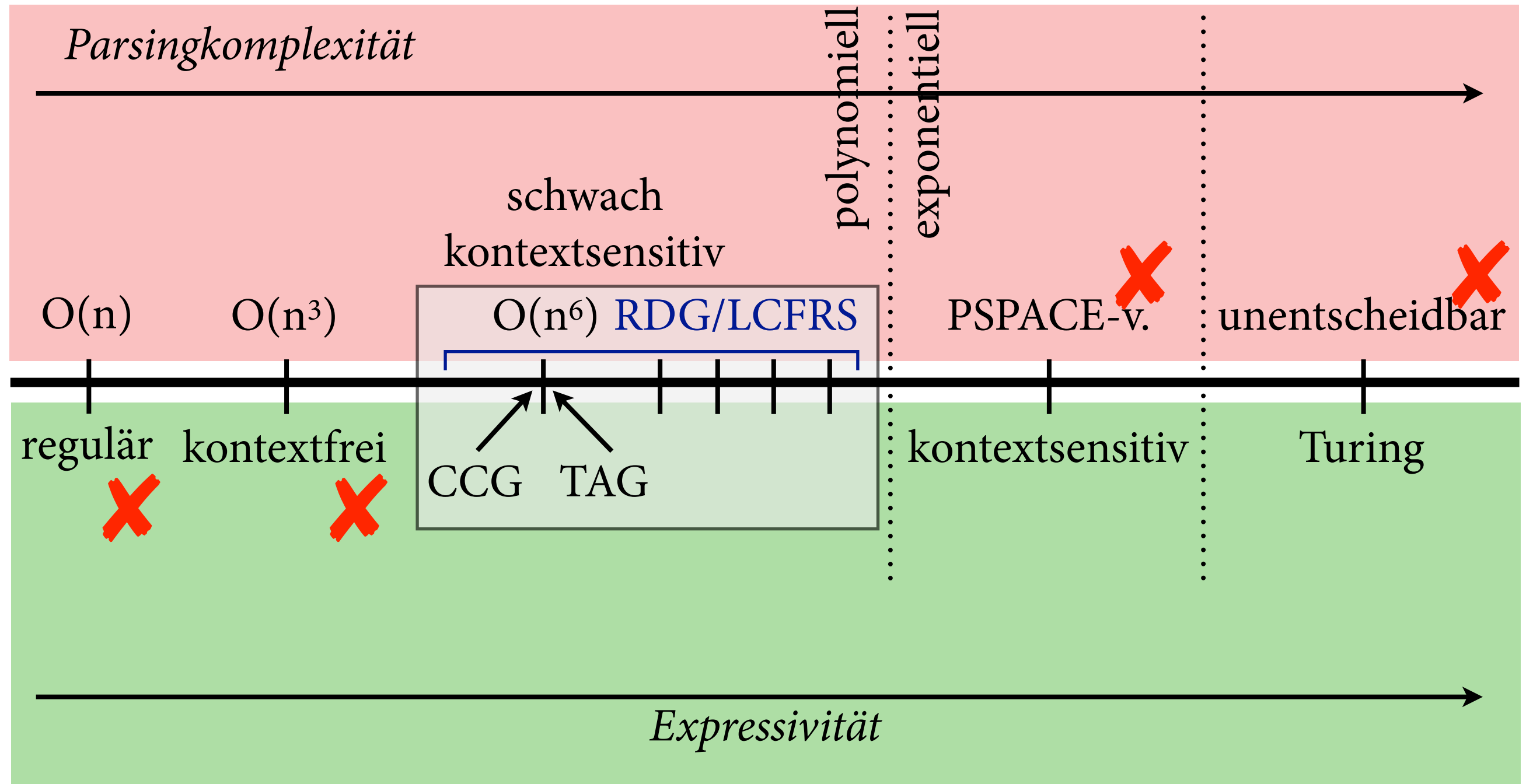


Reguläre Abhängigkeitsgrammatiken und starke Expressivität

Vorlesung “Grammatikformalismen”
Alexander Koller

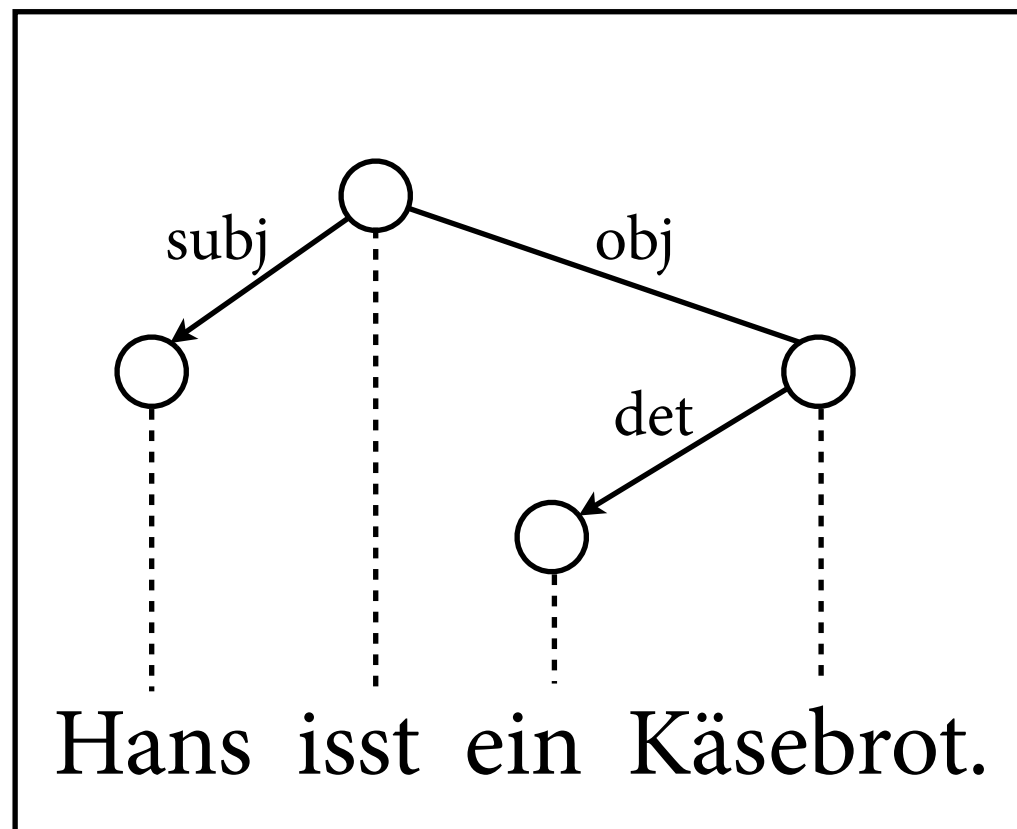
31. Mai 2019

Eine allgemeinere Perspektive

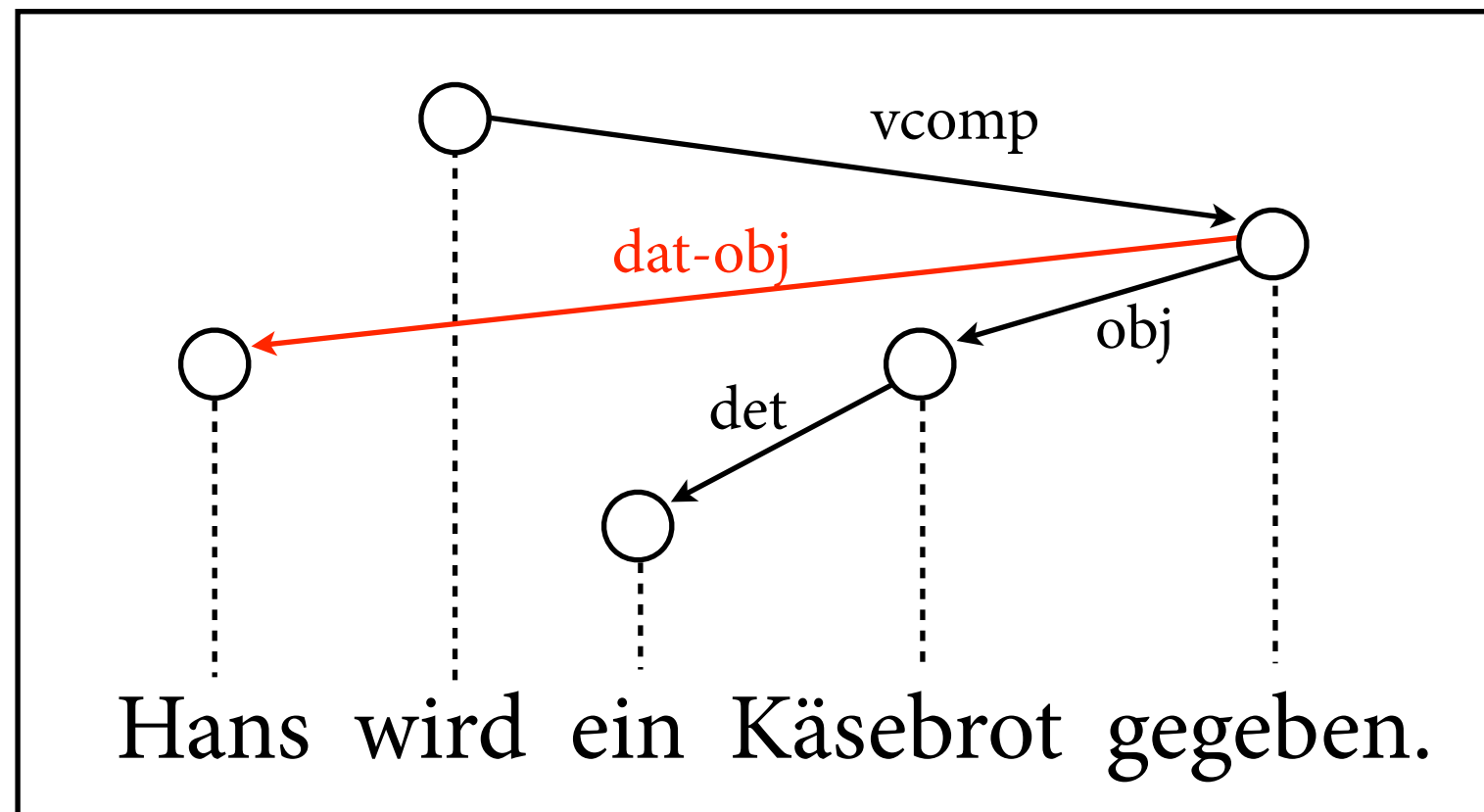


Dependenzstrukturen

Dependenzstruktur = Baum + lineare Ordnung auf Knoten



projektiv

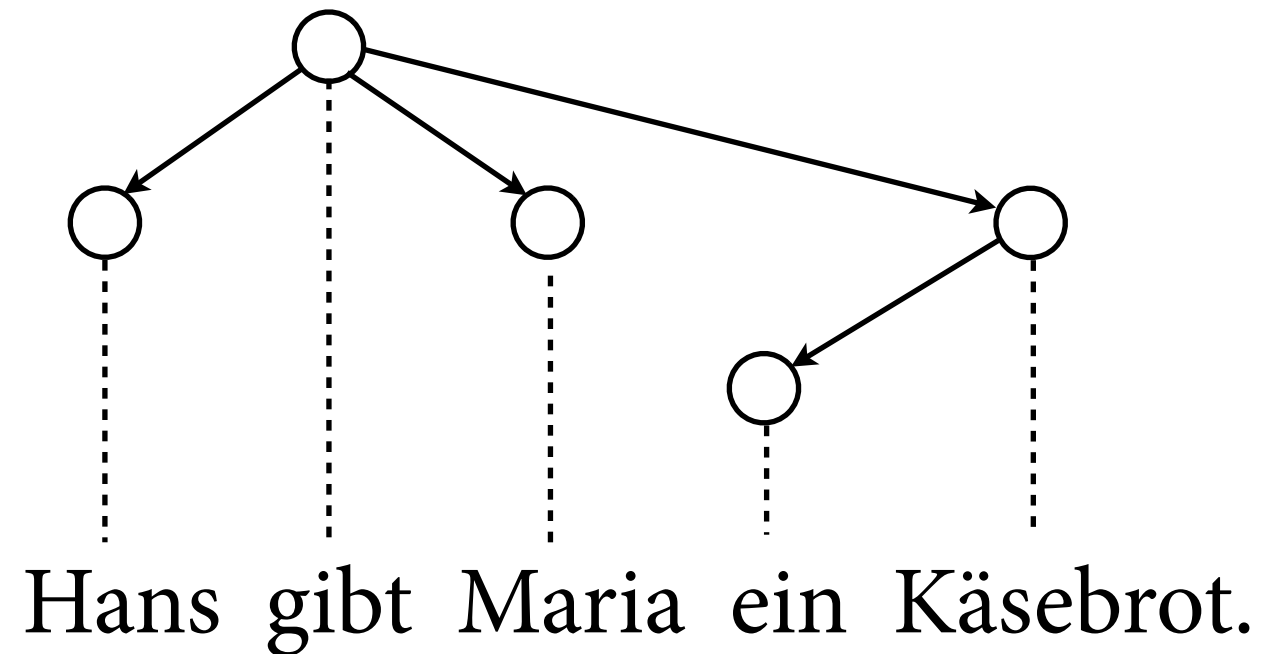
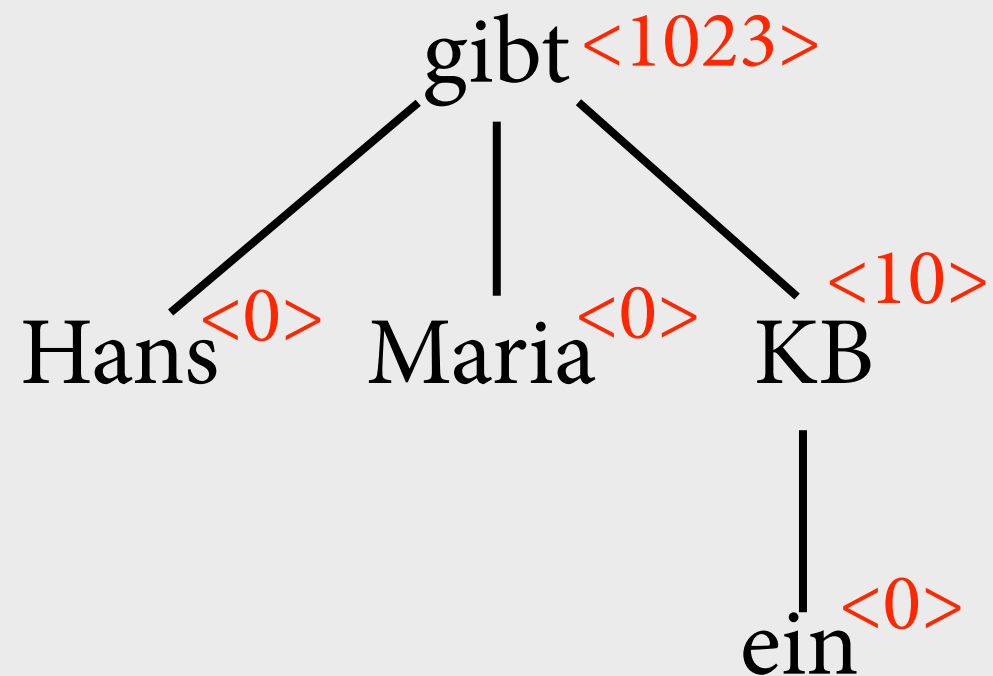
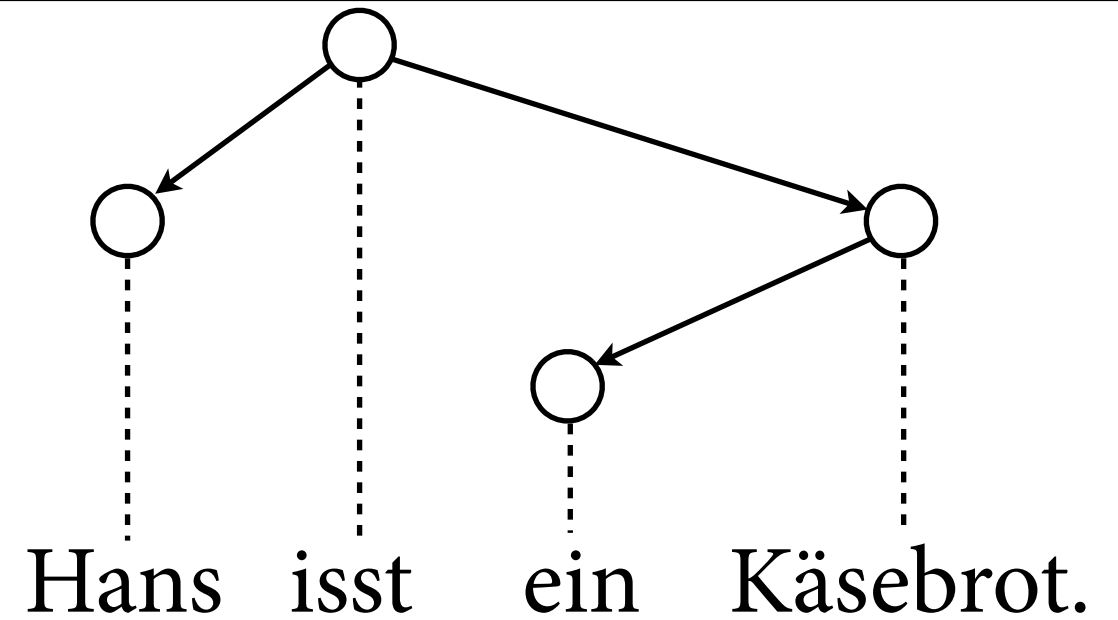
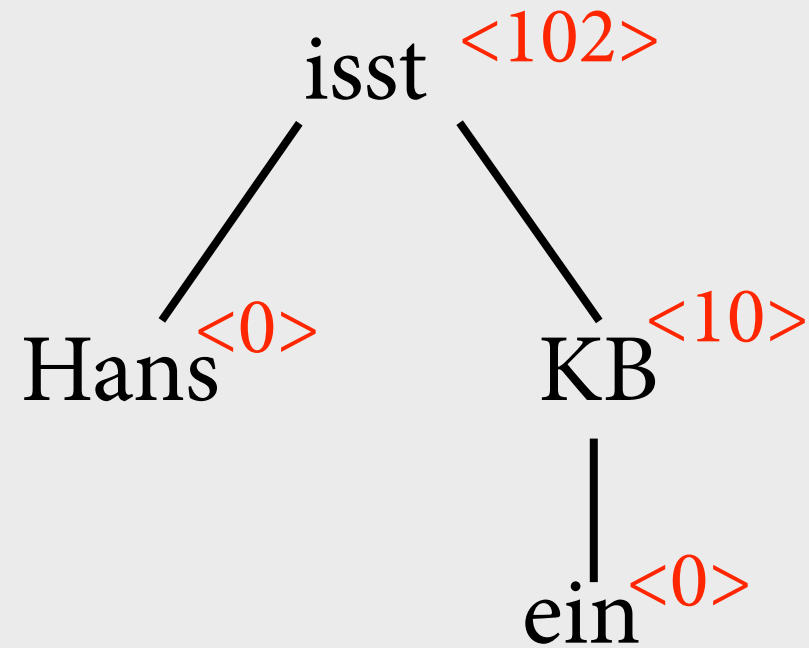


nichtprojektiv

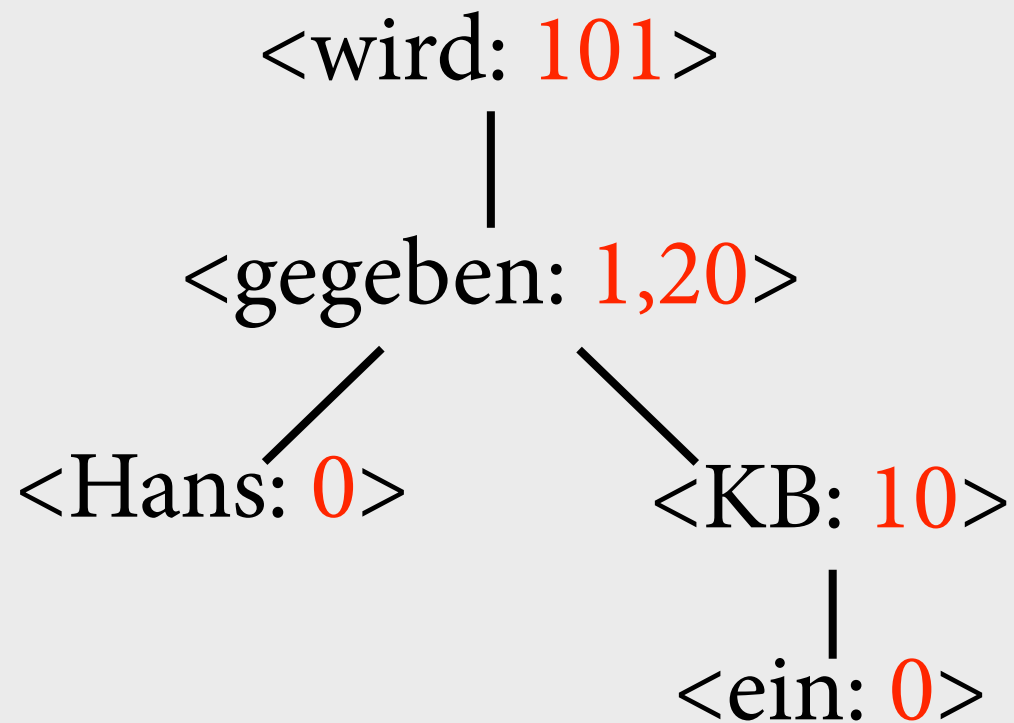
Ordnungsannotationen

- Möchte Abhängenzstruktur als einen einzigen Baum darstellen, damit ich RTGs verwenden kann.
- Annotiere jeden Knoten im Baum mit einer *Ordnungsannotation (OA)*, die angibt, wie Ertrag des Knotens sich aus Erträgen seiner Kinder zusammensetzt.
- Ordnungsannotation = String von Zahlen
 - ▶ 0: Knoten selbst
 - ▶ 1, 2, 3, ...: Ertrag des ersten, zweiten, dritten ... Kindes

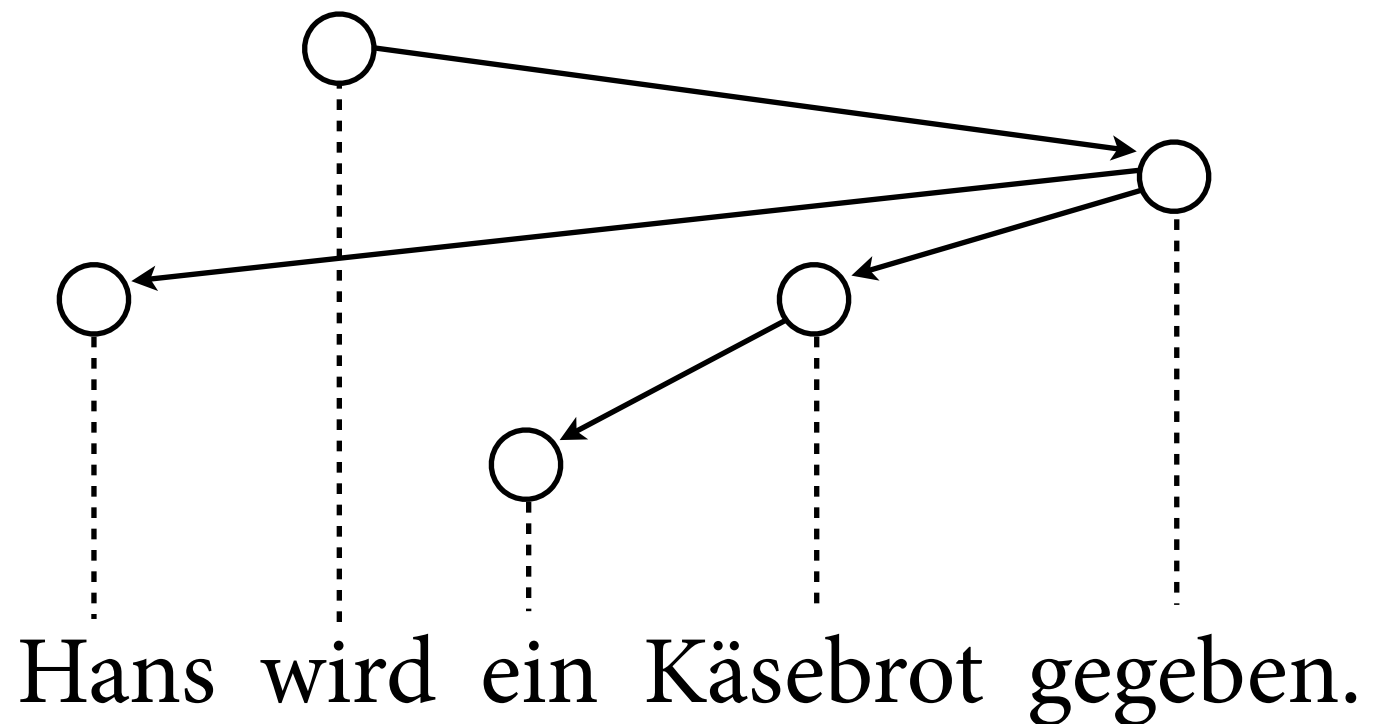
Ordnungsannotationen



Nichtprojektive OAen



*Baum mit
Ordnungsannotationen*



Abhängigkeitsstruktur

Beispiel

$S \rightarrow \langle \text{isst: 102} \rangle (\text{NP}, \text{VP})$

$\text{NP} \rightarrow \langle \text{Hans: 0} \rangle$

$\text{NP} \rightarrow \langle \text{KB: 10} \rangle (\text{Det})$

$\text{Det} \rightarrow \langle \text{ein: 0} \rangle$

RDG-Grammatik



$\langle \text{isst: 102} \rangle$

$\langle \text{Hans: 0} \rangle$

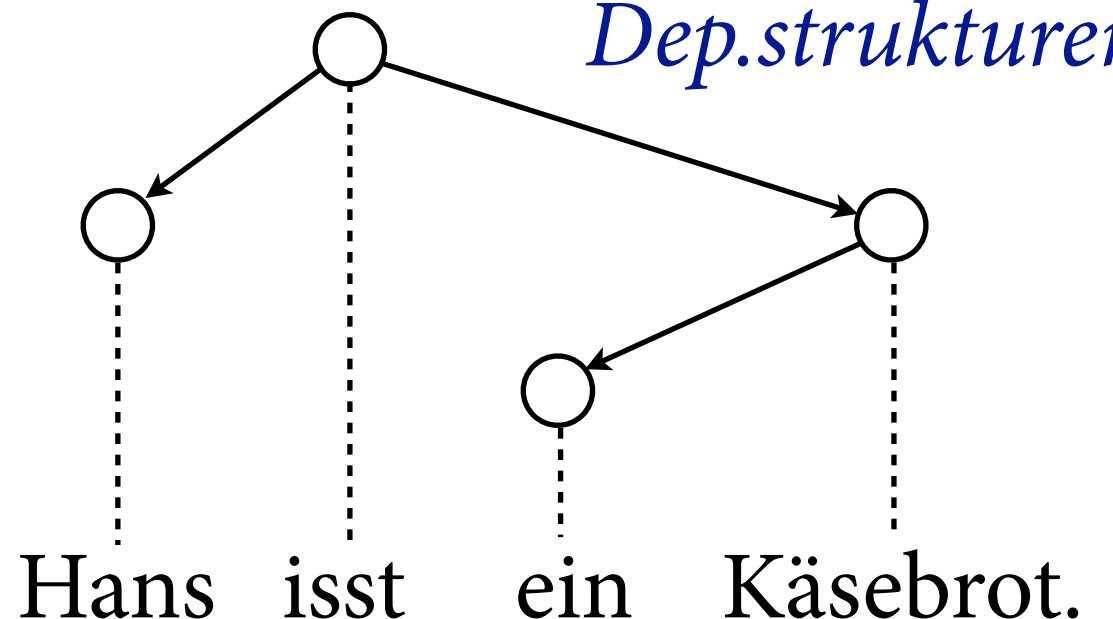
$\langle \text{KB: 10} \rangle$

Bäume mit OA

$\langle \text{ein: 0} \rangle$



Dep.strukturen



Beispiel

$S \rightarrow \langle \text{wird: 101} \rangle (\text{VP})$

$\text{VP} \rightarrow \langle \text{geg: 1,20} \rangle (\text{NP}, \text{NP})$

$\text{NP} \rightarrow \langle \text{Hans: 0} \rangle$

$\text{NP} \rightarrow \langle \text{KB: 10} \rangle (\text{Det})$

$\text{Det} \rightarrow \langle \text{ein: 0} \rangle$

RDG-Grammatik



$\langle \text{wird: 101} \rangle$

$\langle \text{gegeben: 1,20} \rangle$

$\langle \text{Hans: 0} \rangle$

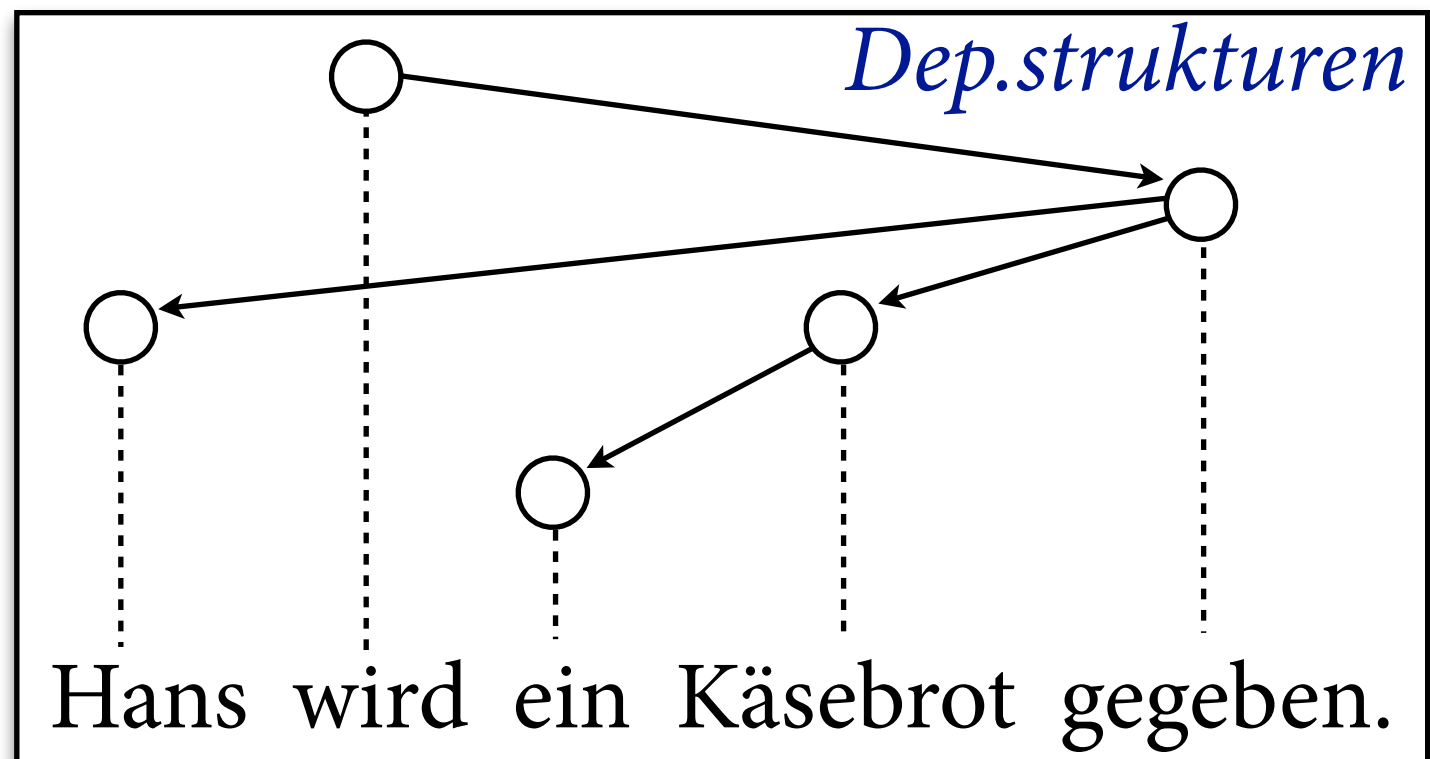
$\langle \text{KB: 10} \rangle$

$\langle \text{ein: 0} \rangle$

Bäume mit OA



Dep.strukturen



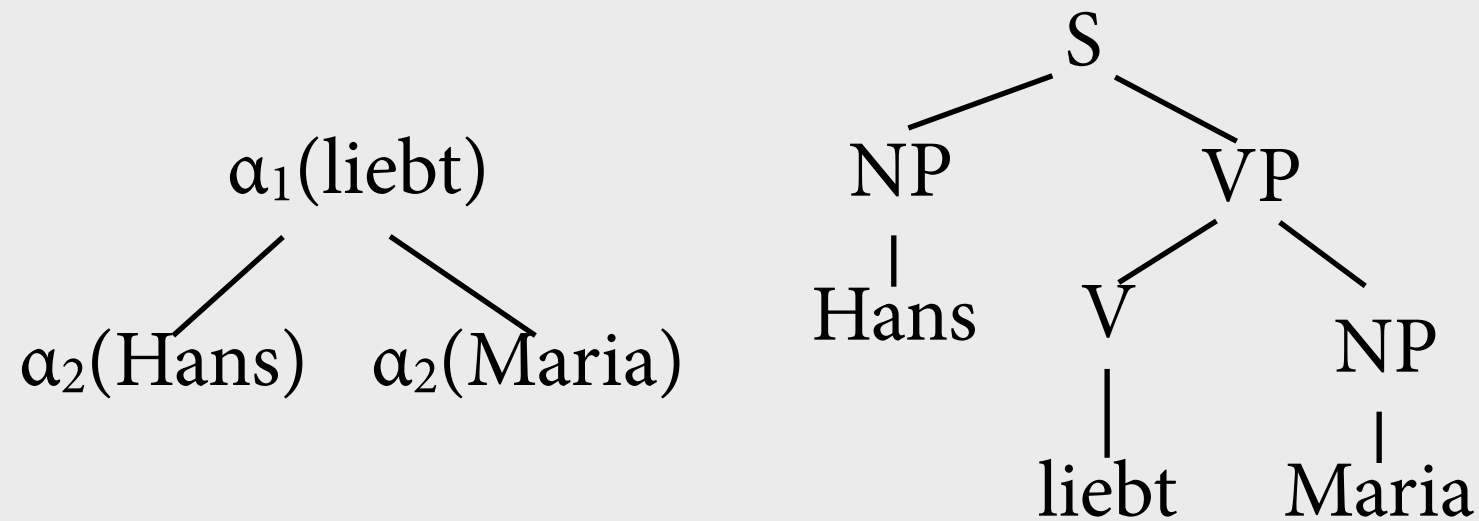
Übersicht

- *Starke Äquivalenz* von lexikalisierten Grammatikformalismen bzgl. Dep.strukturen:
 - ▶ lexikalisierte TSGs und kontextfreie Grammatiken
 - ▶ lexikalisierte TAGs
- Hierarchie von regulären Dependenzsprachen
- Parsing von regulären Dependenzgrammatiken

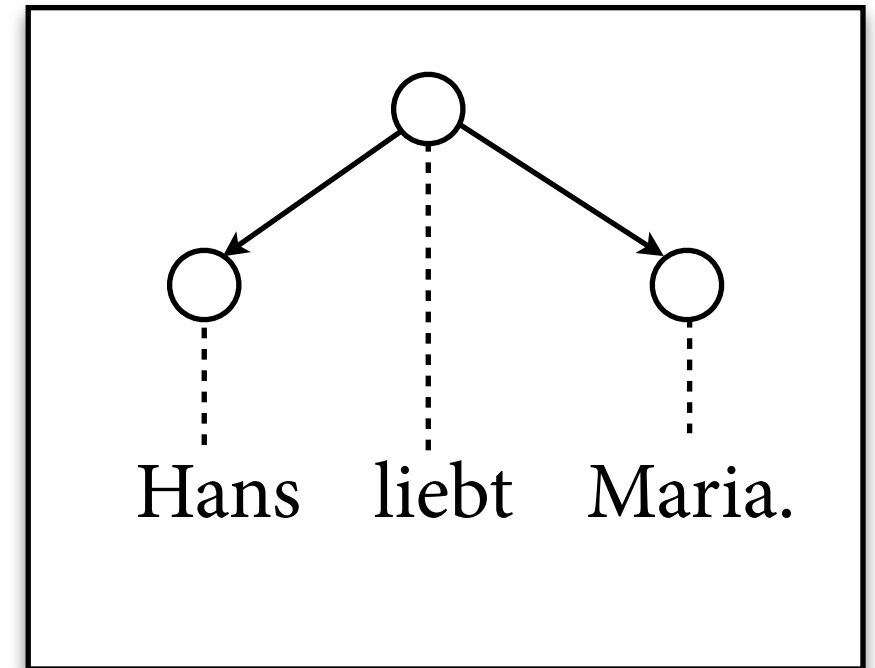
Zweck von Grammatiken

- Eine (lexikalisierte) Grammatik stellt einen Zusammenhang her zwischen:
 - ▶ Valenz: welches Wort füllt welche syntaktische Rolle eines anderen Wortes?
 - ▶ Wortstellung: in welcher Reihenfolge können die Wörter im Satz stehen?
- In Abhängigkeitsgrammatiken sehr explizit.
 - ▶ Abhängigkeitsstruktur = Valenz + Wortstellung
 - ▶ Ordnungsannotation: ordnet Valenzen eines Wortes an

LTSG → RDG: Ableitungen



LTSG-Ableitung

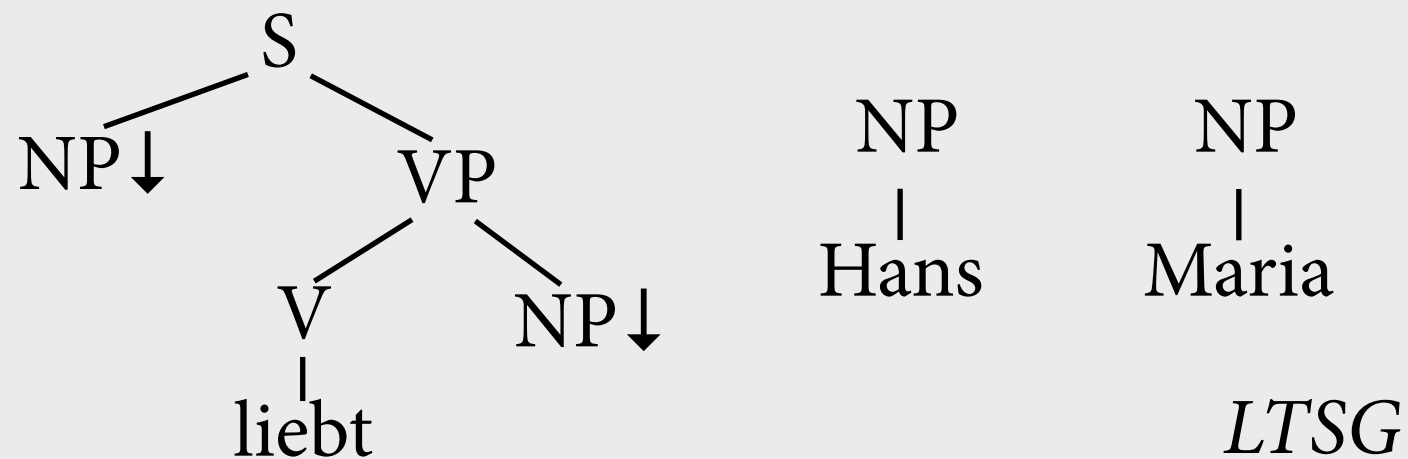


Dep.struktur

- Übersetzung LTSG-Ableitungsbaum in Dependenzstruktur:
 - ▶ Baum = Ableitungsbaum (= Valenz) (= Dominanz)
 - ▶ Ordnung = Wortstellung im abgeleiteten Baum (= Präzedenz)

LTSG → RDG: Grammatiken

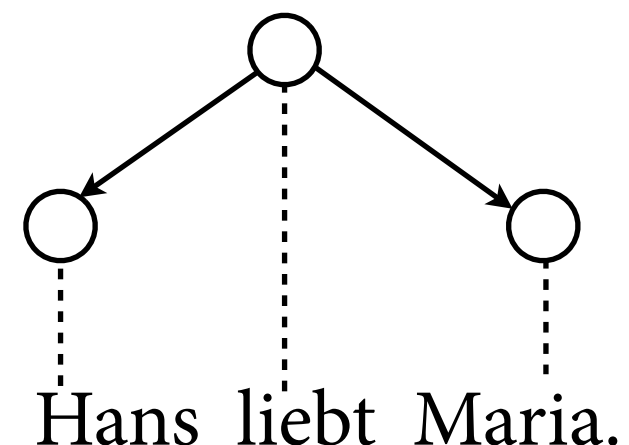
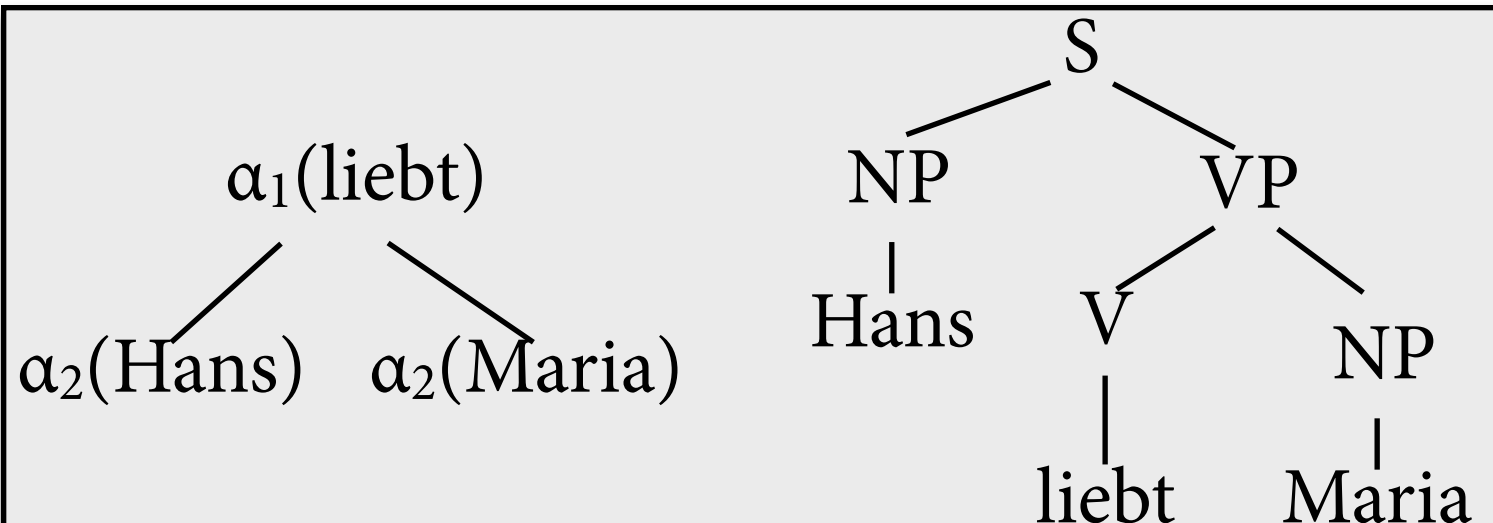
- Übersetzung einer ganzen Grammatik:
 - ▶ jeder Elementarbaum der LTSG → eine Regel der RDG
 - ▶ Wortstellung im Elementarbaum mit OA darstellen



$S \rightarrow \langle \text{liebt: 102} \rangle (\text{NP}, \text{NP})$
 $\text{NP} \rightarrow \langle \text{Hans: 0} \rangle$
 $\text{NP} \rightarrow \langle \text{Maria: 0} \rangle$

RDG

Grammatik

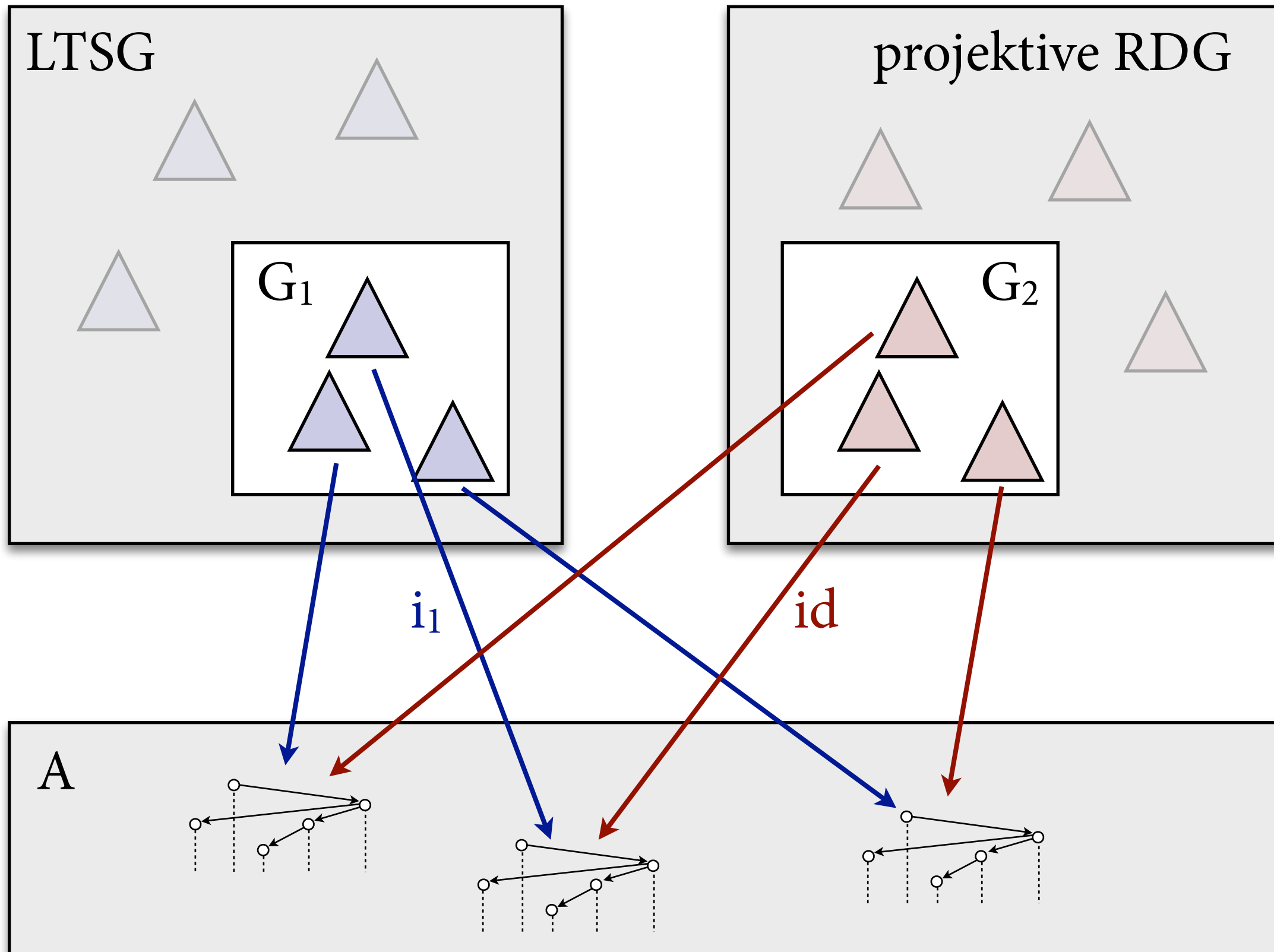


Ableitung

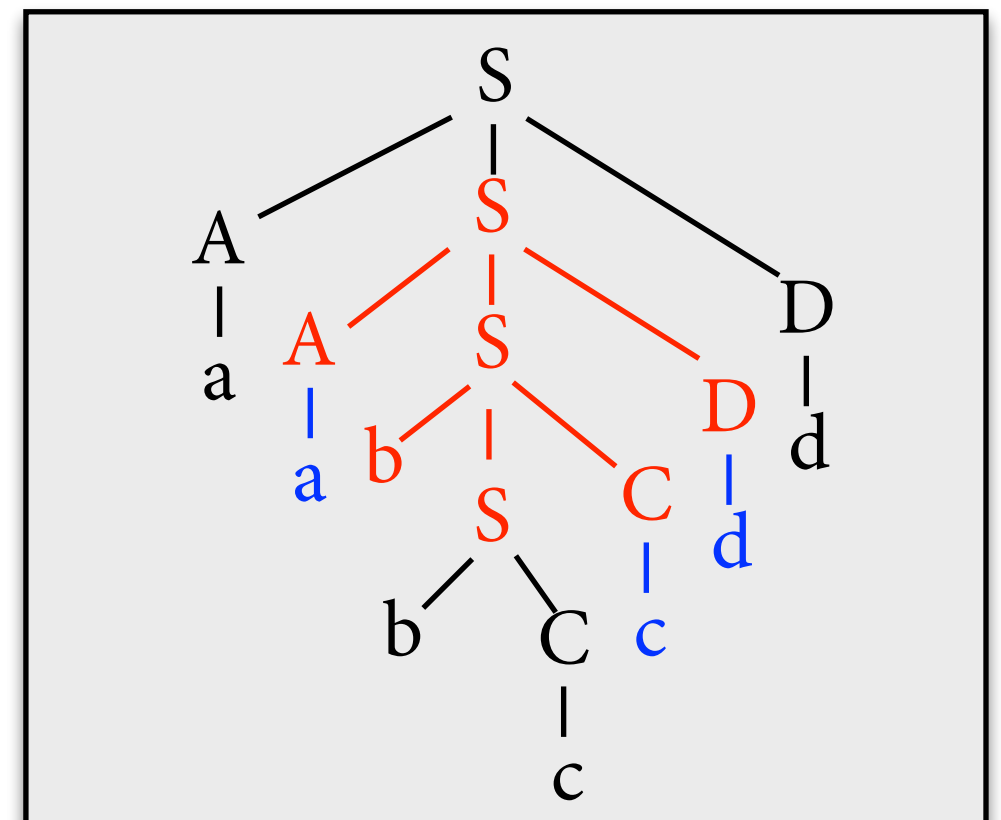
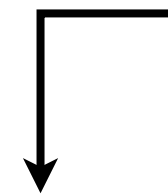
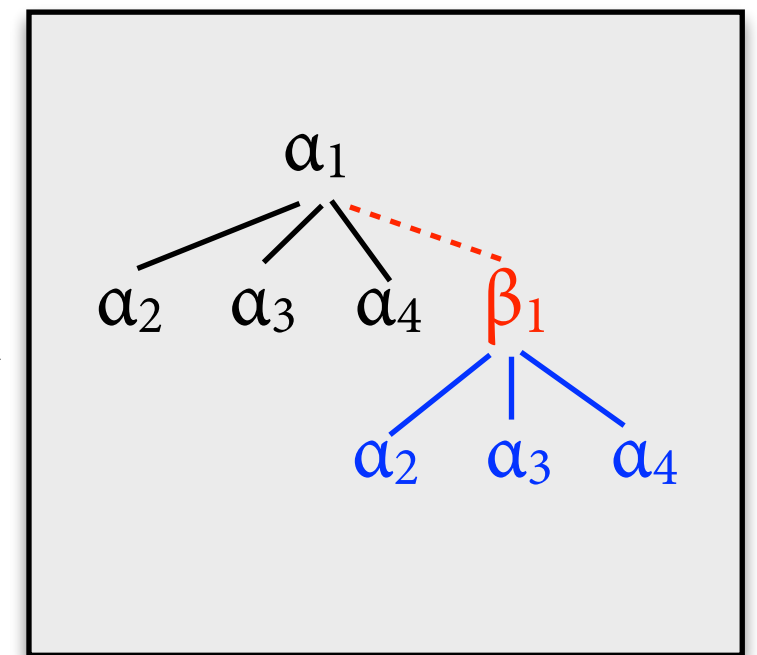
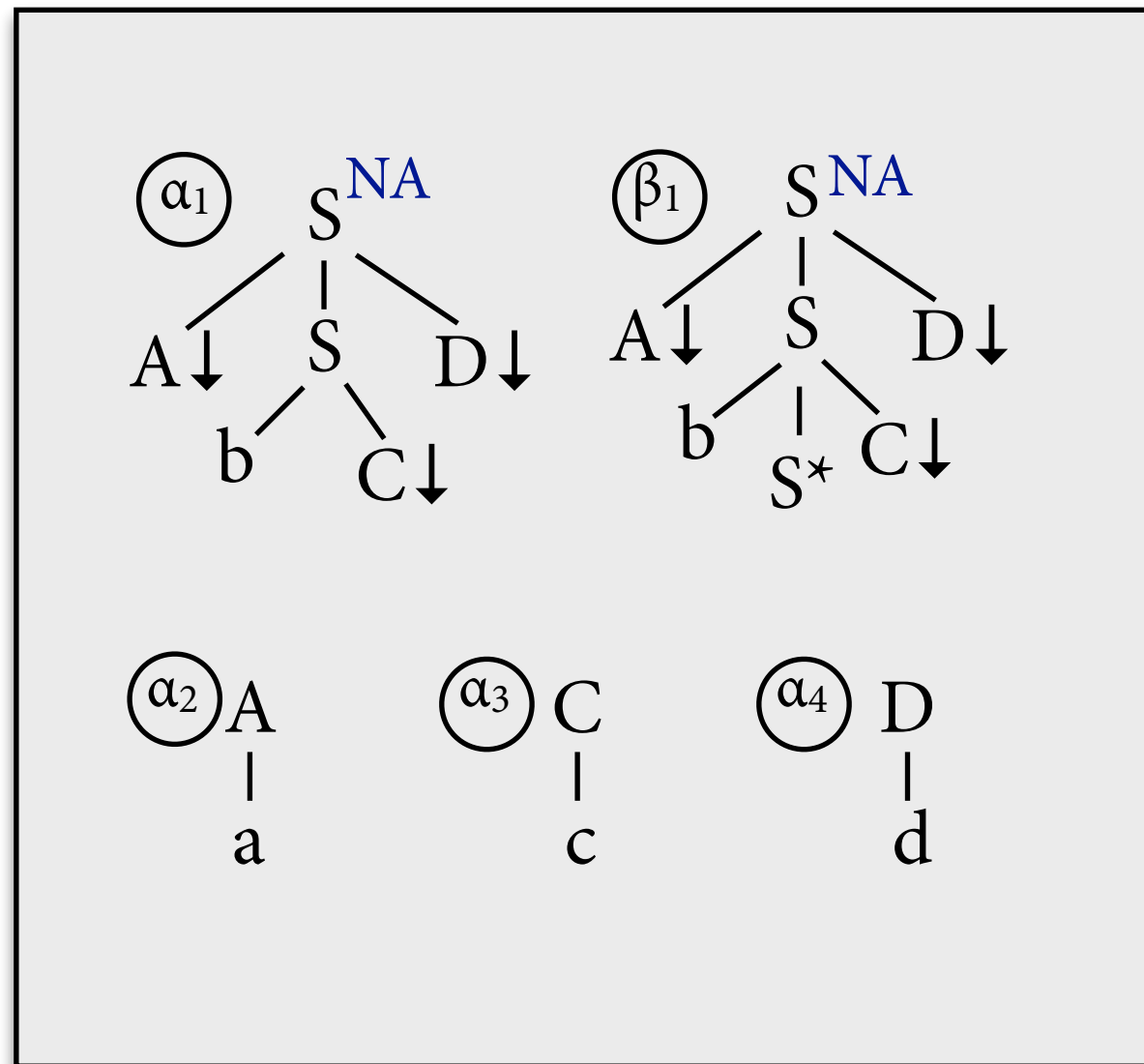
LTSG $\rightarrow$ RDG

- Übersetzung LTSG $\rightarrow$ RDG:
 - ▶ jede LTSG-Ableitung in eine Abhängigkeitsstruktur
 - ▶ jede LTSG-Grammatik in eine RDG-Grammatik, die genau die gleichen Abhängigkeitsstrukturen beschreibt
- Codierung erzeugt projektive RDGs. Umgekehrt jede projektive RDG in stark äquivalente LTSG übersetzbar.
- LTSG und projektive RDG *stark äquivalent* bzgl. Dep.strukturen.
- (*Schwache Äquivalenz* von kfG und projektiven Dep.grammatiken seit 1960ern bekannt: Hays/Gaifman.)

Äquivalenz bzgl. Dependenzstrukturen



LTAG für COUNT(4)

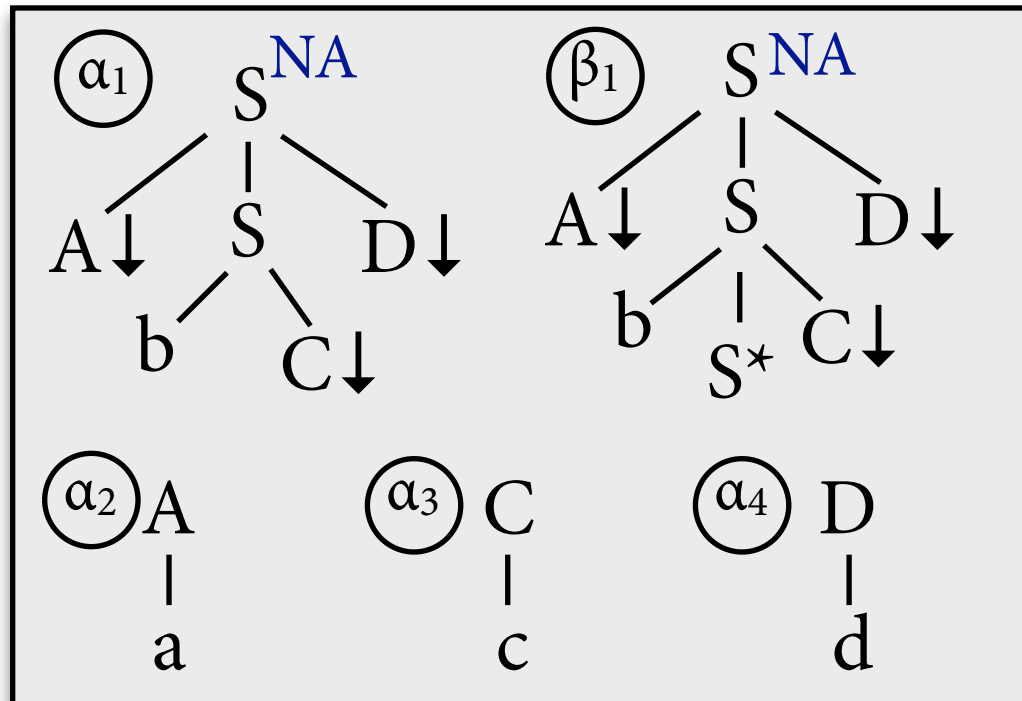


LTAG $\rightarrow$ RDG: Grammatiken

- Für jede TAG-Grammatik ist *Sprache der Ableitungsbäume* reguläre Baumsprache.
 - ▶ RTG hat Nichtterminalsymbole N_S (für Substitution) und N_A (für Adjunktion).
 - ▶ Elementarbaum $\alpha \rightarrow$ RTG-Regel mit Terminalsymbol α

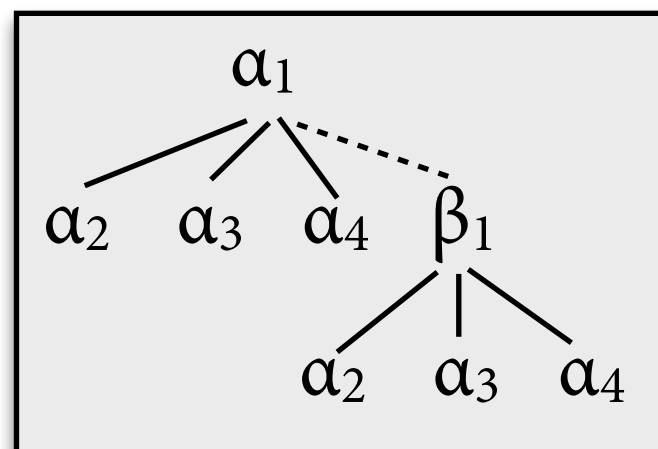
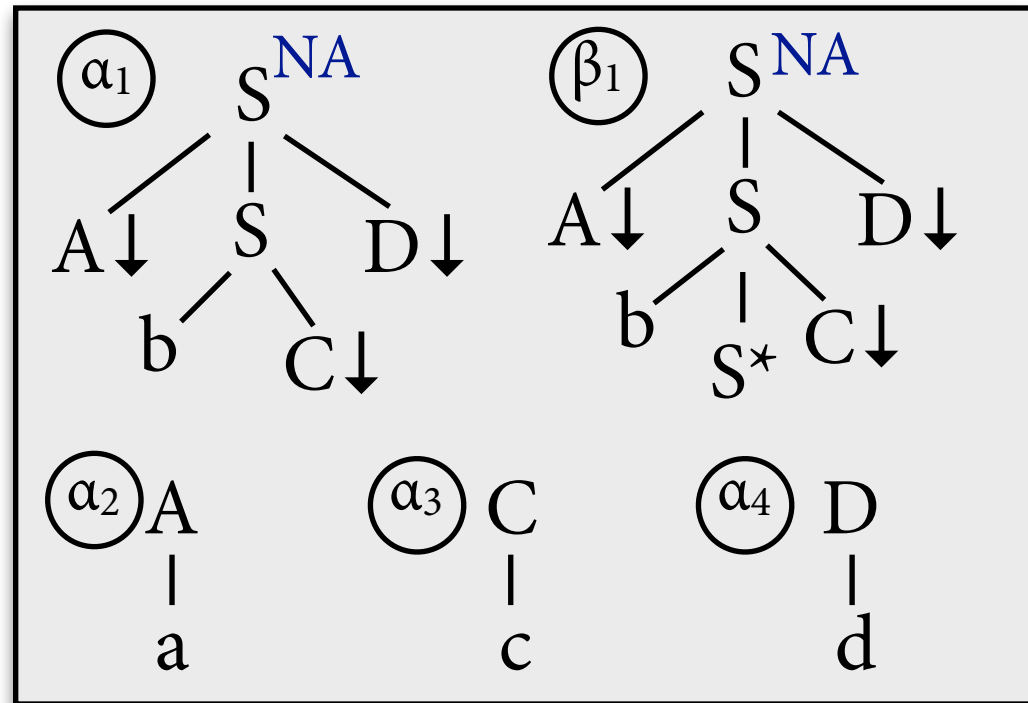
LTAG $\rightarrow$ RDG: Grammatiken

- Für jede TAG-Grammatik ist *Sprache der Ableitungsbäume* reguläre Baumsprache.
 - ▶ RTG hat Nichtterminalsymbole N_S (für Substitution) und N_A (für Adjunktion).
 - ▶ Elementarbaum $\alpha \rightarrow$ RTG-Regel mit Terminalsymbol α



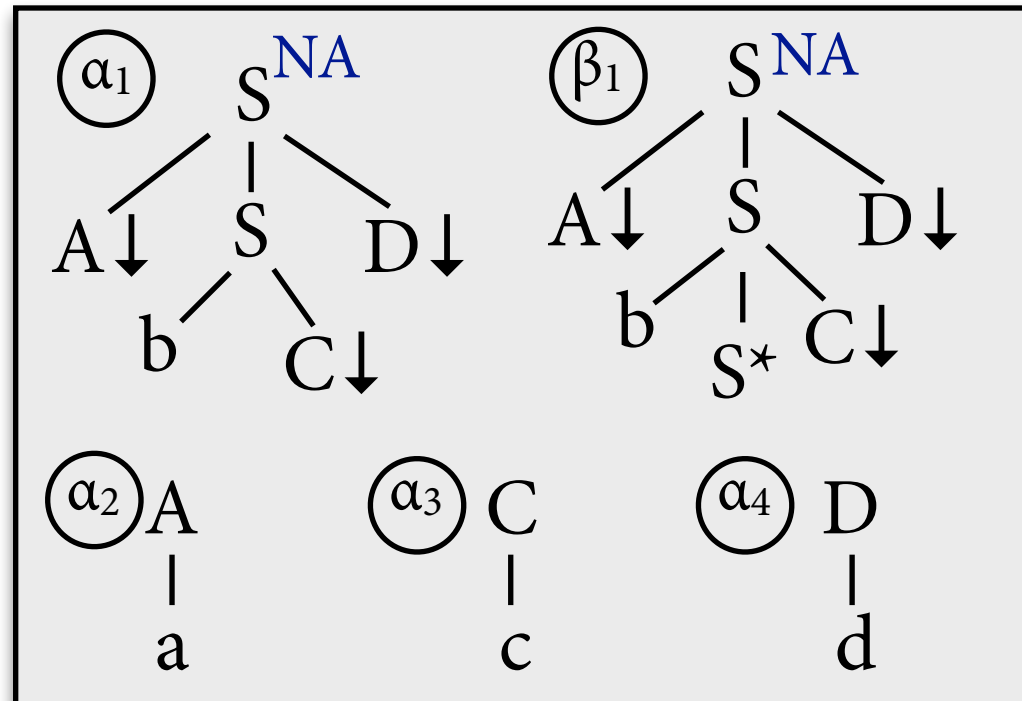
LTAG $\rightarrow$ RDG: Grammatiken

- Für jede TAG-Grammatik ist *Sprache der Ableitungsbäume* reguläre Baumsprache.
 - ▶ RTG hat Nichtterminalsymbole N_S (für Substitution) und N_A (für Adjunktion).
 - ▶ Elementarbaum $\alpha \rightarrow$ RTG-Regel mit Terminalsymbol α

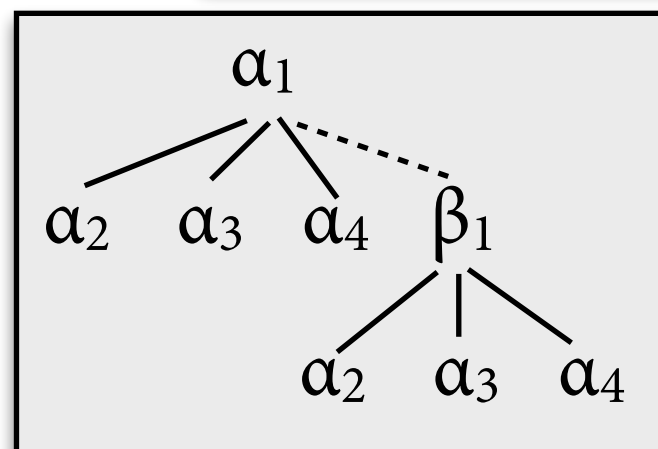


LTAG $\rightarrow$ RDG: Grammatiken

- Für jede TAG-Grammatik ist *Sprache der Ableitungsbäume* reguläre Baumsprache.
 - ▶ RTG hat Nichtterminalsymbole N_S (für Substitution) und N_A (für Adjunktion).
 - ▶ Elementarbaum $\alpha \rightarrow$ RTG-Regel mit Terminalsymbol α

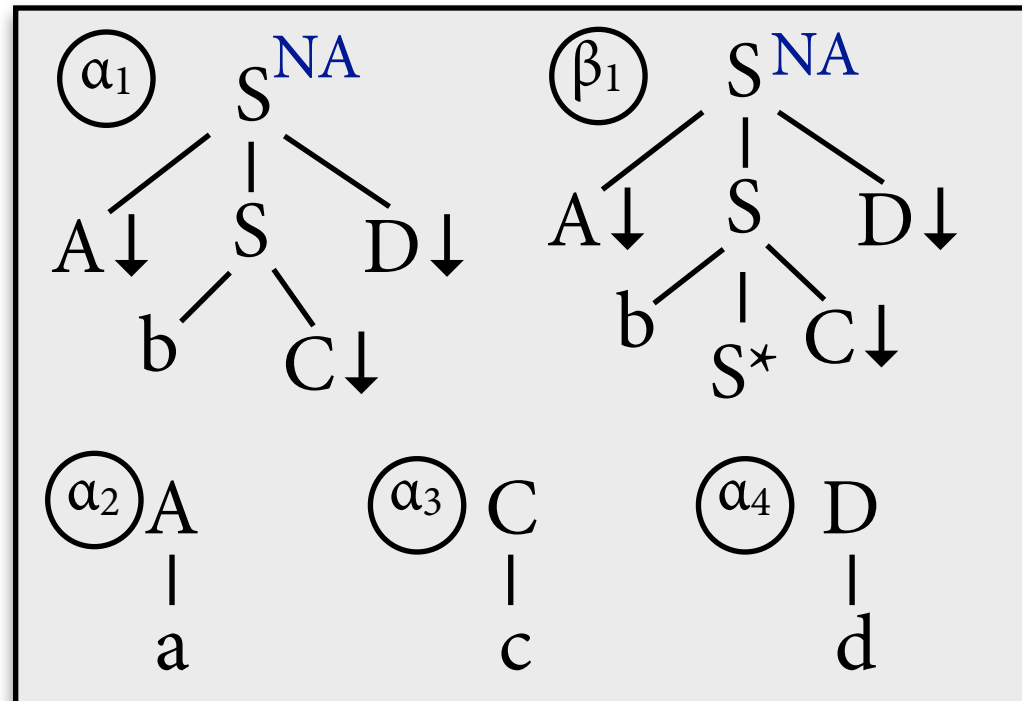


$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$
 $S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S)$
 $S_A \rightarrow \beta_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$
 $S_A \rightarrow \beta_1(A_S, C_S, D_S)$
 $A_S \rightarrow \alpha_2 \quad C_S \rightarrow \alpha_3 \quad D_S \rightarrow \alpha_4$

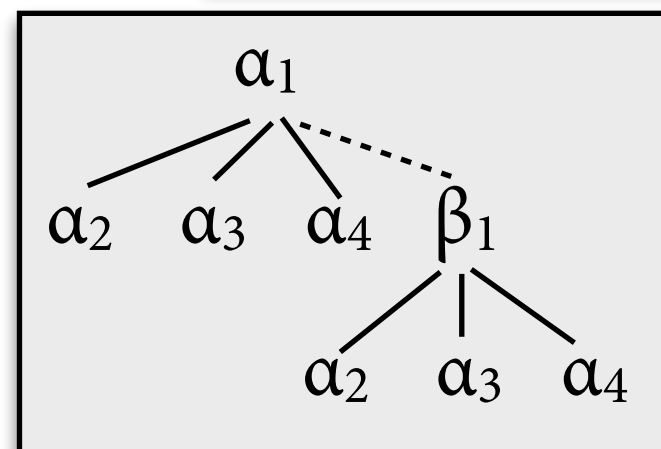


LTAG $\rightarrow$ RDG: Grammatiken

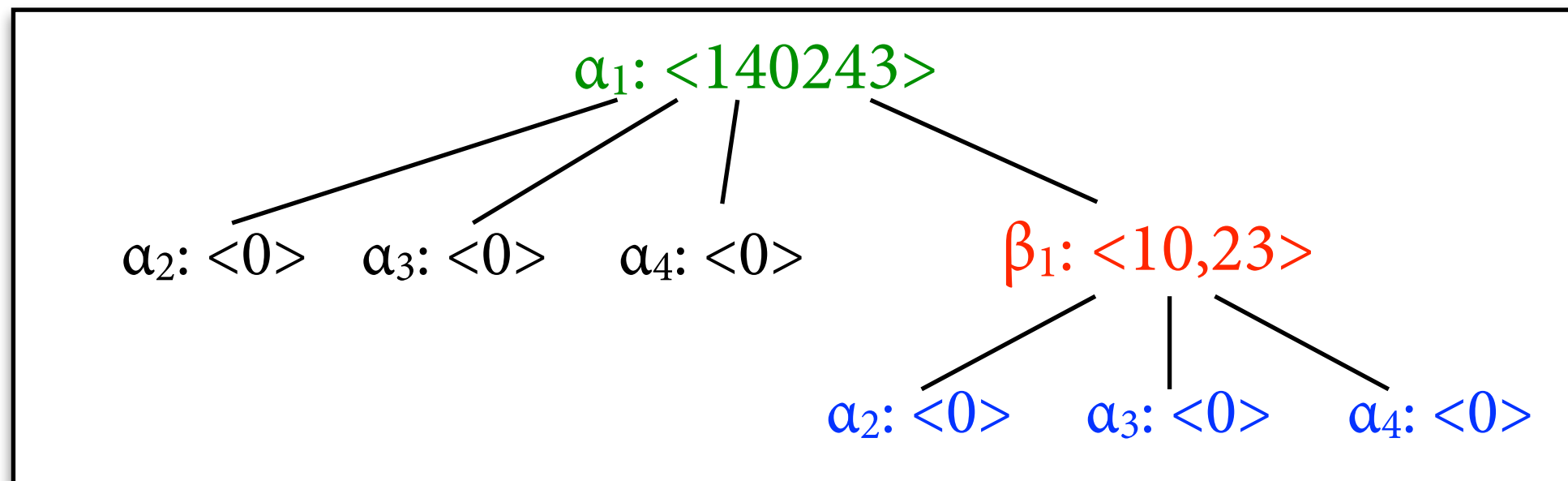
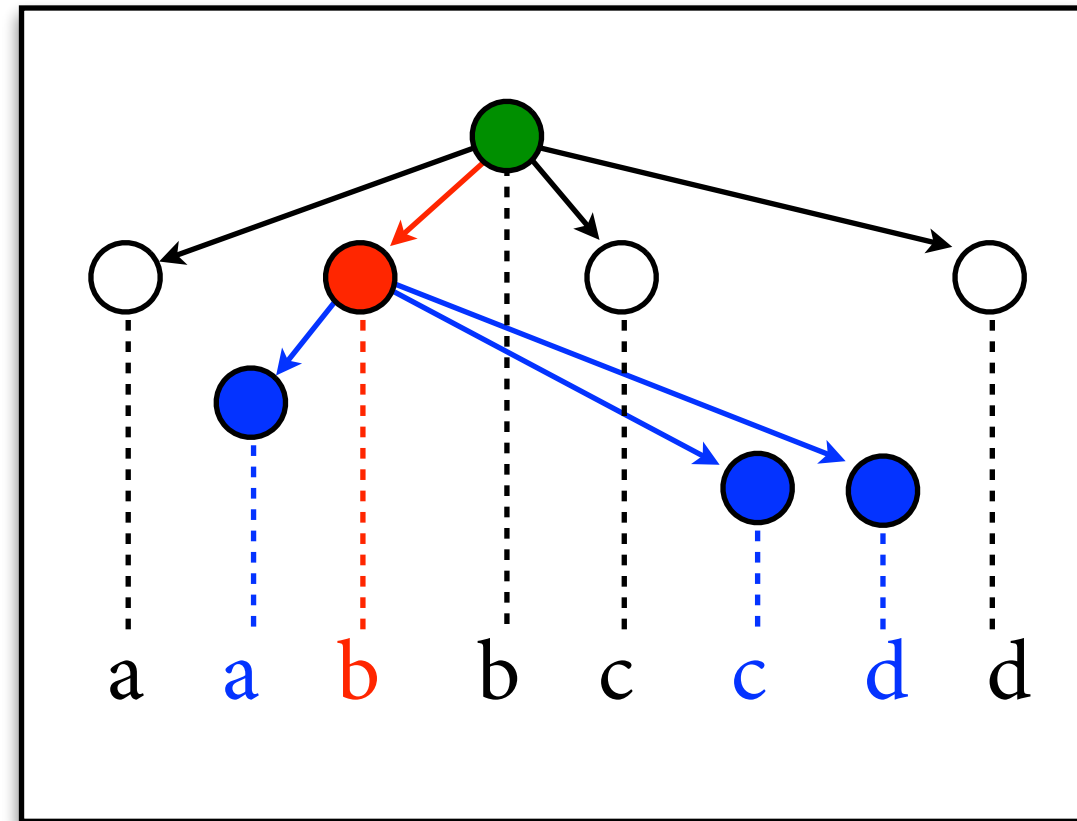
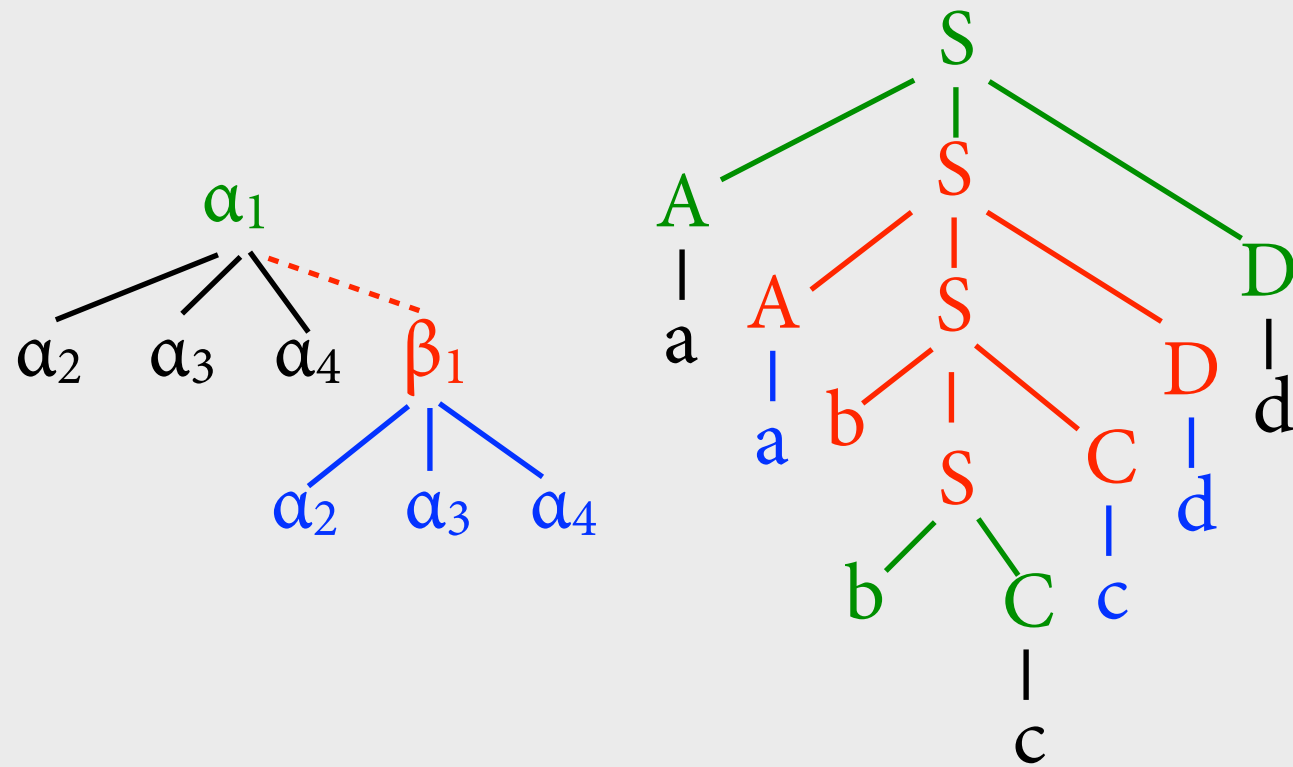
- Für jede TAG-Grammatik ist *Sprache der Ableitungsbäume* reguläre Baumsprache.
 - ▶ RTG hat Nichtterminalsymbole N_S (für Substitution) und N_A (für Adjunktion).
 - ▶ Elementarbaum $\alpha \rightarrow$ RTG-Regel mit Terminalsymbol α



$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$
 $S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S)$
 $S_A \rightarrow \beta_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$
 $S_A \rightarrow \beta_1(A_S, C_S, D_S)$
 $A_S \rightarrow \alpha_2 \quad C_S \rightarrow \alpha_3 \quad D_S \rightarrow \alpha_4$

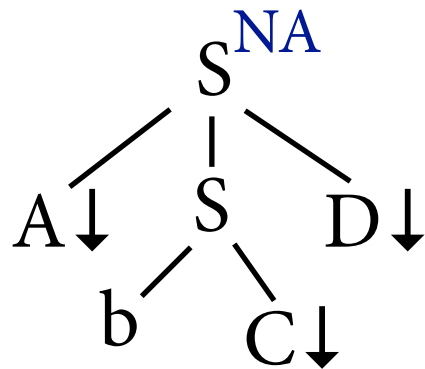


LTAG $\rightarrow$ RDG: Ordnungsannotationen

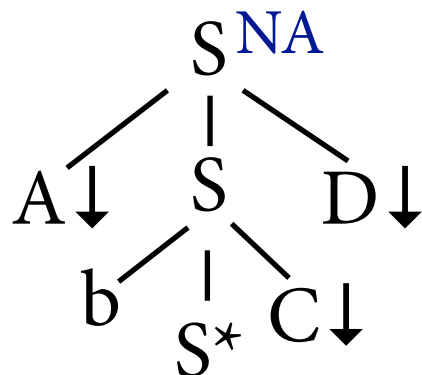


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

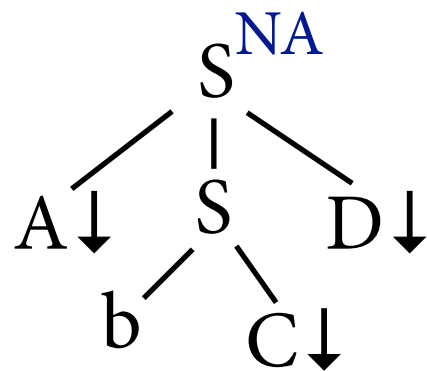


$$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$$

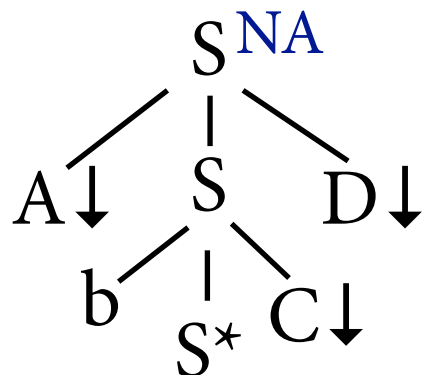


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

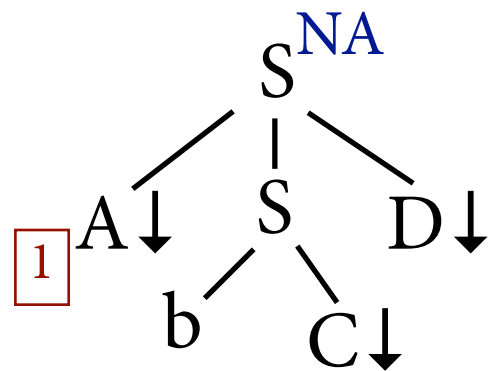


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

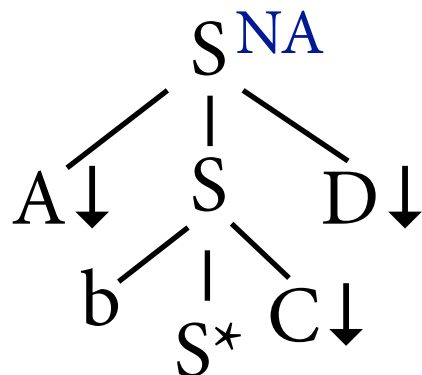


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

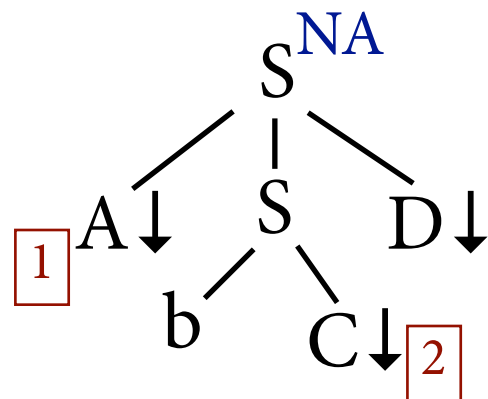


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

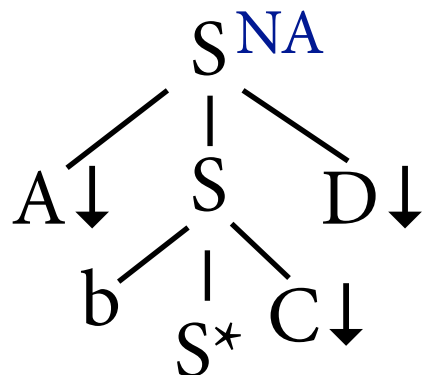


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

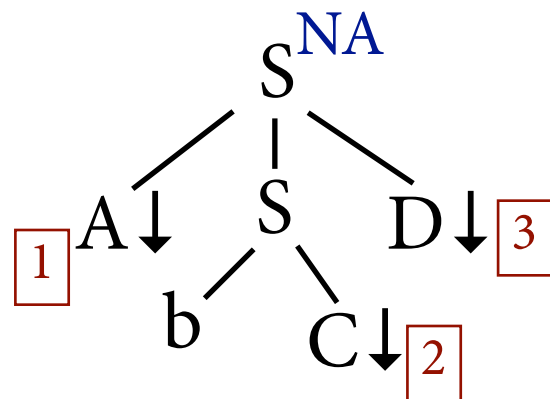


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A}_S, \overset{\boxed{2}}{C}_S, \overset{\boxed{3}}{D}_S, \overset{\boxed{4}}{S}_A)$$

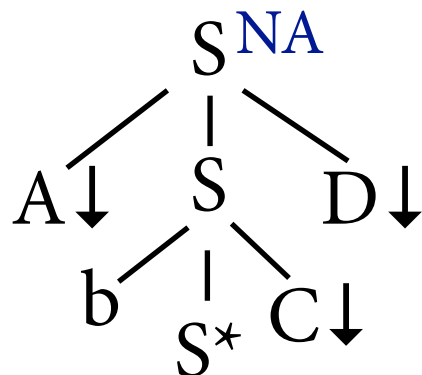


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

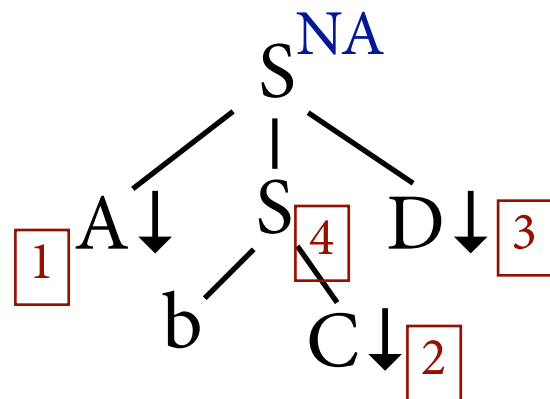


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

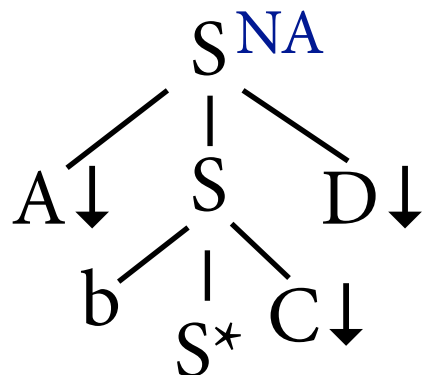


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

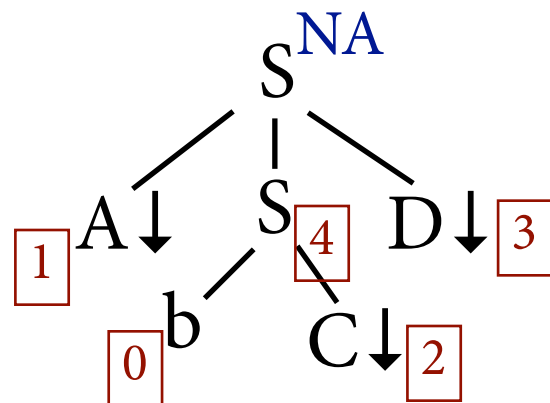


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

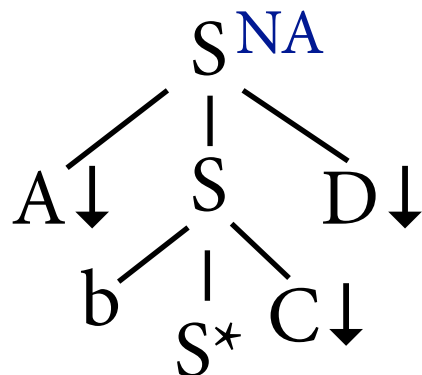


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

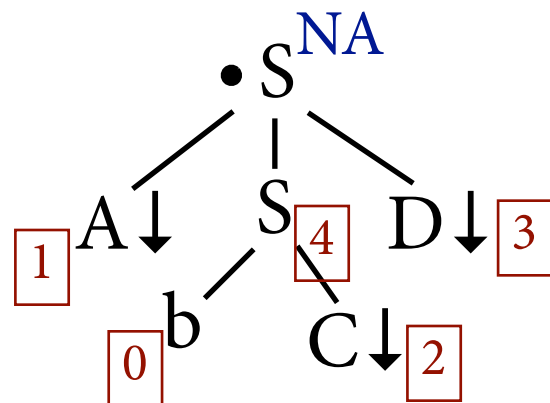


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

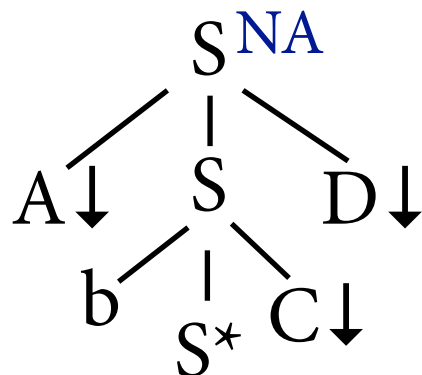


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

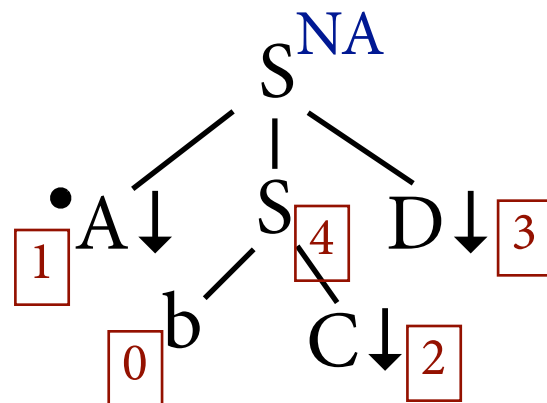


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A)$$

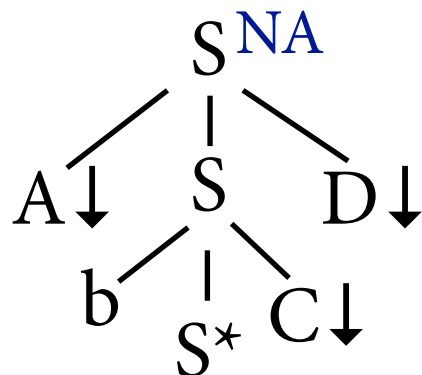


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

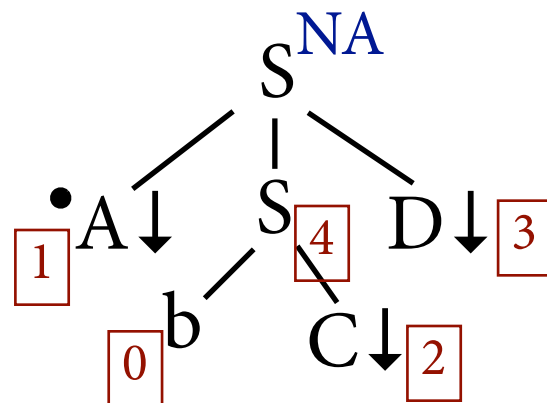


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A)$$

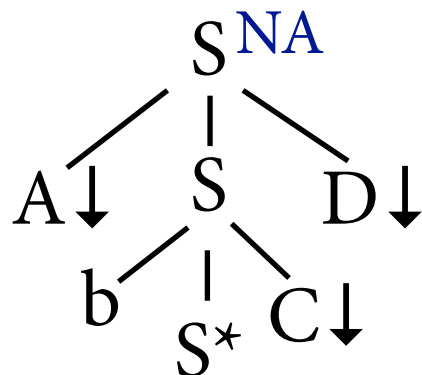


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

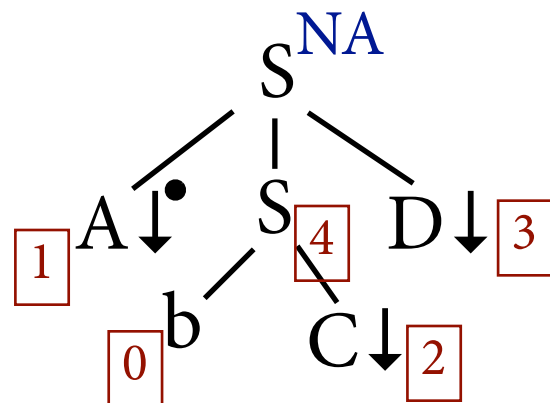


$$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A) \quad 1$$

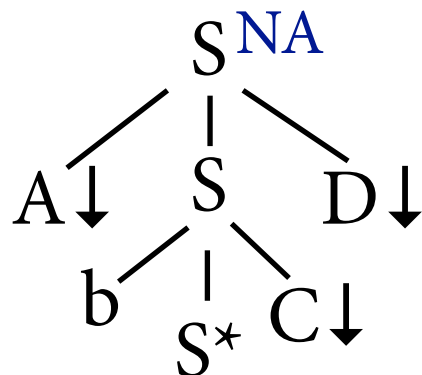


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

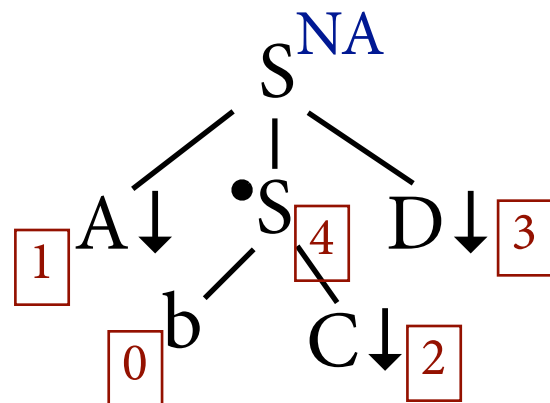


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A) \quad 1$$

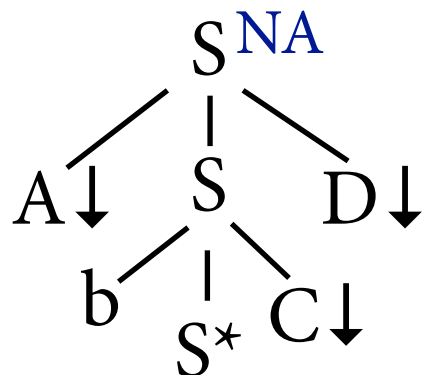


Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA

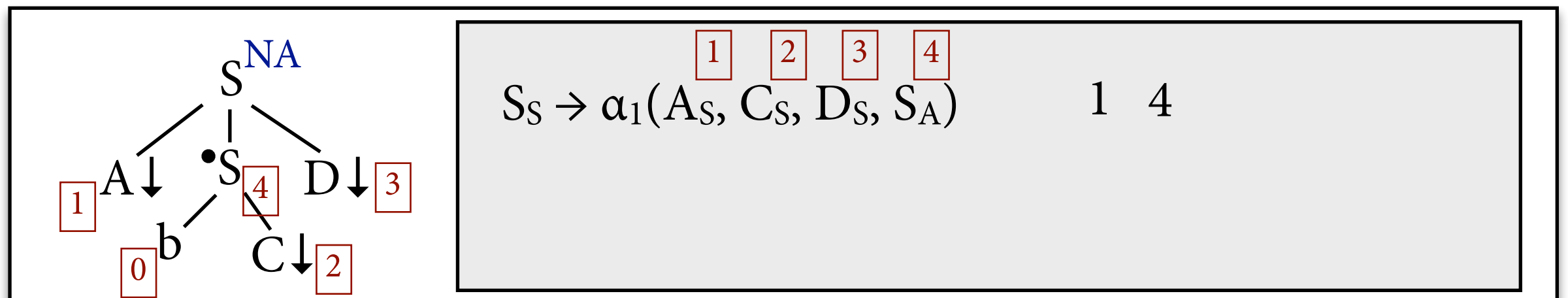


$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1$$



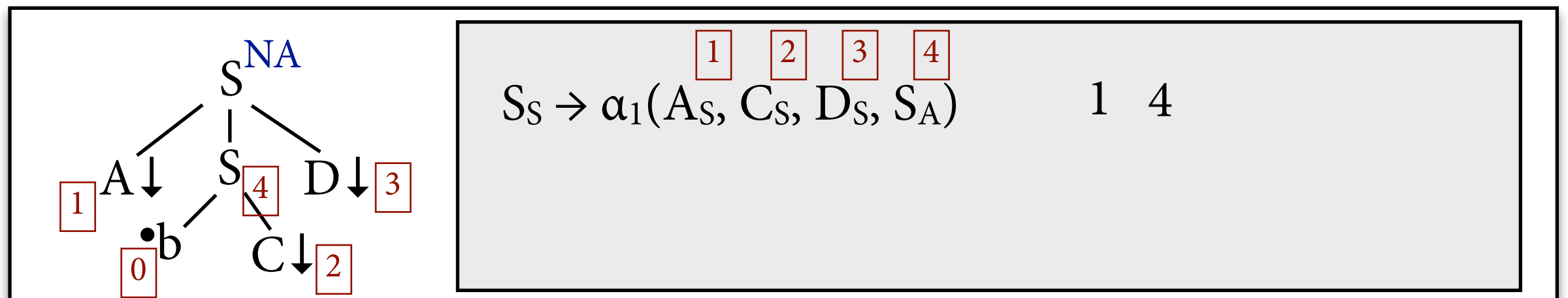
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



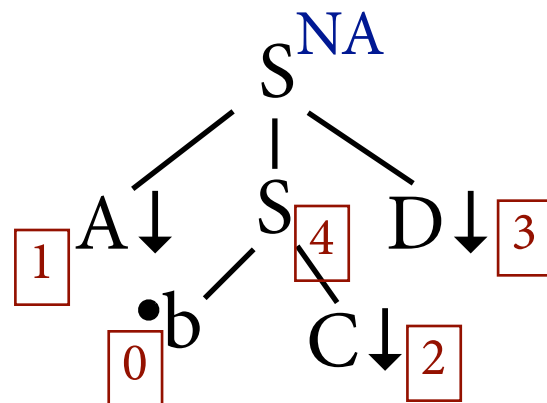
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



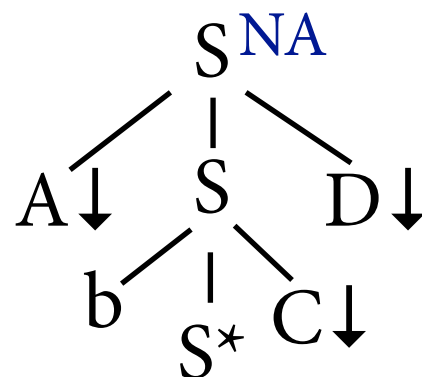
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



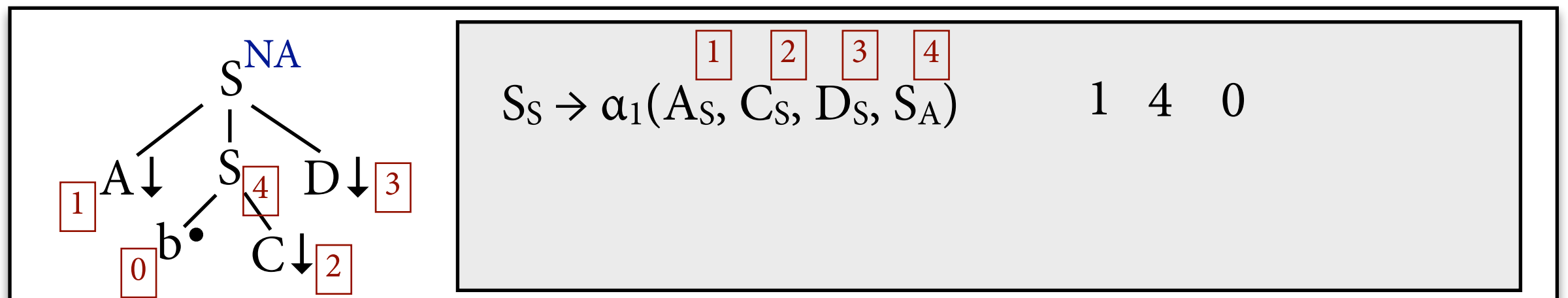
$$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$$

1 4 0



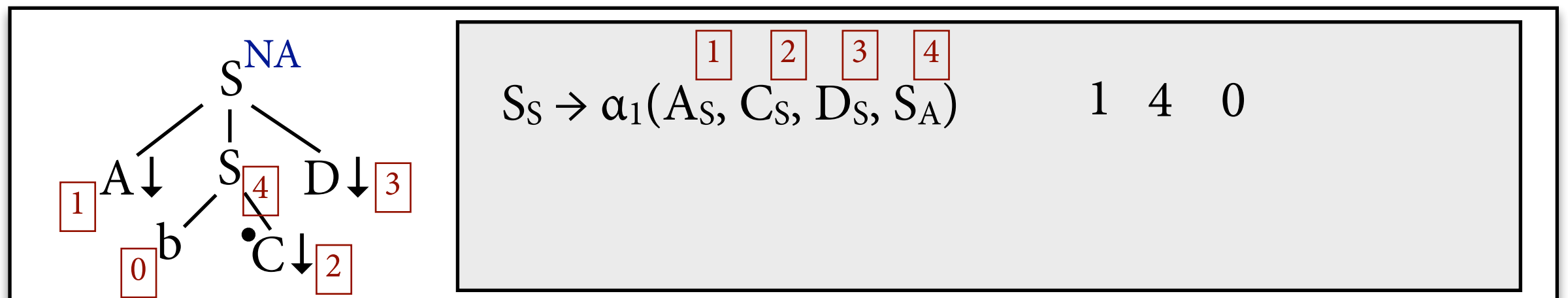
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



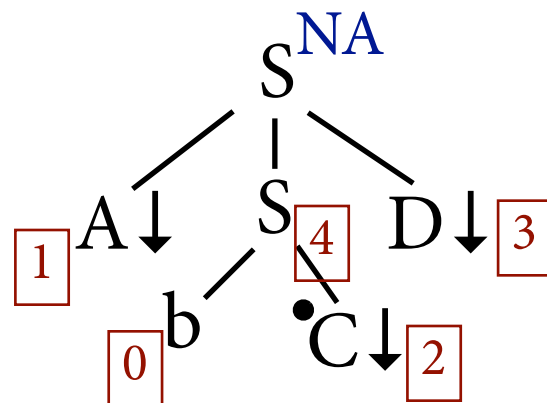
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



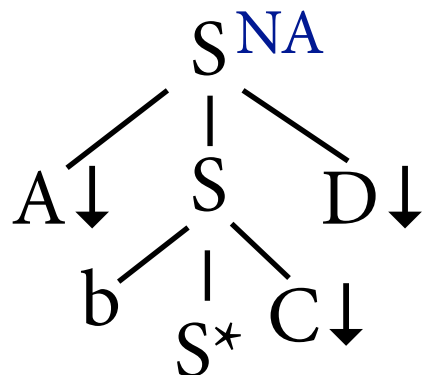
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



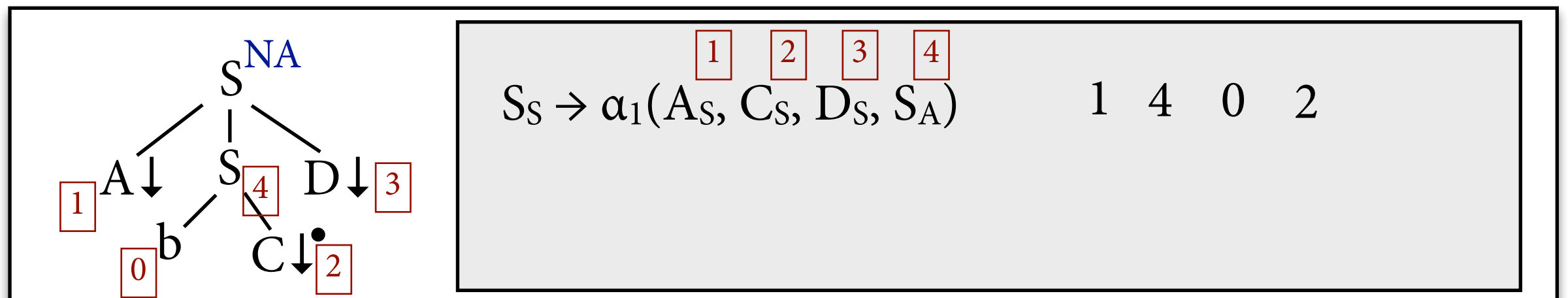
$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$

 $\boxed{1}$ $\boxed{2}$ $\boxed{3}$ $\boxed{4}$
1 4 0 2



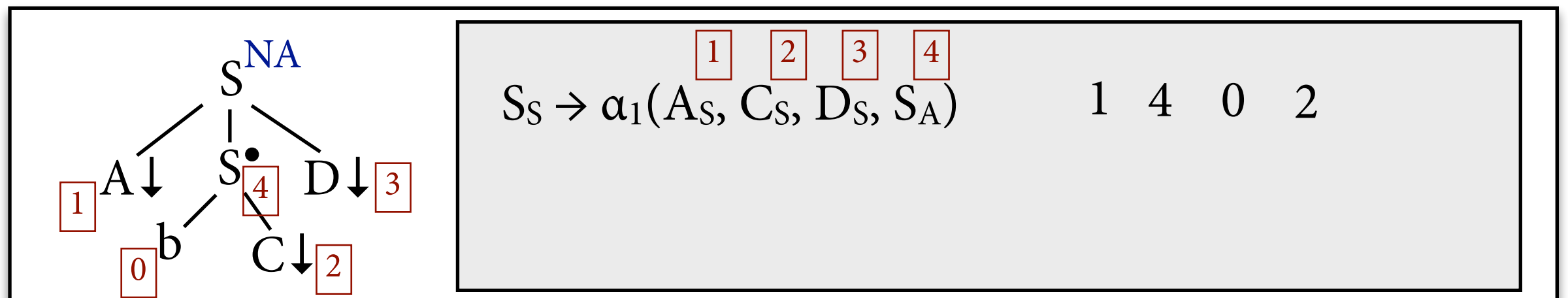
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



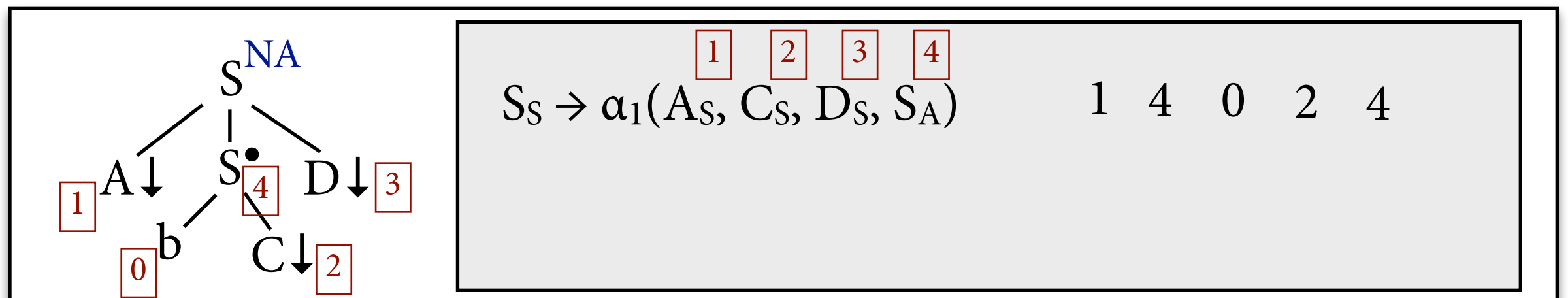
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



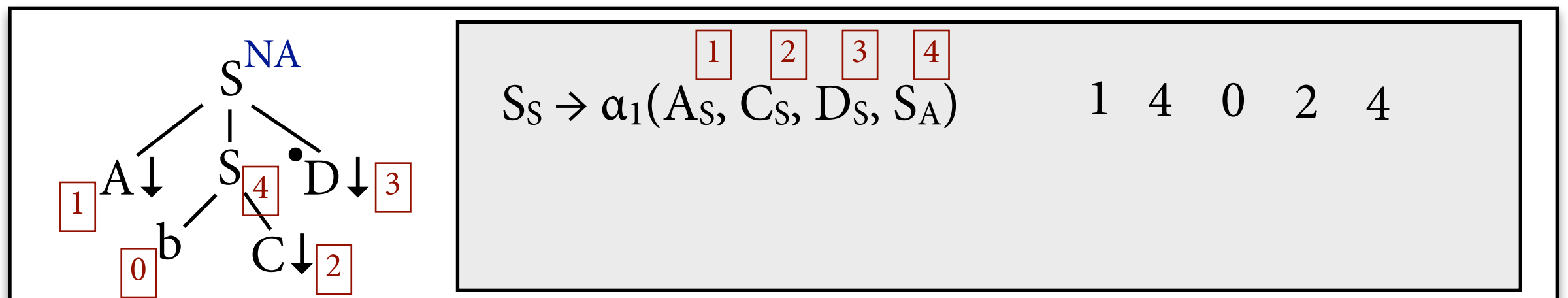
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



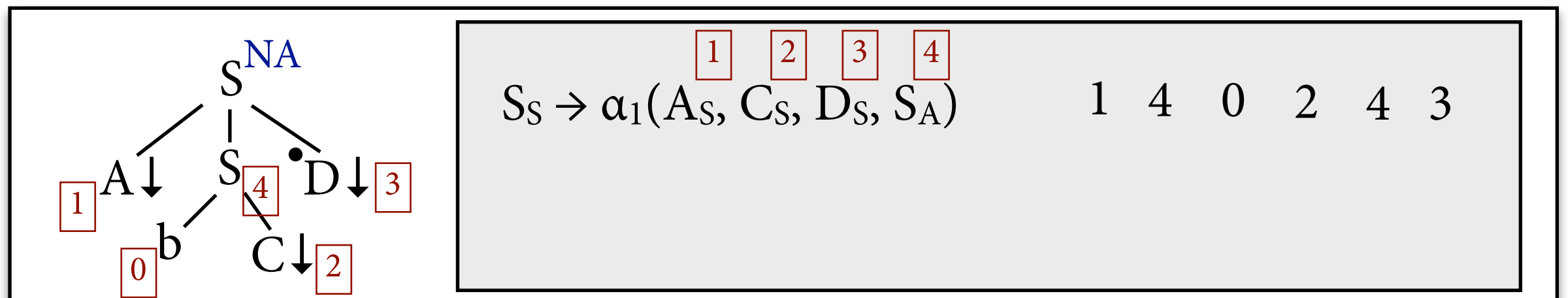
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



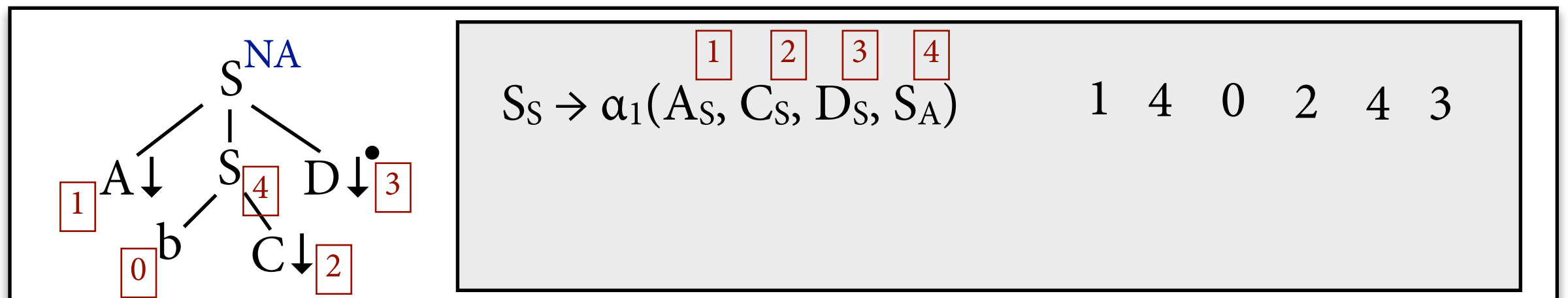
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



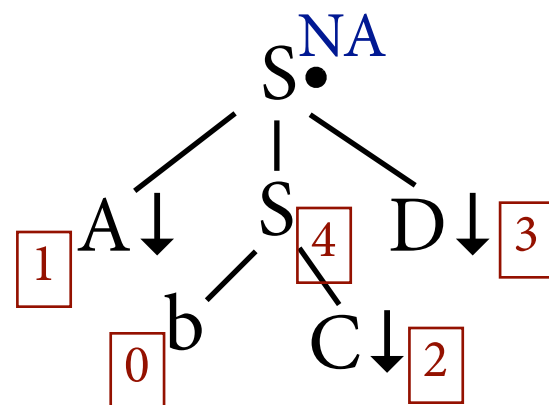
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



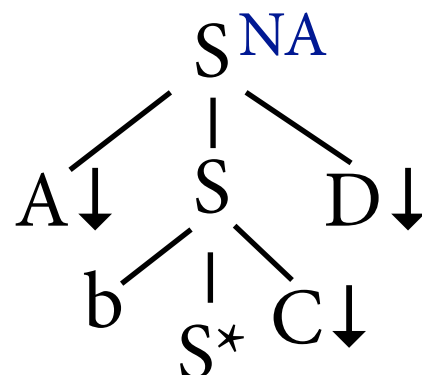
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



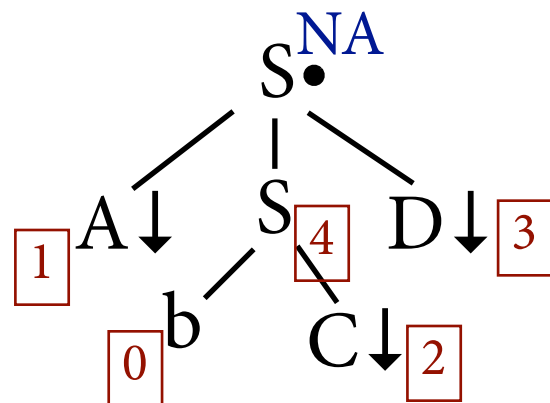
$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$

 $\boxed{1} \quad \boxed{2} \quad \boxed{3} \quad \boxed{4}$
1 4 0 2 4 3



Ordnungsannotationen für TAG

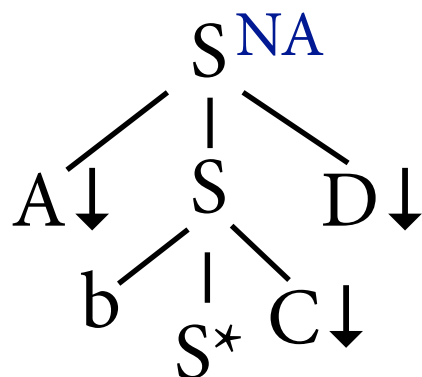
- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$

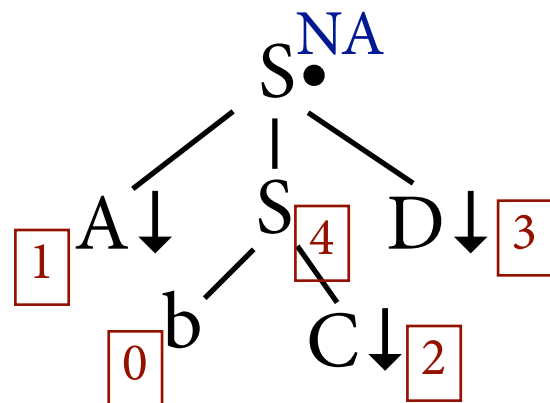
 $\boxed{1} \quad \boxed{2} \quad \boxed{3} \quad \boxed{4}$
1 4 0 2 4 3

$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$



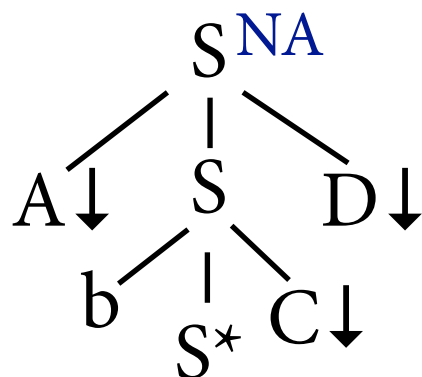
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(A_S, C_S, D_S, S_A) \quad \begin{array}{cccccc} \boxed{1} & \boxed{2} & \boxed{3} & \boxed{4} & & \\ 1 & 4 & 0 & 2 & 4 & 3 \end{array}$$

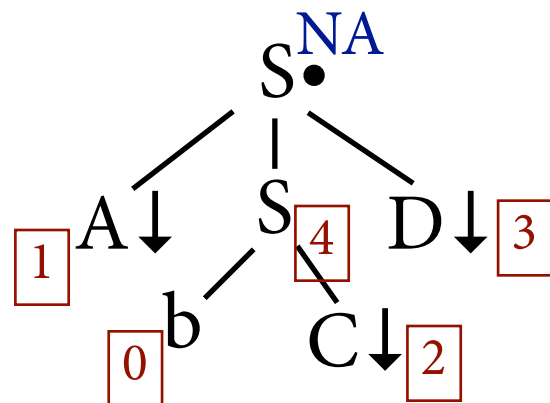
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(A_S, C_S, D_S, S_A)$$

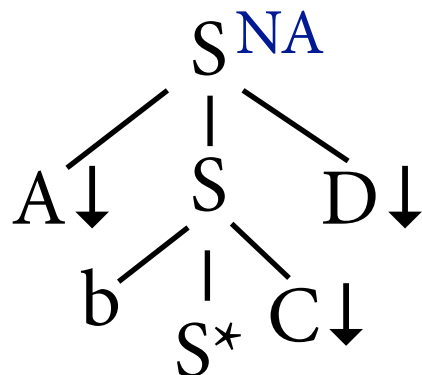
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \quad 4 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

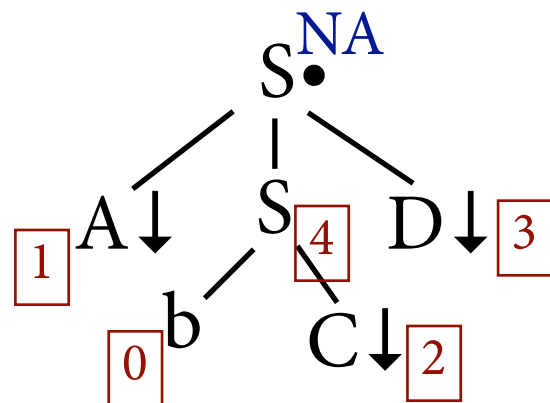
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

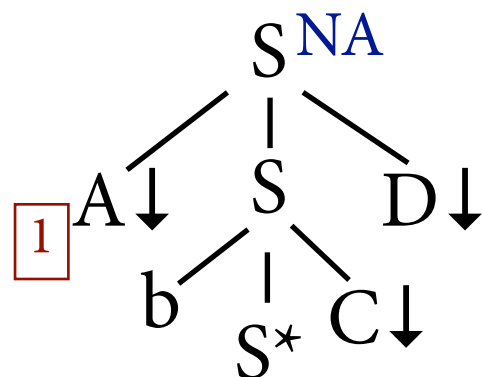
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \quad 4 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

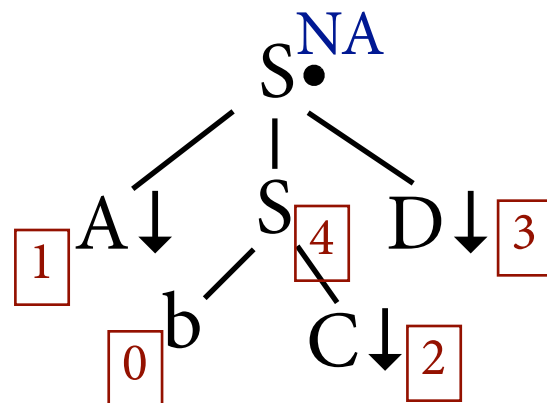
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

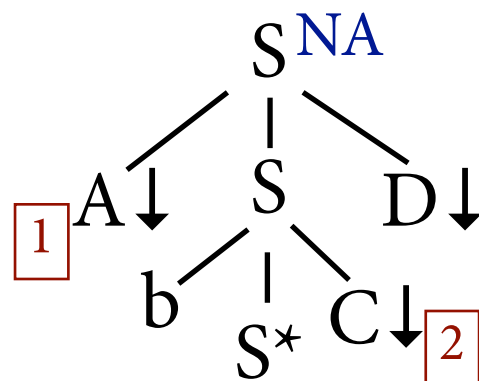
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \quad 4 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

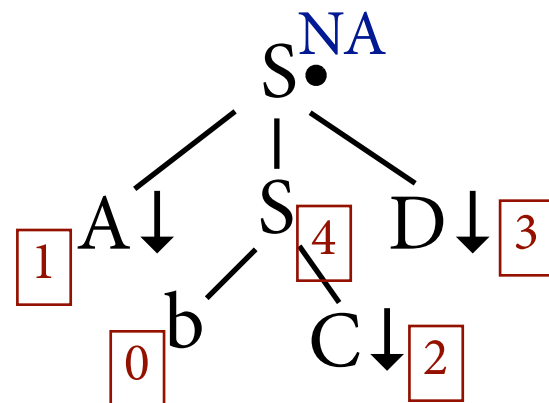
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

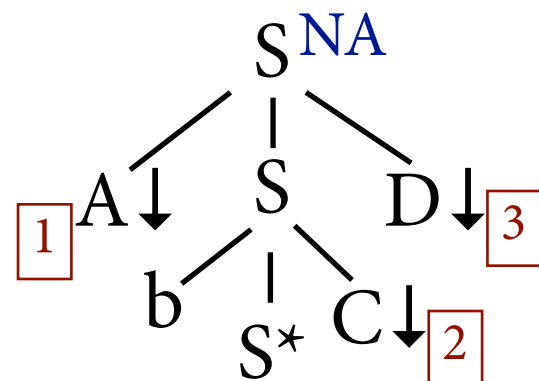
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \quad 4 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

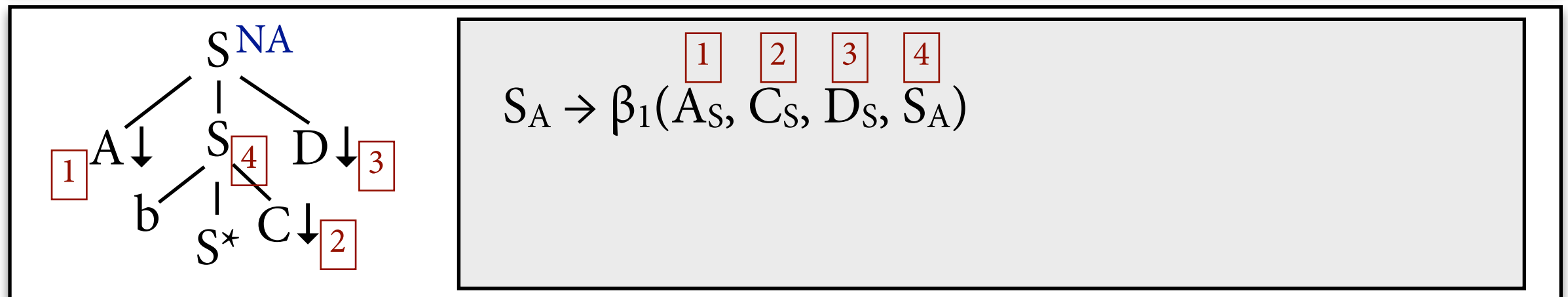
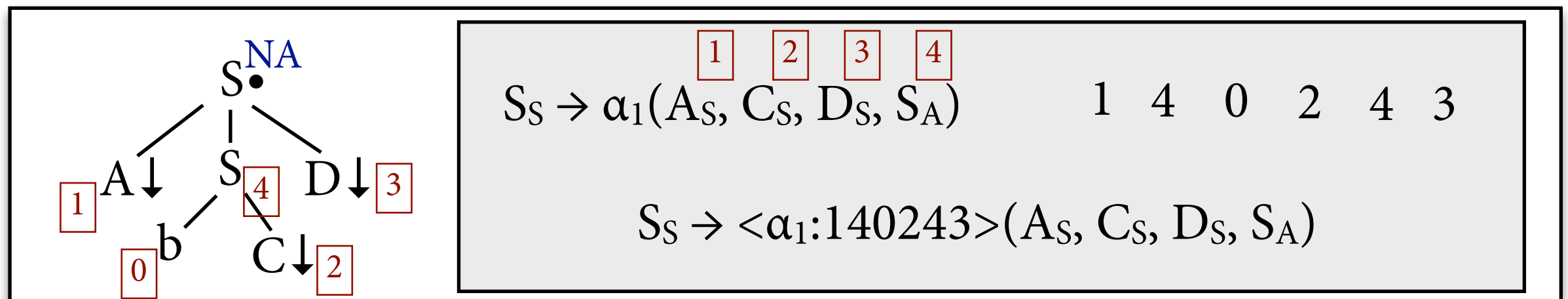
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

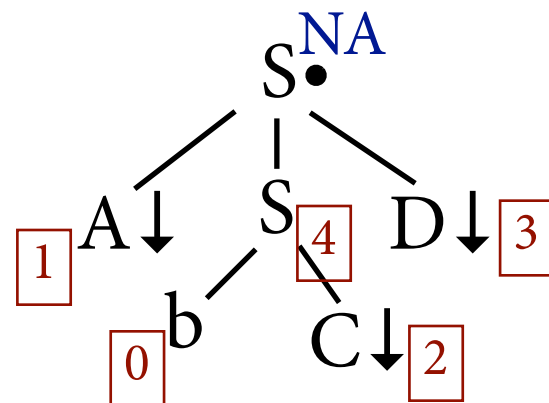
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



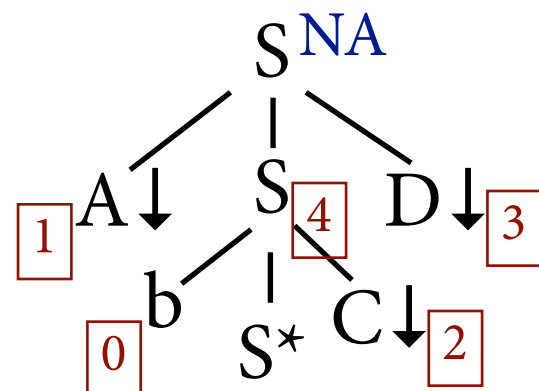
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \quad 4 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

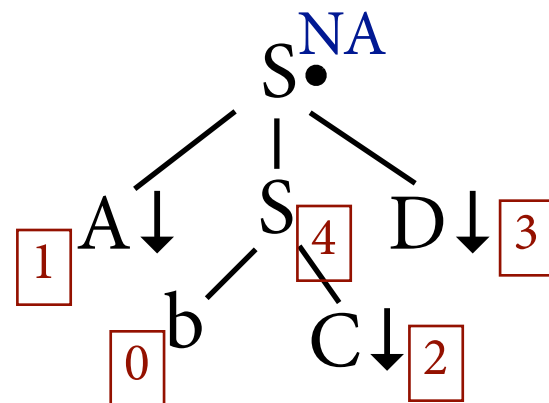
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

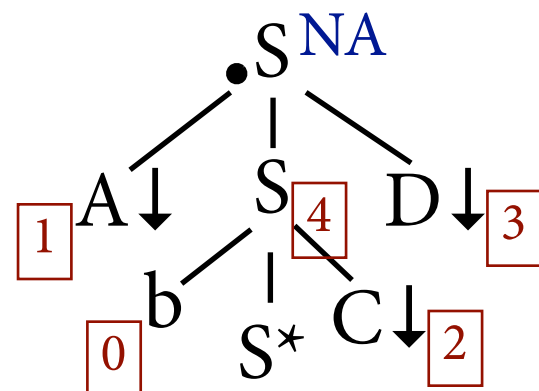
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \quad 4 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

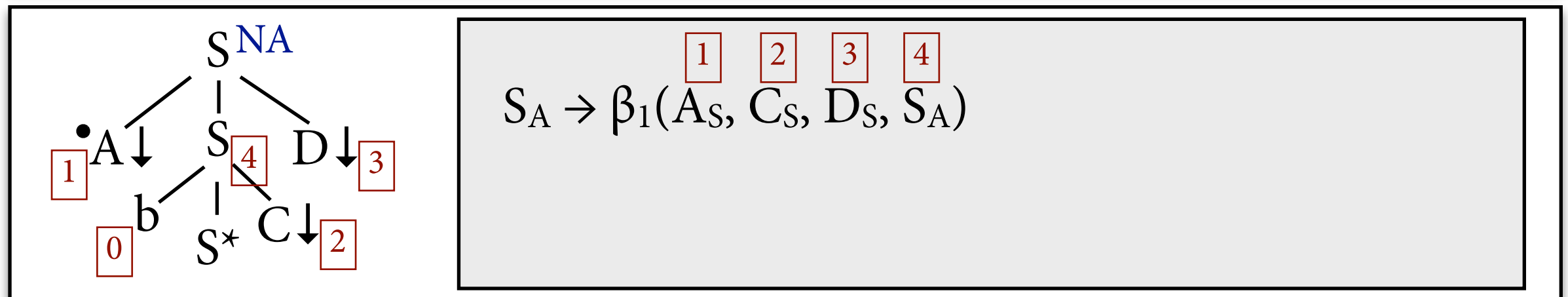
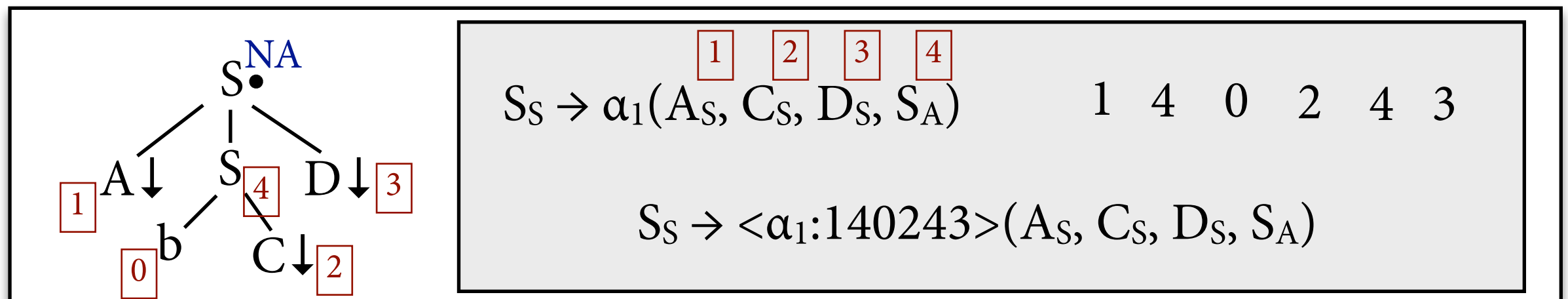
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A})$$

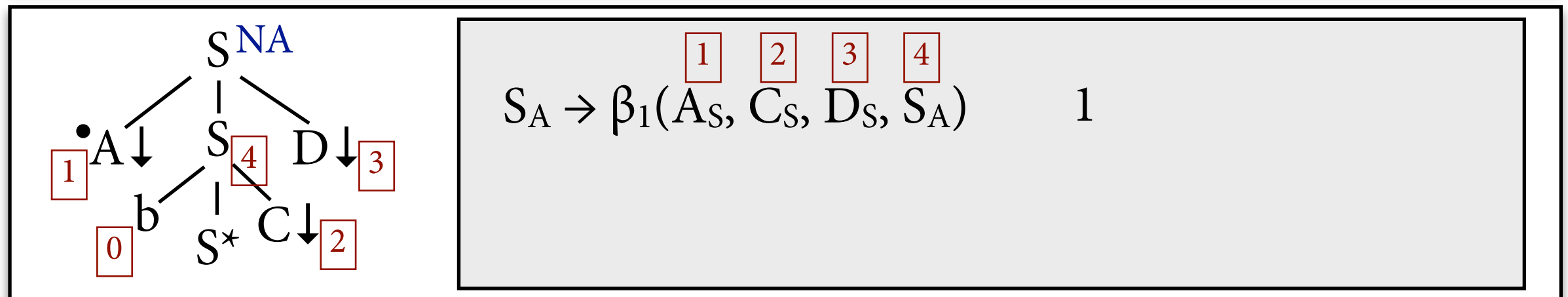
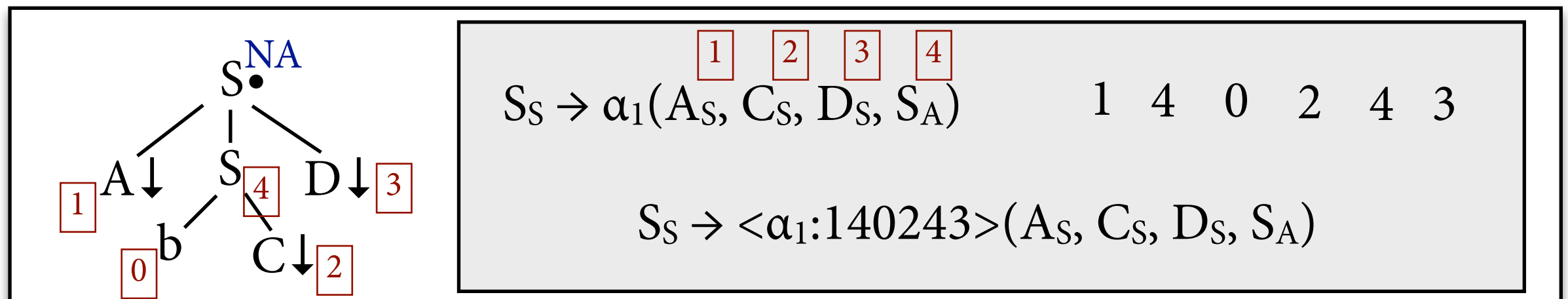
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



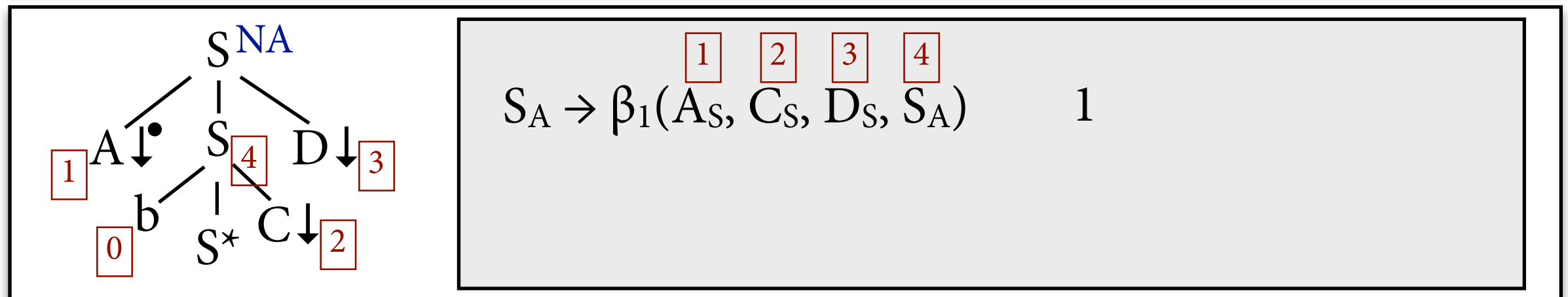
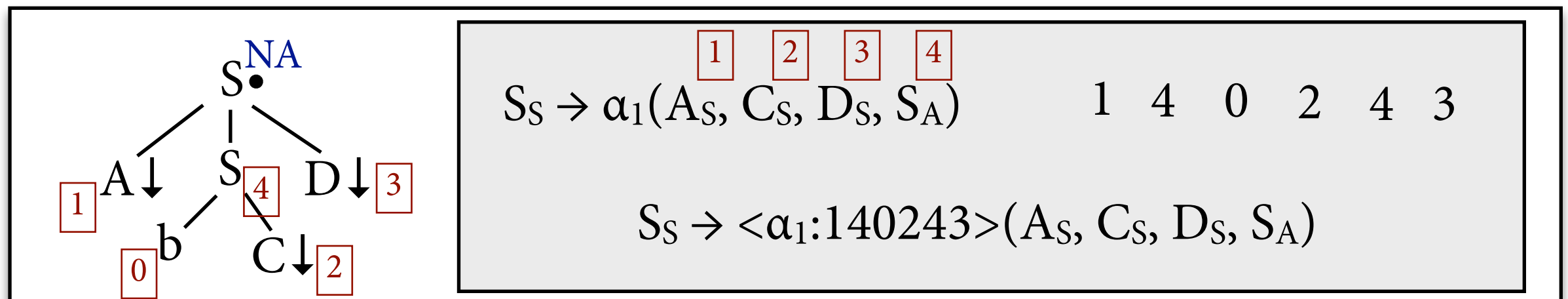
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



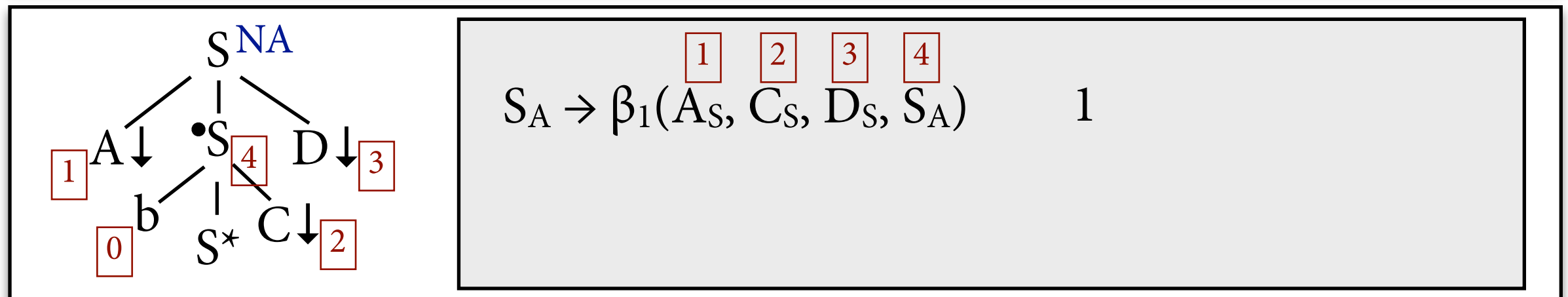
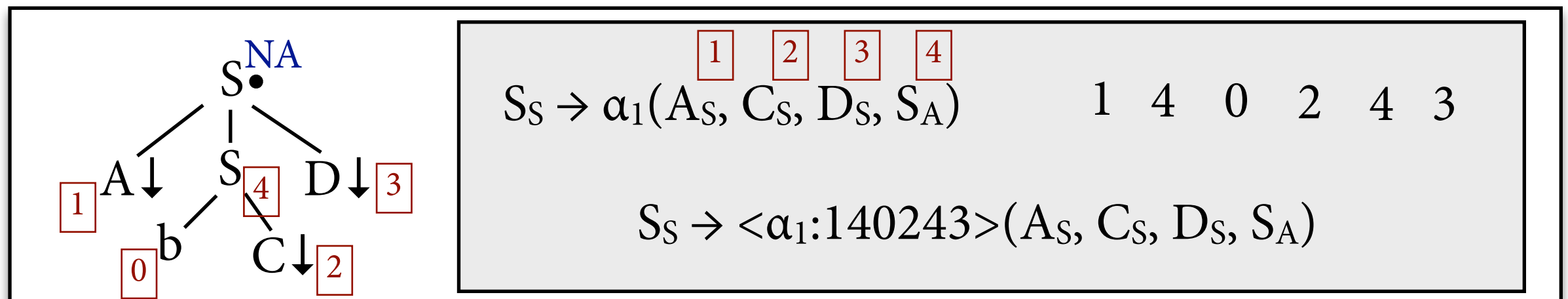
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



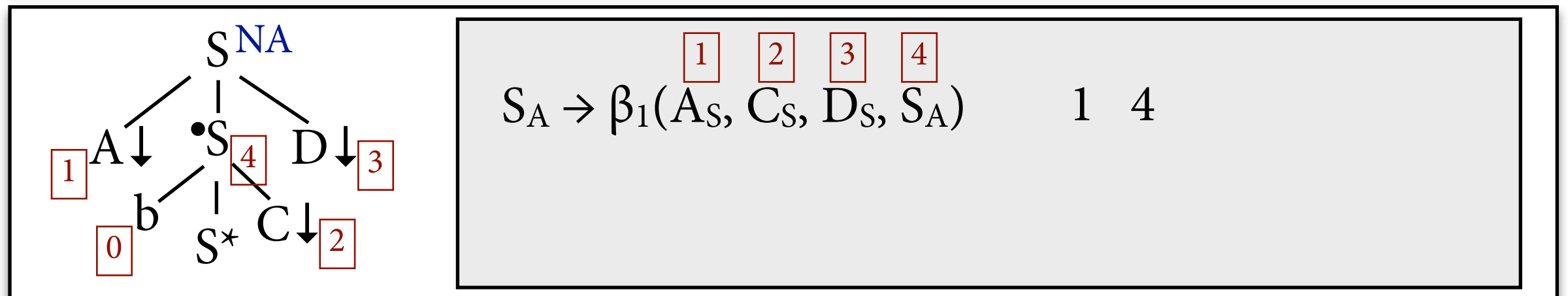
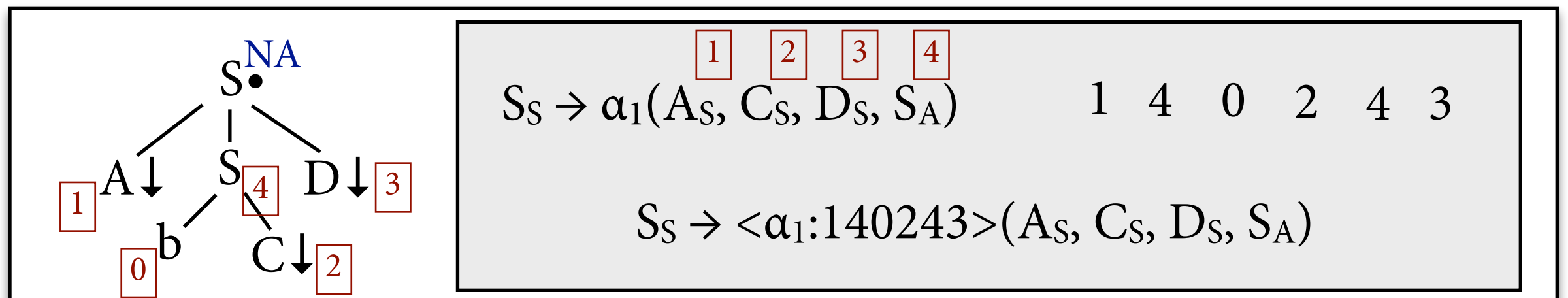
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



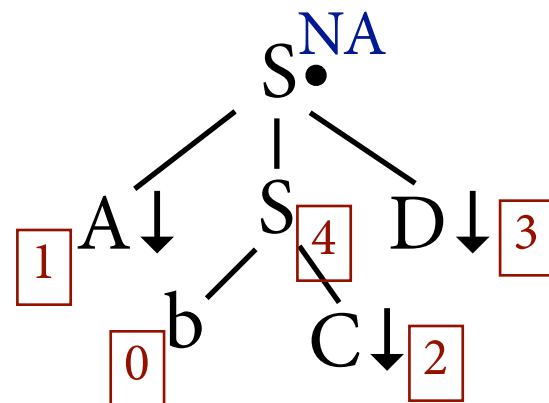
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



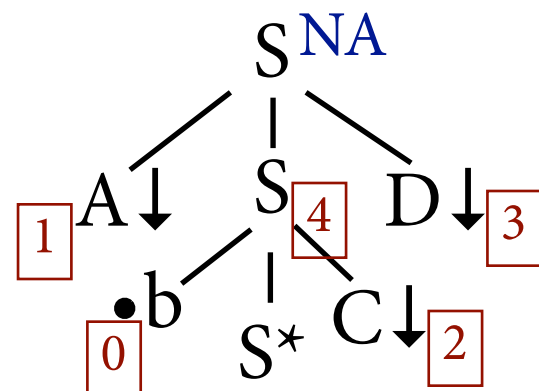
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

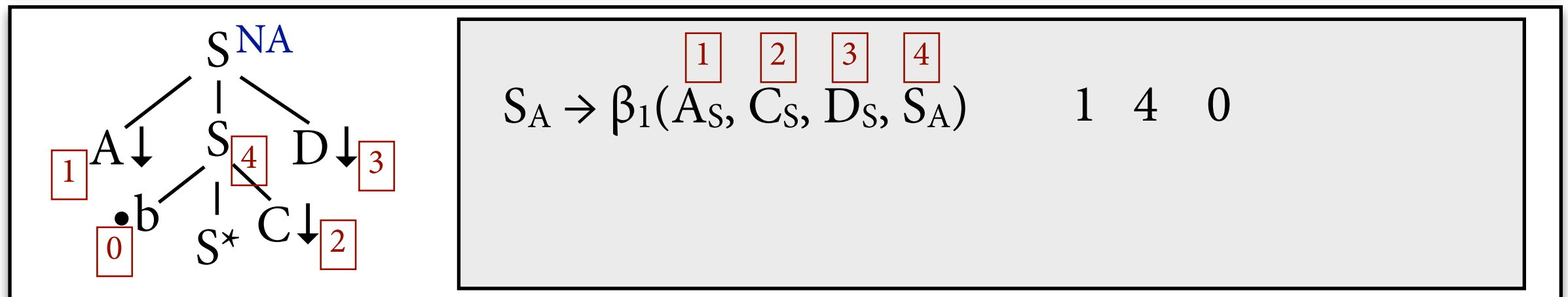
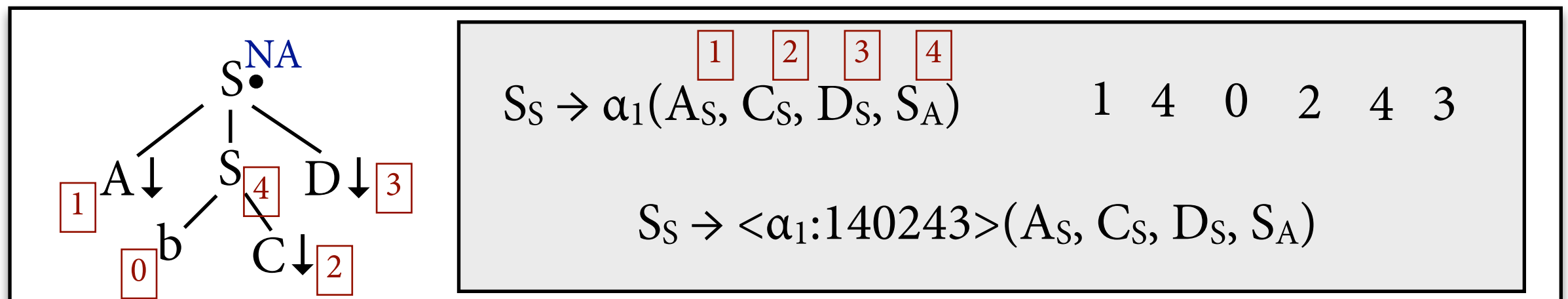
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A) \quad 1 \ 4$$

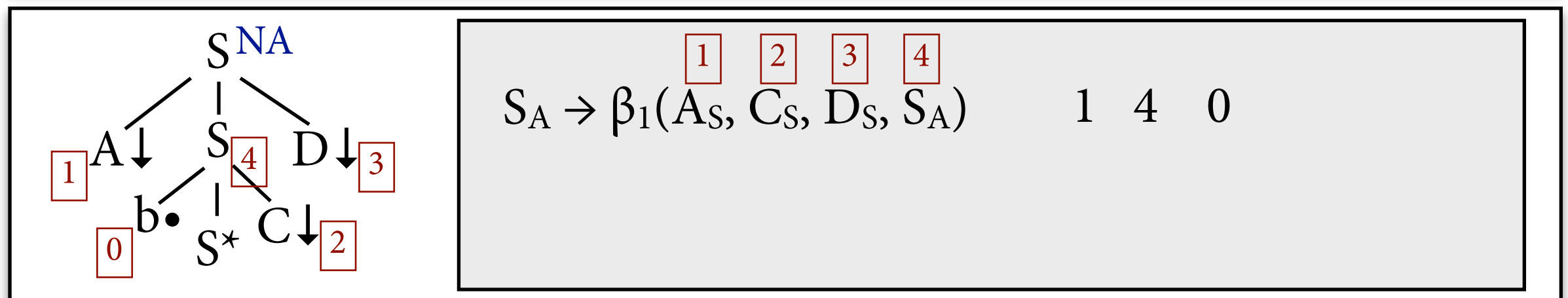
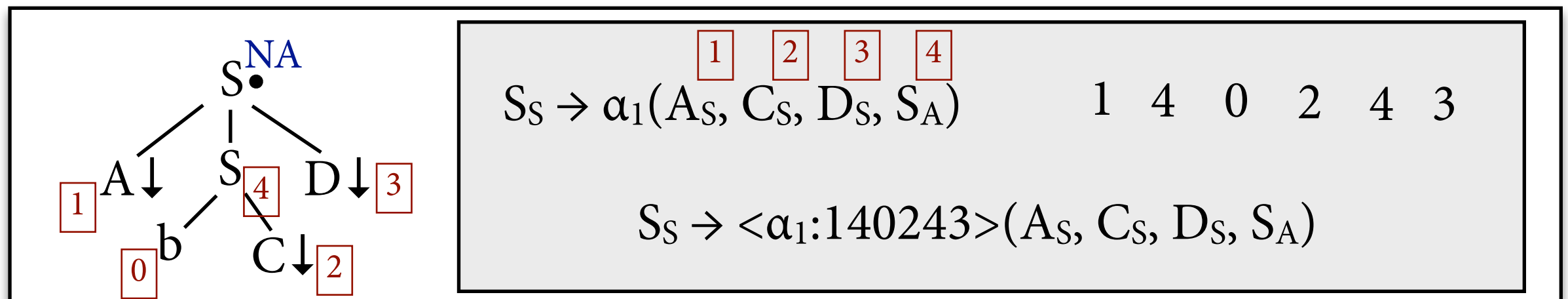
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



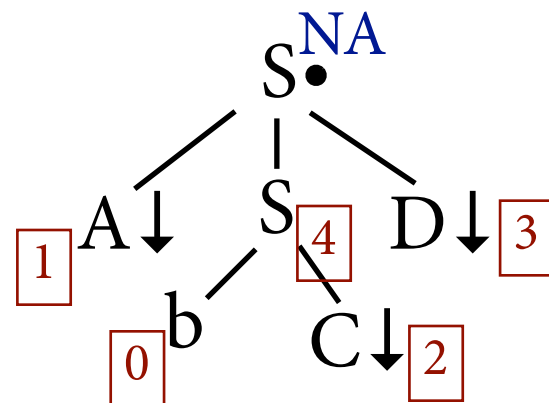
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



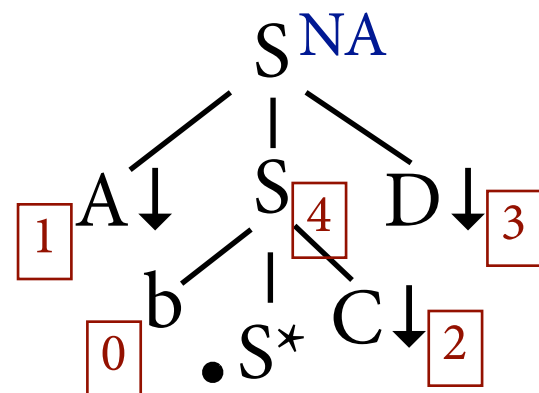
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

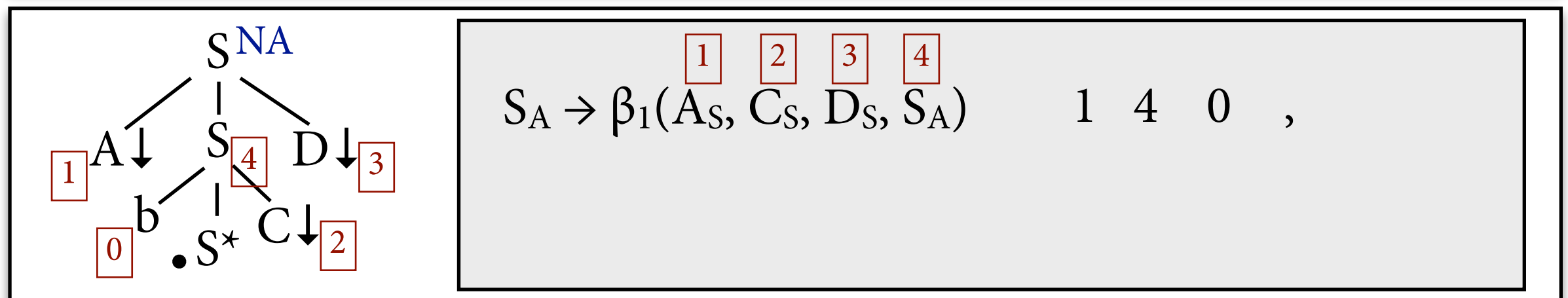
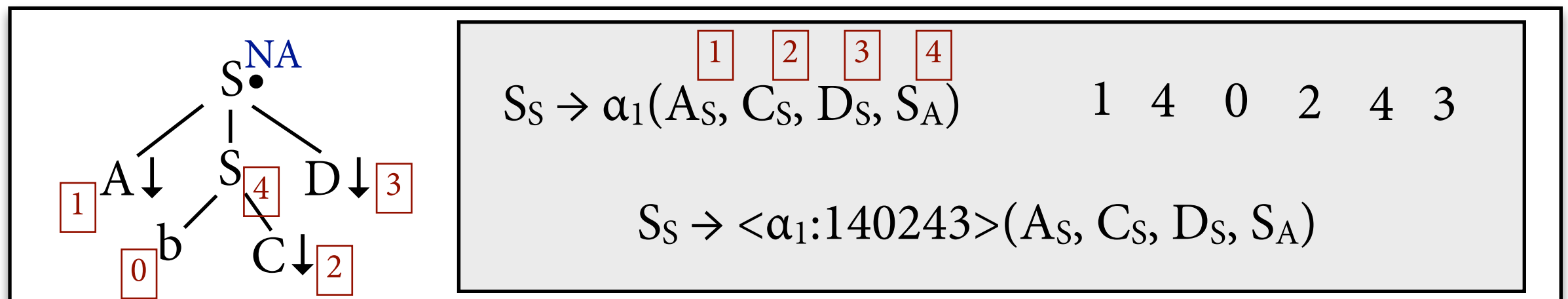
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0$$

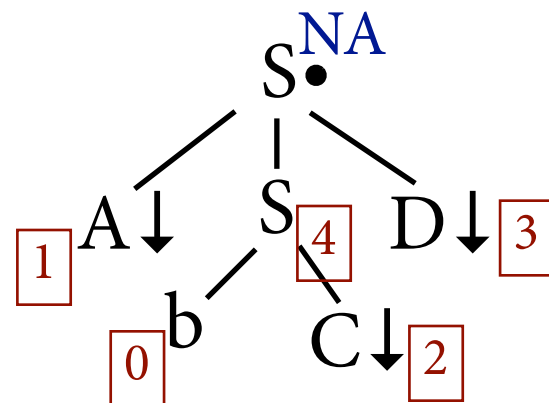
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



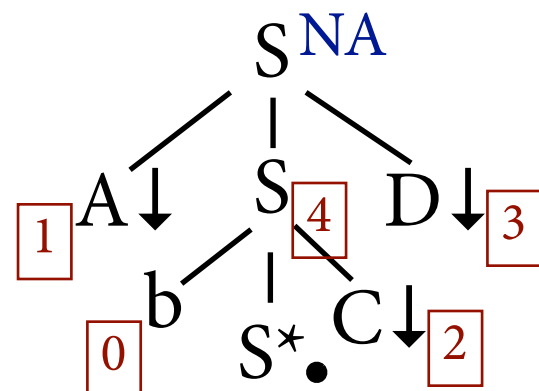
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{1}{A_S}, \overset{2}{C_S}, \overset{3}{D_S}, \overset{4}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

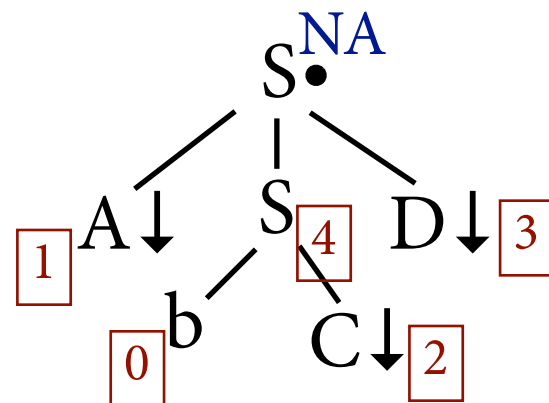
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{1}{A_S}, \overset{2}{C_S}, \overset{3}{D_S}, \overset{4}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ ,$$

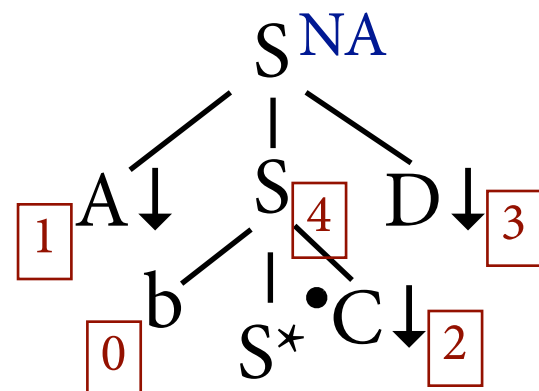
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

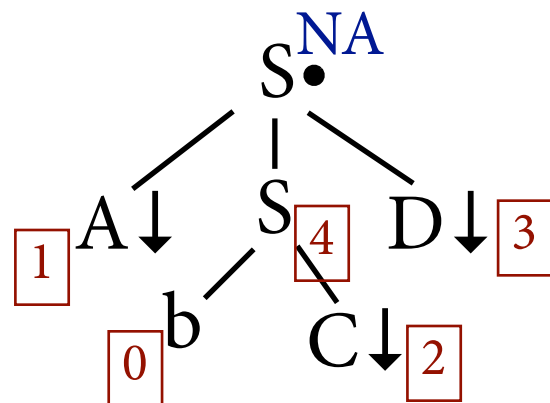
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ ,$$

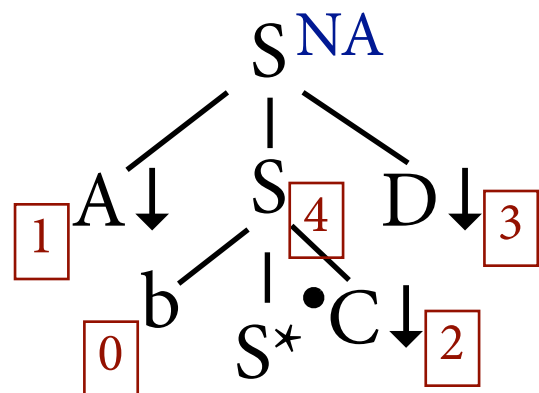
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

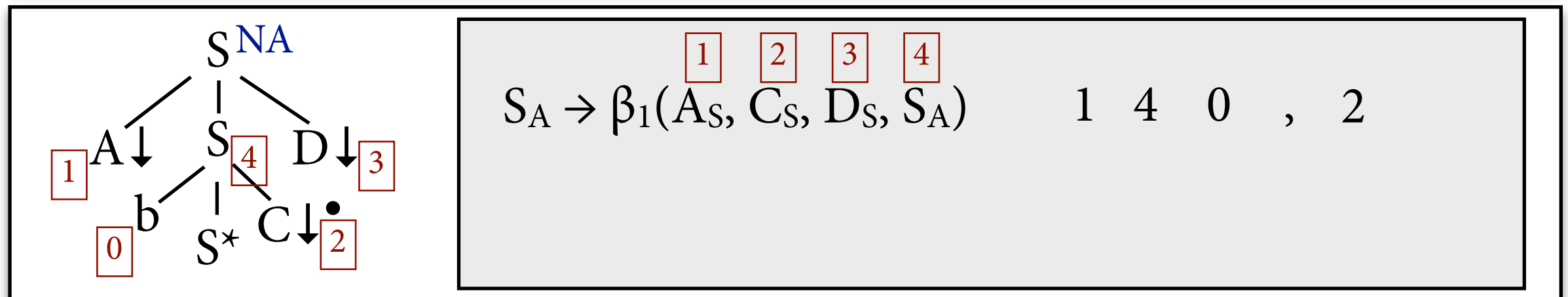
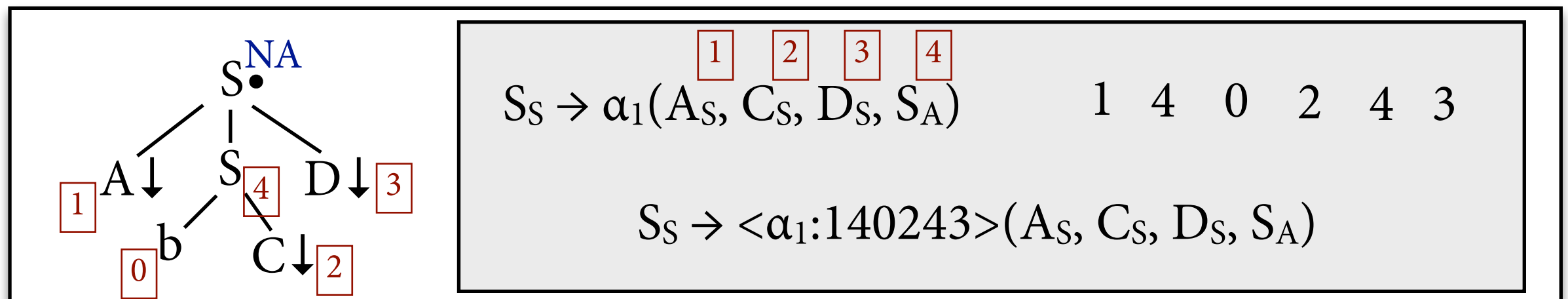
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ , \ 2$$

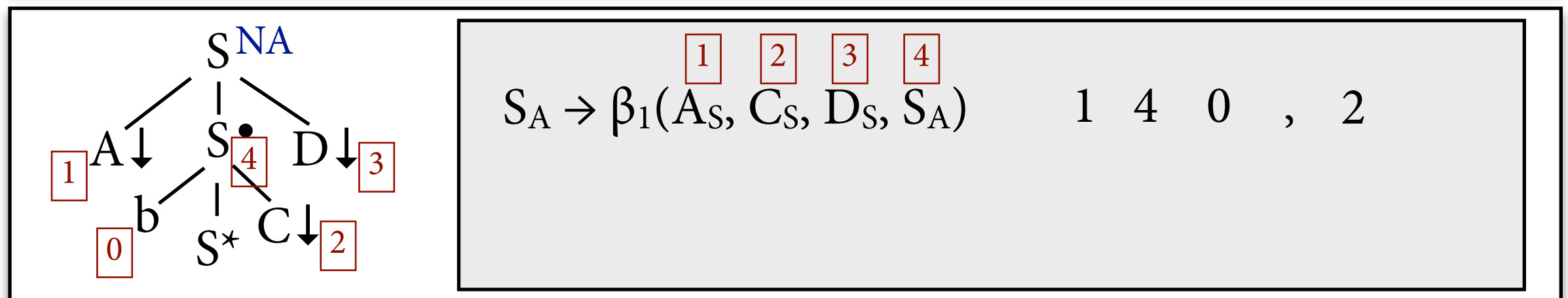
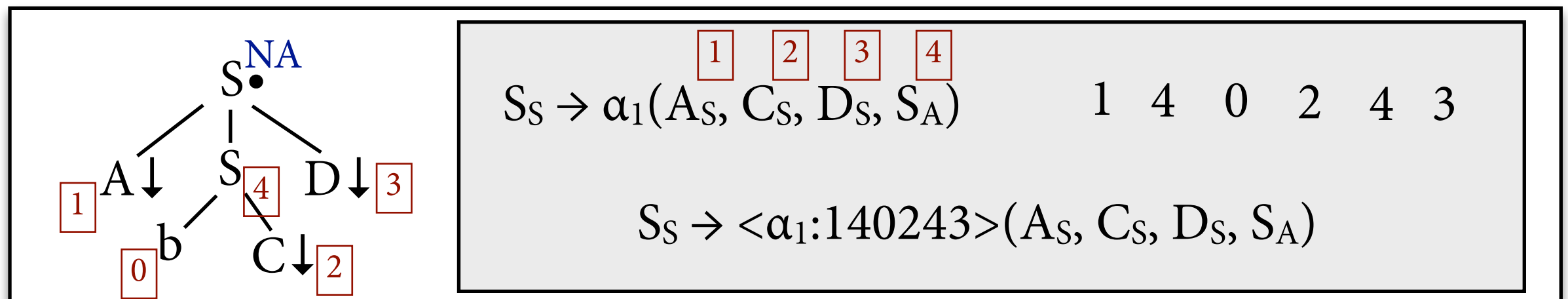
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



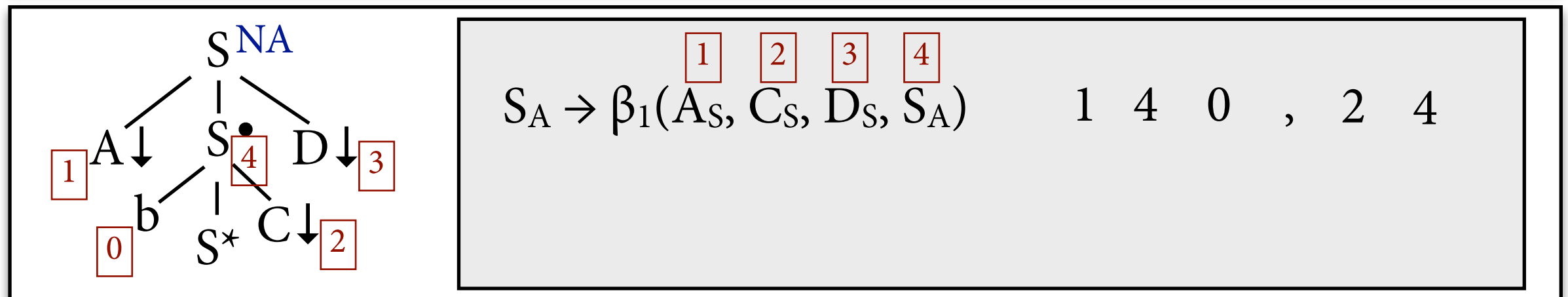
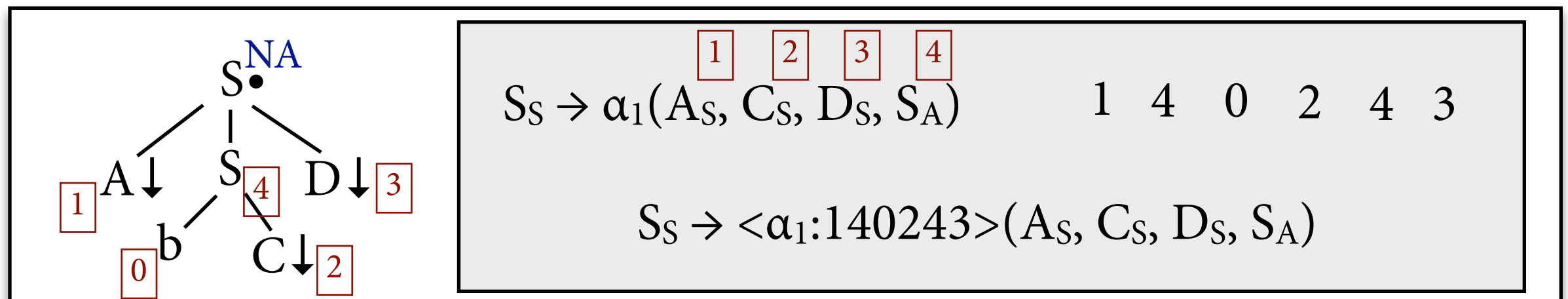
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



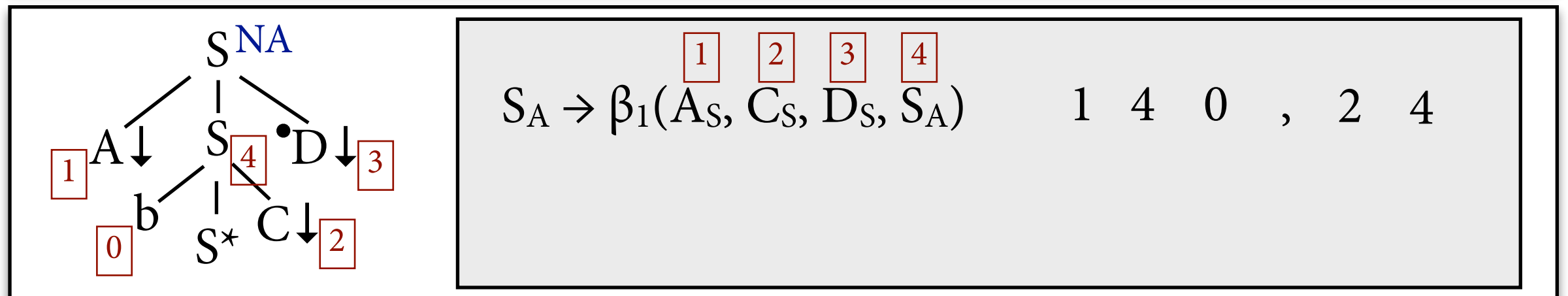
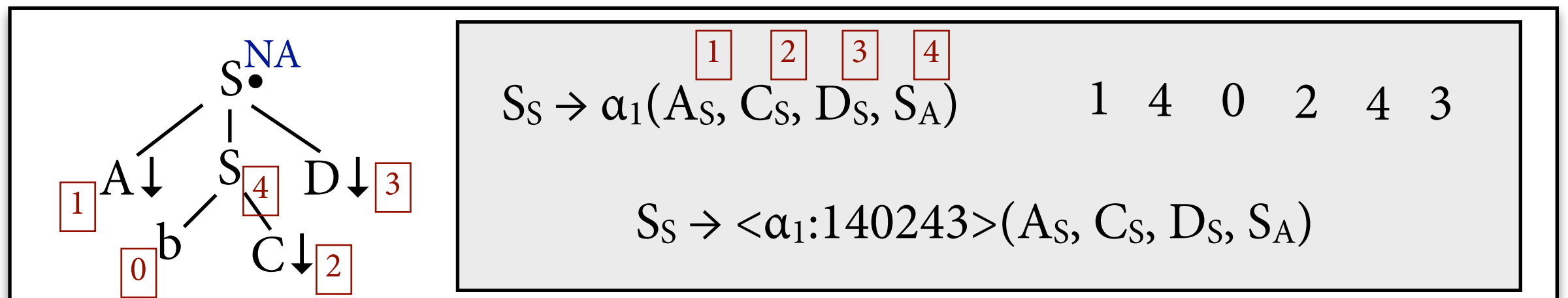
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



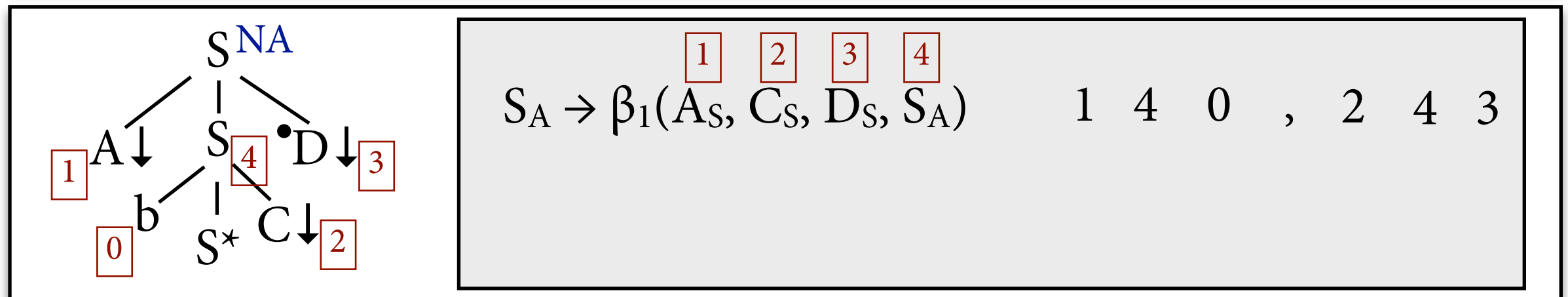
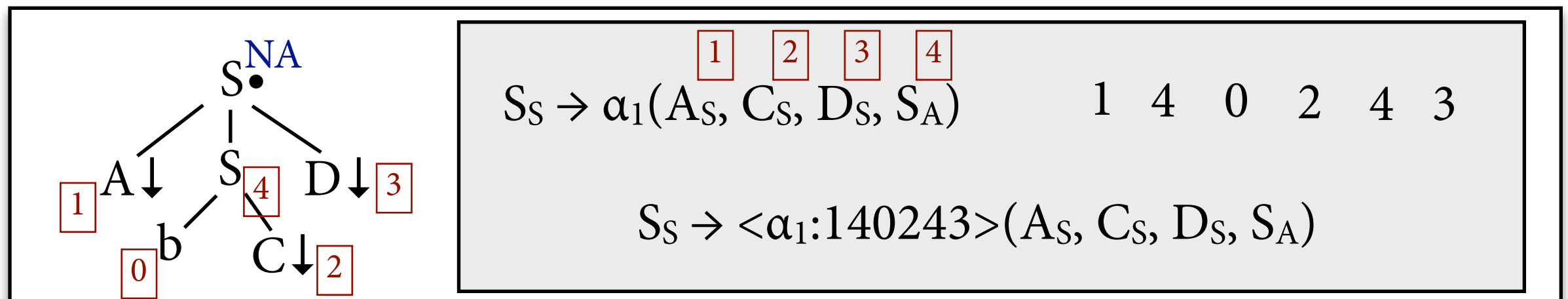
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



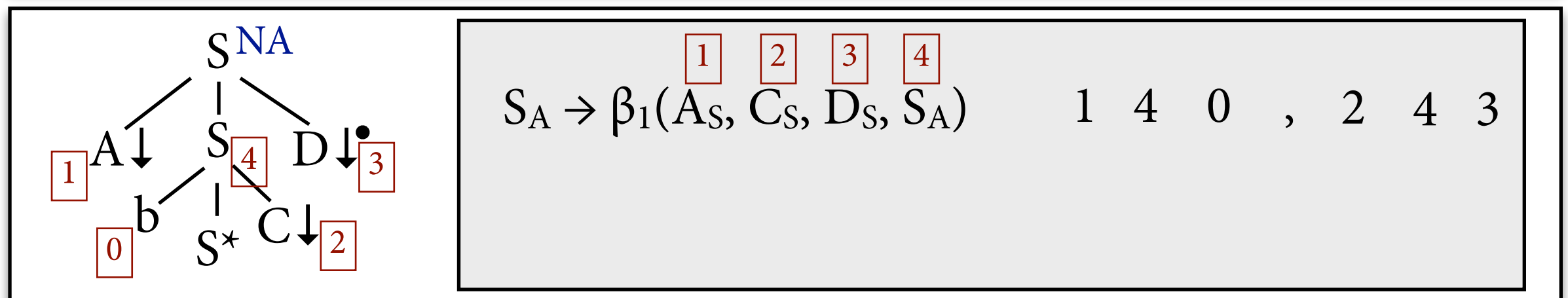
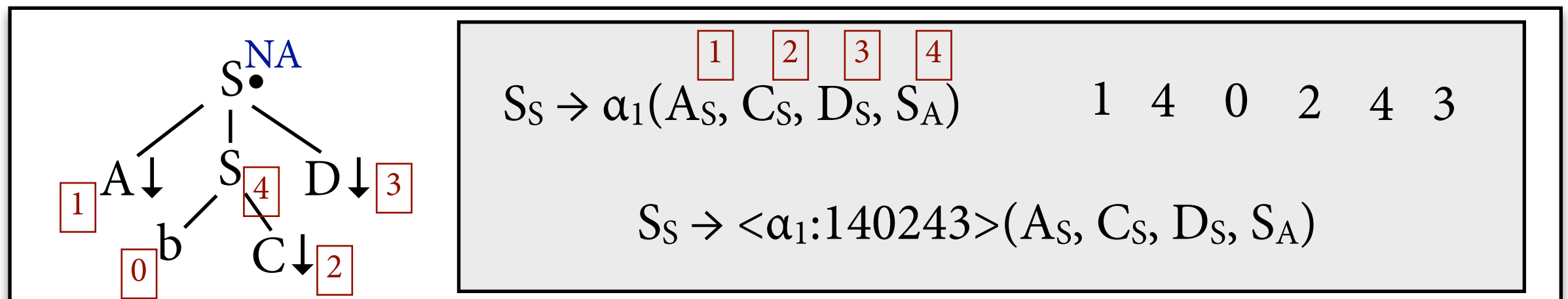
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



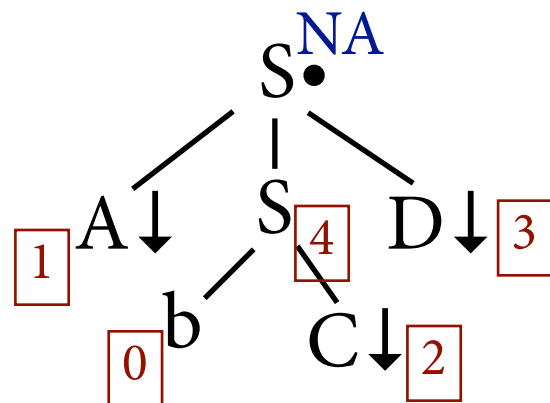
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



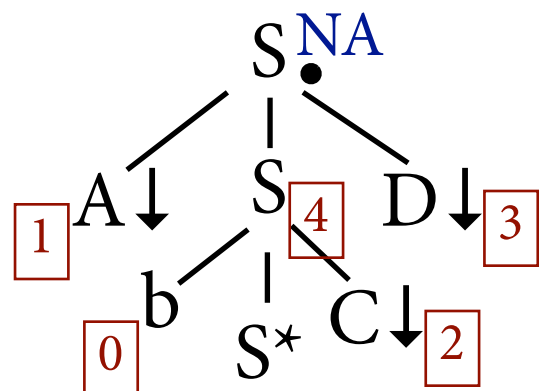
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

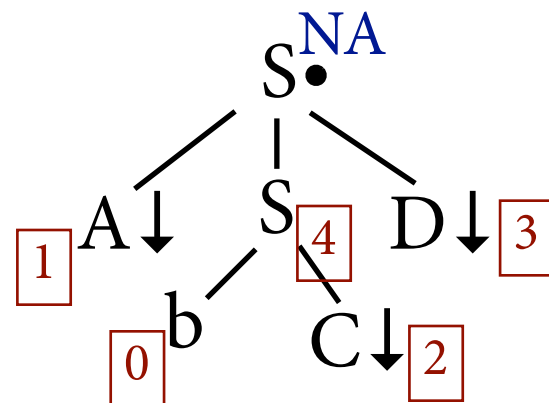
$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$



$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{1}{A}_S, \overset{2}{C}_S, \overset{3}{D}_S, \overset{4}{S}_A) \quad 1 \ 4 \ 0 \ , \ 2 \ 4 \ 3$$

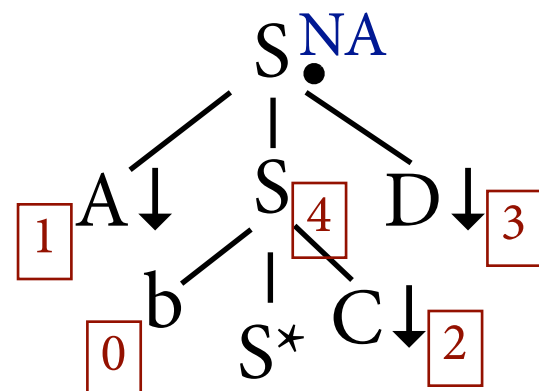
Ordnungsannotationen für TAG

- Tiefensuche durch jeden Elementarbaum:
 - ▶ Besuch von Substitutionsknoten $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch + Verlassen von Knoten, an denen adjungiert werden kann $\rightarrow$ OA
 - ▶ Besuch von Anker $\rightarrow$ 0; von Fußknoten $\rightarrow$ Komma in OA



$$S_S \rightarrow \alpha_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ 2 \ 4 \ 3$$

$$S_S \rightarrow \langle \alpha_1: 140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$

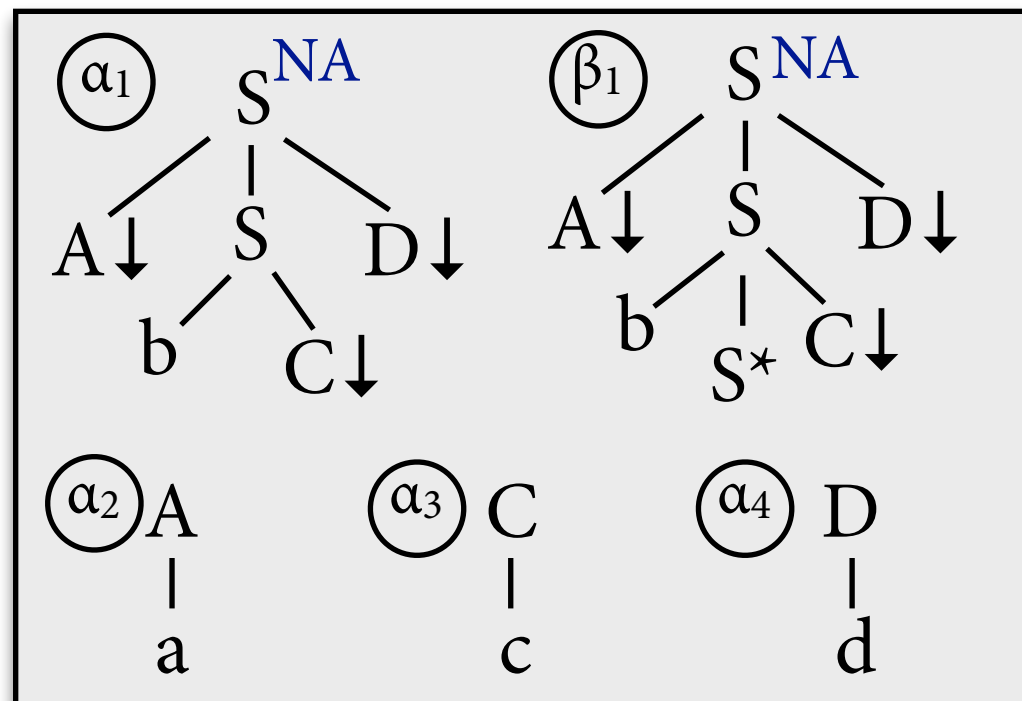


$$S_A \rightarrow \beta_1(\overset{\boxed{1}}{A_S}, \overset{\boxed{2}}{C_S}, \overset{\boxed{3}}{D_S}, \overset{\boxed{4}}{S_A}) \quad 1 \ 4 \ 0 \ , \ 2 \ 4 \ 3$$

$$S_A \rightarrow \langle \beta_1: 140,243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$$

LTAG → RDG: Grammatiken

- Auf diese Weise OAen an jede Regel:
 - ▶ Initialbäume/Substitution: Blockgrad 1
 - ▶ Auxiliarbäume/Adjunktion: Blockgrad 2
 - ▶ Adjunktion ist optional, daher Varianten mit und ohne Adjunktion an jedem Knoten, z.B. 140243 und 1023.



LTAG-Grammatik

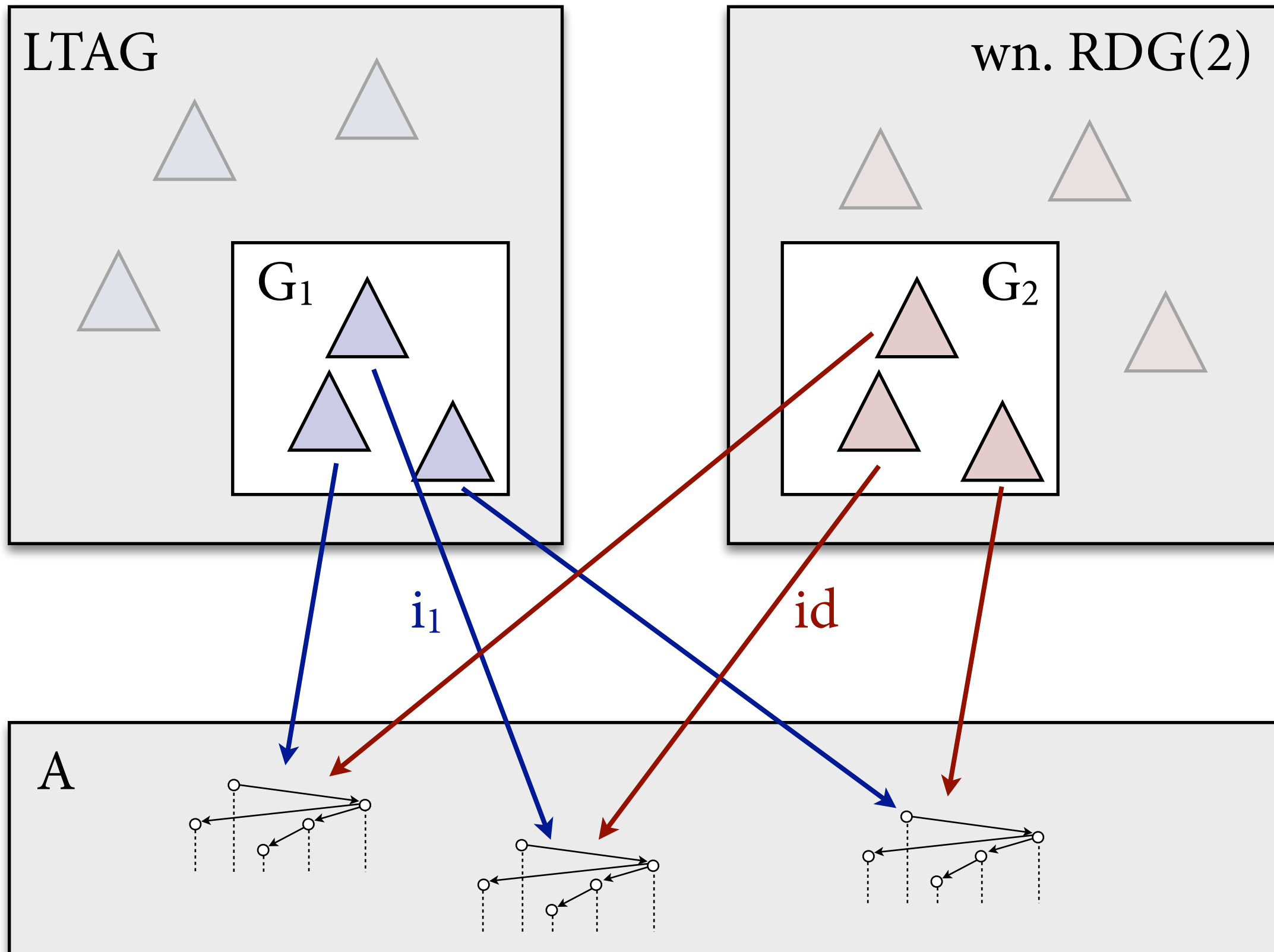
$S_S \rightarrow \langle \alpha_1:140243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$
 $S_S \rightarrow \langle \alpha_1:1023 \rangle (A_S, C_S, D_S)$
 $S_A \rightarrow \langle \beta_1:140,243 \rangle (A_S, C_S, D_S, S_A)$
 $S_A \rightarrow \langle \beta_1:10,23 \rangle (A_S, C_S, D_S)$
 $A_S \rightarrow \langle \alpha_2:0 \rangle$ $C_S \rightarrow \langle \alpha_3:0 \rangle$
 $D_S \rightarrow \langle \alpha_4:0 \rangle$

RDG-Grammatik

LTAG $\rightarrow$ RDG

- Kann jede LTAG-Grammatik in stark äquivalente RDG-Grammatik übersetzen.
 - ▶ RDG ist nicht unbedingt projektiv.
 - ▶ Ordnungsannotationen haben höchstens Blockgrad 2.
 - ▶ Außerdem *wohlgeschachtelt* (*well-nested, wn.*):
OAen enthalten niemals Substring der Form $i \dots j \dots i \dots j$
- Umgekehrt jede wohlgeschachtelte RDG-Grammatik von Blockgrad ≤ 2 in LTAG übersetzbar
 $\Rightarrow$ starke Äquivalenz.

Äquivalenz bzgl. Dependenzstrukturen



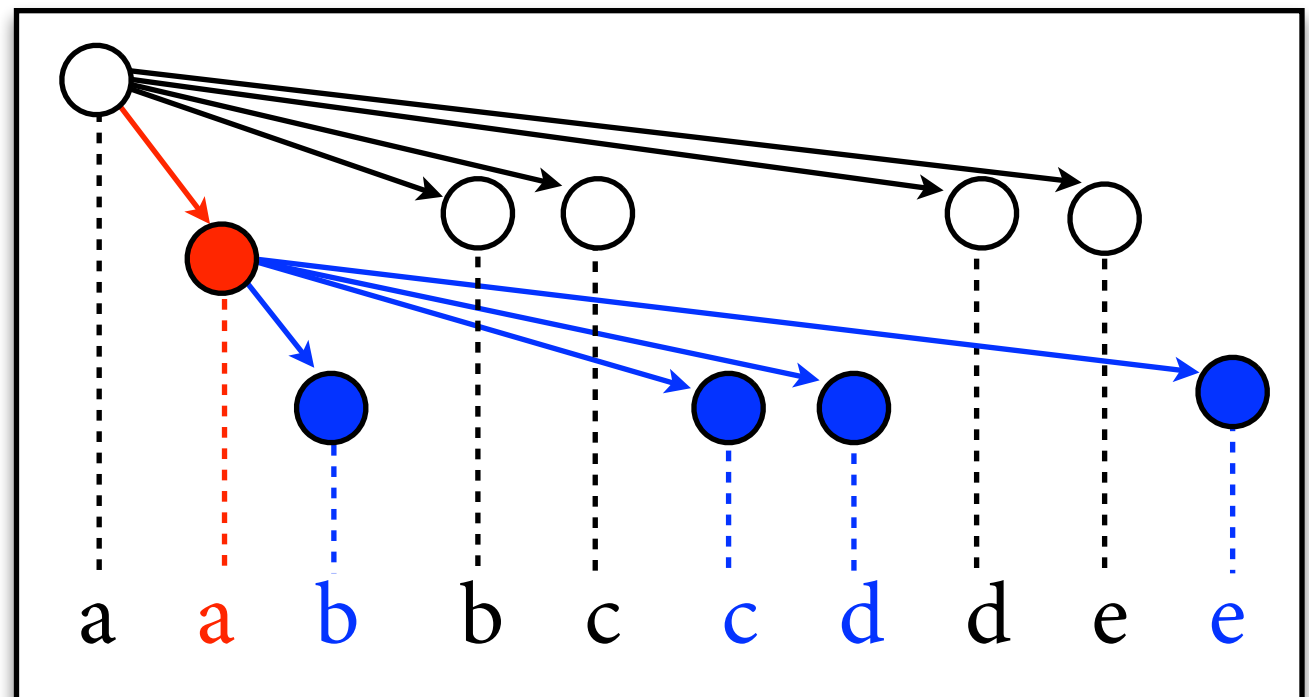
Expressivität von RDG

- Betrachte Stringsprachen für RDGen mit verschiedenem Blockgrad.
 - ▶ Sei $RDL(k)$ die Klasse der Stringsprachen, die man mit RDGen von Blockgrad $\leq k$ darstellen kann.
 - ▶ $RDL(1)$ = kontextfreie Sprachen
 - ▶ $RDL(2)$ (+ wohlgeschachtelt) = TAG-Sprachen
- Was passiert bei höherem Blockgrad?

Expressivität

- RDG von Blockgrad k kann die Sprache $\text{COUNT}(2k)$, aber nicht $\text{COUNT}(2k + 1)$ darstellen.

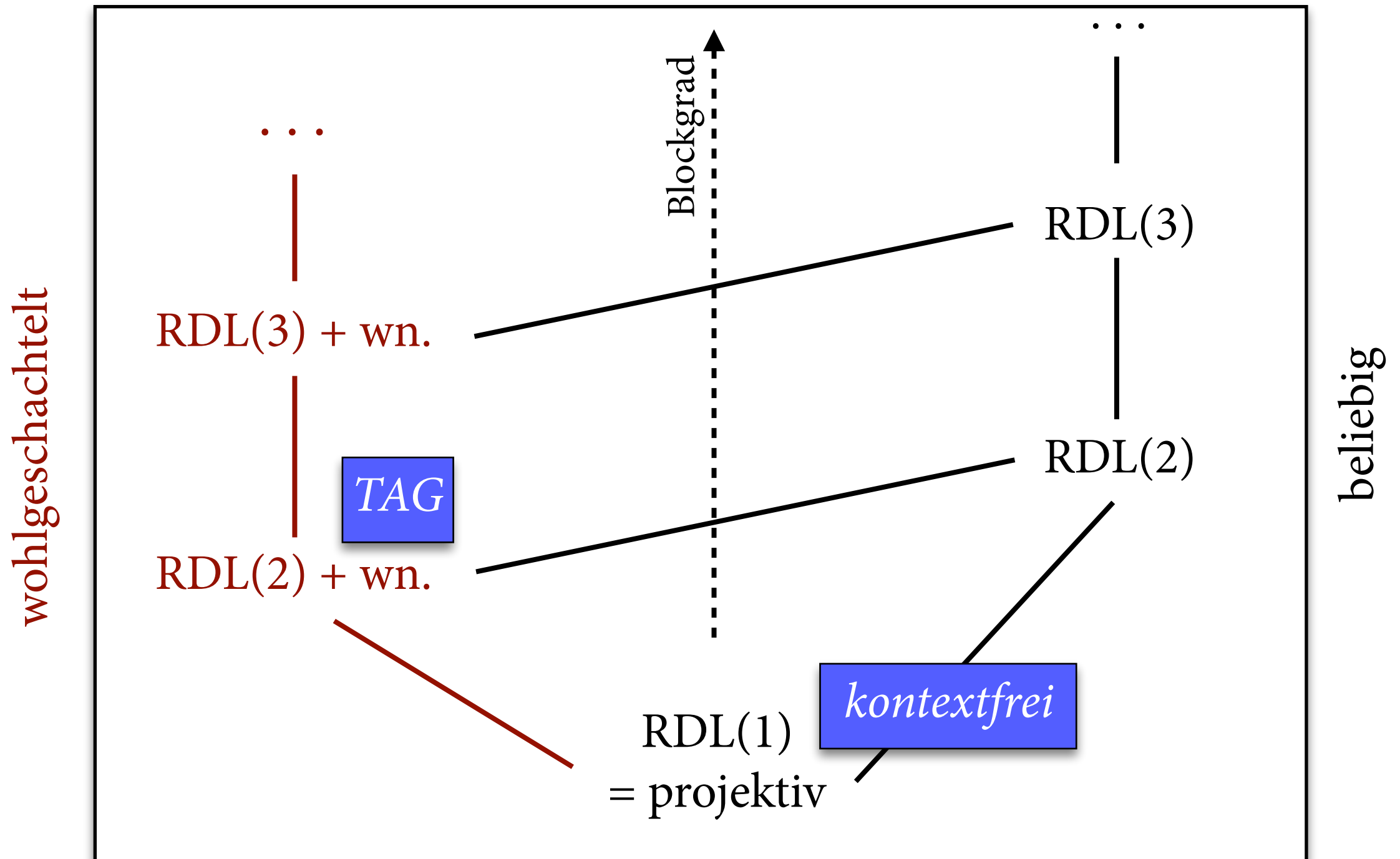
$A \rightarrow \langle a:01231451 \rangle (A, B, C, D, E)$
 $A \rightarrow \langle a:012,314,51 \rangle (A, B, C, D, E)$
 $A \rightarrow \langle a:01,23,4 \rangle (B, C, D, E)$
 $B \rightarrow \langle b:0 \rangle \quad C \rightarrow \langle c:0 \rangle$
 $D \rightarrow \langle d:0 \rangle \quad E \rightarrow \langle e:0 \rangle$



RDG von Blockgrad 3 für COUNT(5)

(Ich zeige aus Platzgründen nur COUNT(5), aber COUNT(6) geht genauso.)

Hierarchie von Sprachen



Höhere Sprachklasse ist in allen Fällen echt größer.

Empirische Frage

- Was ist der Blockgrad natürlicher Sprachen?
 - ▶ minimales k , damit $NL \subseteq RDL(k)$?
 - ▶ minimales k , so dass RDG von Blockgrad k auch die richtigen grammatischen Strukturen abbildet?
 - ▶ $k = 1$ kann nicht reichen, da NL nicht kontextfrei
- Frage kann man empirisch klären.
 - ▶ existierende Abhängigkeits-Baumbanken (CoNLL) in Abhängigkeitsstrukturen konvertieren und nachzählen

Blockgrad in Baumbanken

	projektiv	Blockgrad ≤ 2	wohlgeschachtelt
Arabisch	93,2 %	99,5 %	100,0 %
Tschechisch	76,8 %	99,6 %	99,9 %
Dänisch	84,1 %	99,8 %	99,9 %
Niederländisch	63,6 %	96,7 %	99,9 %
Latein	49,8 %	94,2 %	94,5 %
Portugiesisch	81,1 %	95,4 %	99,9 %
Slowenisch	72,2 %	94,4 %	99,7 %
Schwedisch	90,2 %	99,7 %	99,4 %
Türkisch	87,7 %	99,5 %	99,6 %

⇒ expressive Kapazität von TAG genau richtig für natürliche Sprachen?

RDG-Parsing: Grundidee

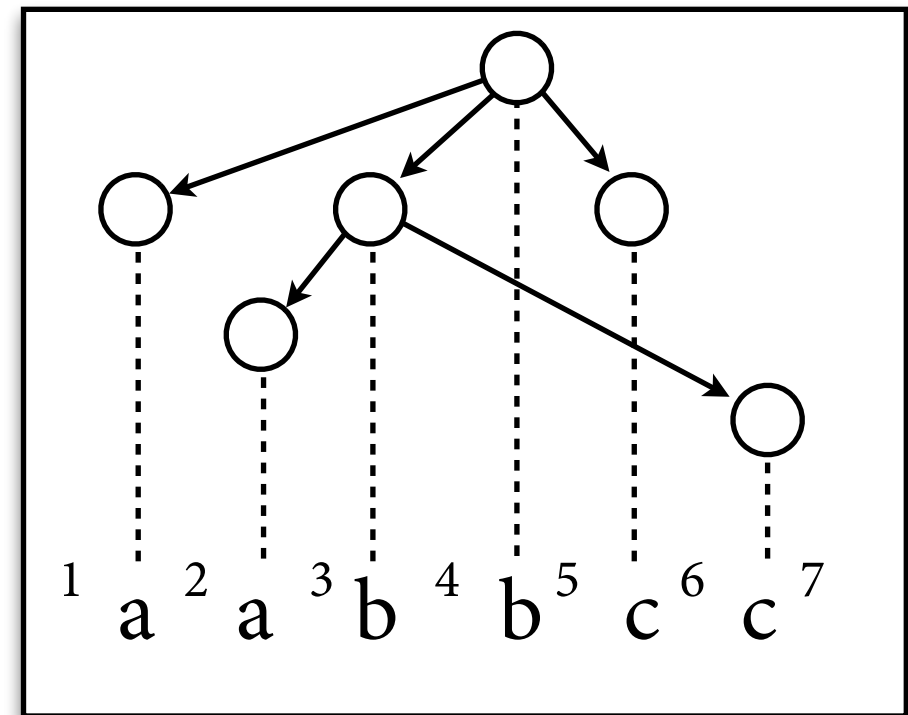
$S_S \rightarrow \langle b: 102 \rangle (A_S, C_S)$

$S_S \rightarrow \langle b: 13023 \rangle (A_S, C_S, S_A)$

$S_A \rightarrow \langle b: 10,2 \rangle (A_S, C_S)$

$S_A \rightarrow \langle b: 130,23 \rangle (A_S, C_S, S_A)$

$A_S \rightarrow \langle a: 0 \rangle \quad C_S \rightarrow \langle c:0 \rangle$



$[b, 3] \quad [A_S, 2-3] \quad [C_S, 6-7]$

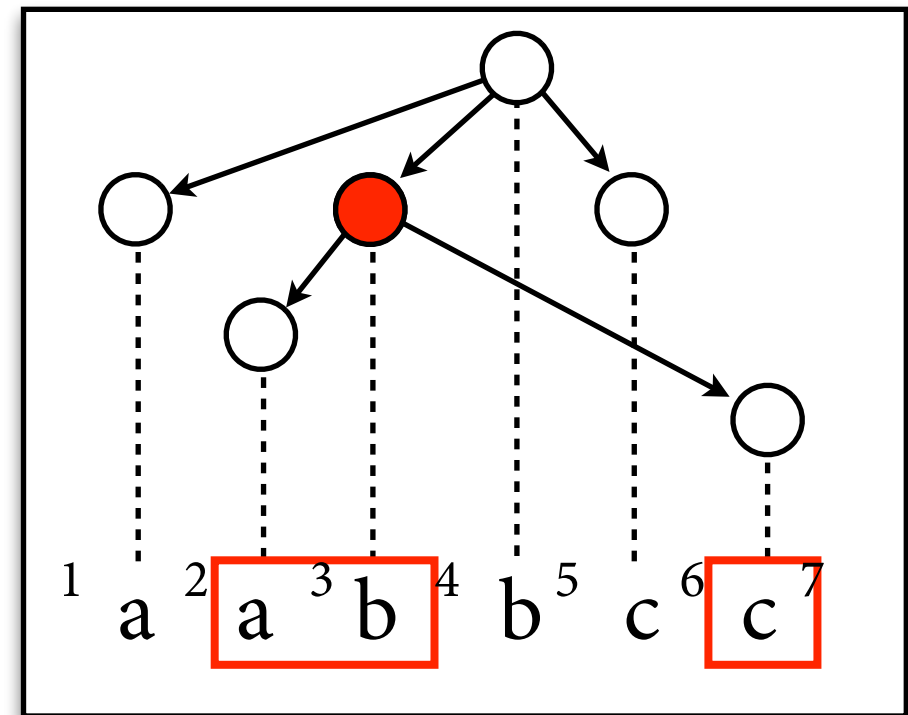
RDG-Parsing: Grundidee

$$S_S \rightarrow \langle b: 102 \rangle (A_S, C_S)$$

$$S_S \rightarrow \langle b: 13023 \rangle (A_S, C_S, S_A)$$

$$S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$$

$$S_A \rightarrow \langle b: 130, 23 \rangle (A_S, C_S, S_A)$$

$$A_S \rightarrow \langle a: 0 \rangle \quad C_S \rightarrow \langle c: 0 \rangle$$


$$\frac{[b, 3] \quad [A_S, 2-3] \quad [C_S, 6-7]}{[S_A, 2-4, 6-7]} S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$$

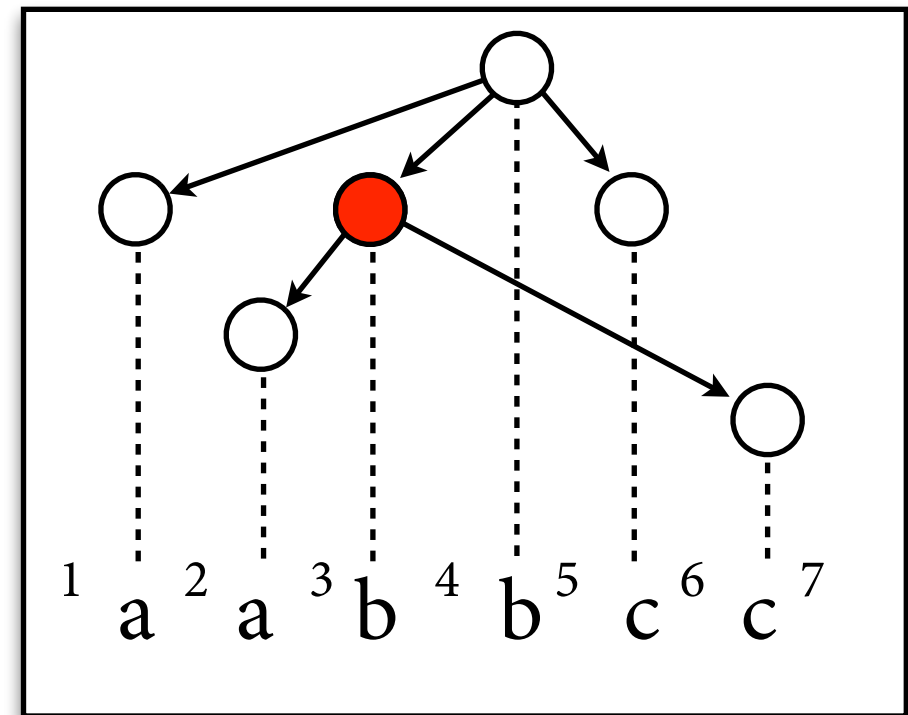
RDG-Parsing: Grundidee

$$S_S \rightarrow \langle b: 102 \rangle (A_S, C_S)$$

$$S_S \rightarrow \langle b: 13023 \rangle (A_S, C_S, S_A)$$

$$S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$$

$$S_A \rightarrow \langle b: 130, 23 \rangle (A_S, C_S, S_A)$$

$$A_S \rightarrow \langle a: 0 \rangle \quad C_S \rightarrow \langle c: 0 \rangle$$


$$\frac{[b, 3] \quad [A_S, 2-3] \quad [C_S, 6-7]}{[S_A, 2-4, 6-7]} S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$$

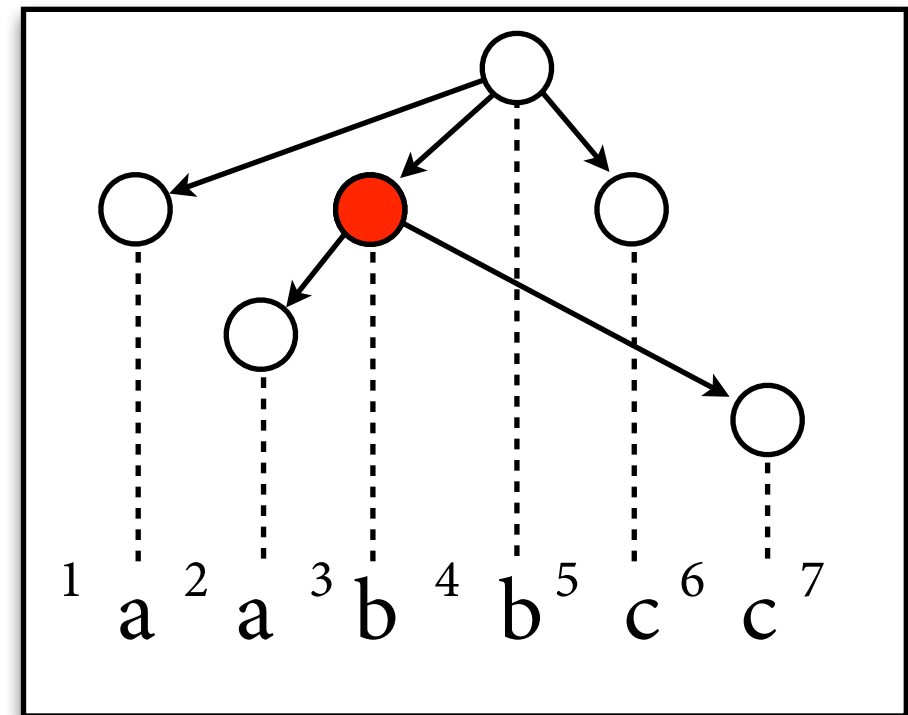
RDG-Parsing: Grundidee

$$S_S \rightarrow \langle b: 102 \rangle (A_S, C_S)$$

$$S_S \rightarrow \langle b: 13023 \rangle (A_S, C_S, S_A)$$

$$S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$$

$$S_A \rightarrow \langle b: 130, 23 \rangle (A_S, C_S, S_A)$$

$$A_S \rightarrow \langle a: 0 \rangle \quad C_S \rightarrow \langle c: 0 \rangle$$


$$\begin{array}{c}
 [b, 4] \quad [A_S, 1-2] \quad [C_S, 5-6] \\
 \hline
 [b, 3] \quad [A_S, 2-3] \quad [C_S, 6-7] \\
 \hline
 S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)
 \end{array}$$

$[S_A, 2-4, 6-7]$

RDG-Parsing: Grundidee

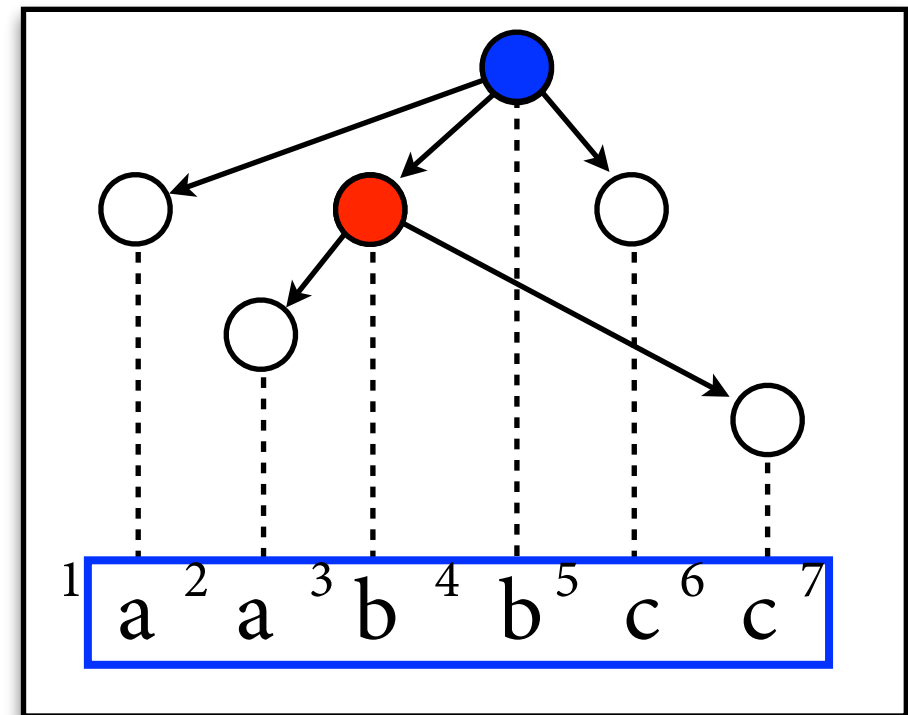
$S_S \rightarrow \langle b: 102 \rangle (A_S, C_S)$

$S_S \rightarrow \langle b: 13023 \rangle (A_S, C_S, S_A)$

$S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$

$S_A \rightarrow \langle b: 130, 23 \rangle (A_S, C_S, S_A)$

$A_S \rightarrow \langle a: 0 \rangle \quad C_S \rightarrow \langle c: 0 \rangle$



$[b, 3] \quad [A_S, 2-3] \quad [C_S, 6-7]$

$S_A \rightarrow \langle b: 10, 2 \rangle (A_S, C_S)$

$[b, 4] \quad [A_S, 1-2] \quad [C_S, 5-6]$

$[S_A, 2-4, 6-7]$

$S_S \rightarrow \langle b: 13023 \rangle (A_S, C_S, S_A)$

$[S_S, 1-7]$

Parsingschema für RDGen

Item $[A, (l_1, r_1), \dots, (l_k, r_k)]$: existiert Dep.struktur d
mit $A \Rightarrow^* d$ und $\text{ertrag}(d) = \langle w_{l_1} \dots w_{r_1-1}, \dots, w_{l_k} \dots w_{r_k-1} \rangle$

$$\frac{\begin{array}{c} [a, s_0] \quad A \rightarrow \langle a : \omega \rangle (A_1, \dots, A_m) \\ [A_1, s_{1,1}, \dots, s_{1,k_1}] \quad \dots \quad [A_m, s_{m,1}, \dots, s_{m,k_m}] \end{array}}{[A, s_1, \dots, s_k]}$$

falls außerdem $s_1, \dots, s_m$ zu Ordnungsannotation ω passen

Parsingkomplexität

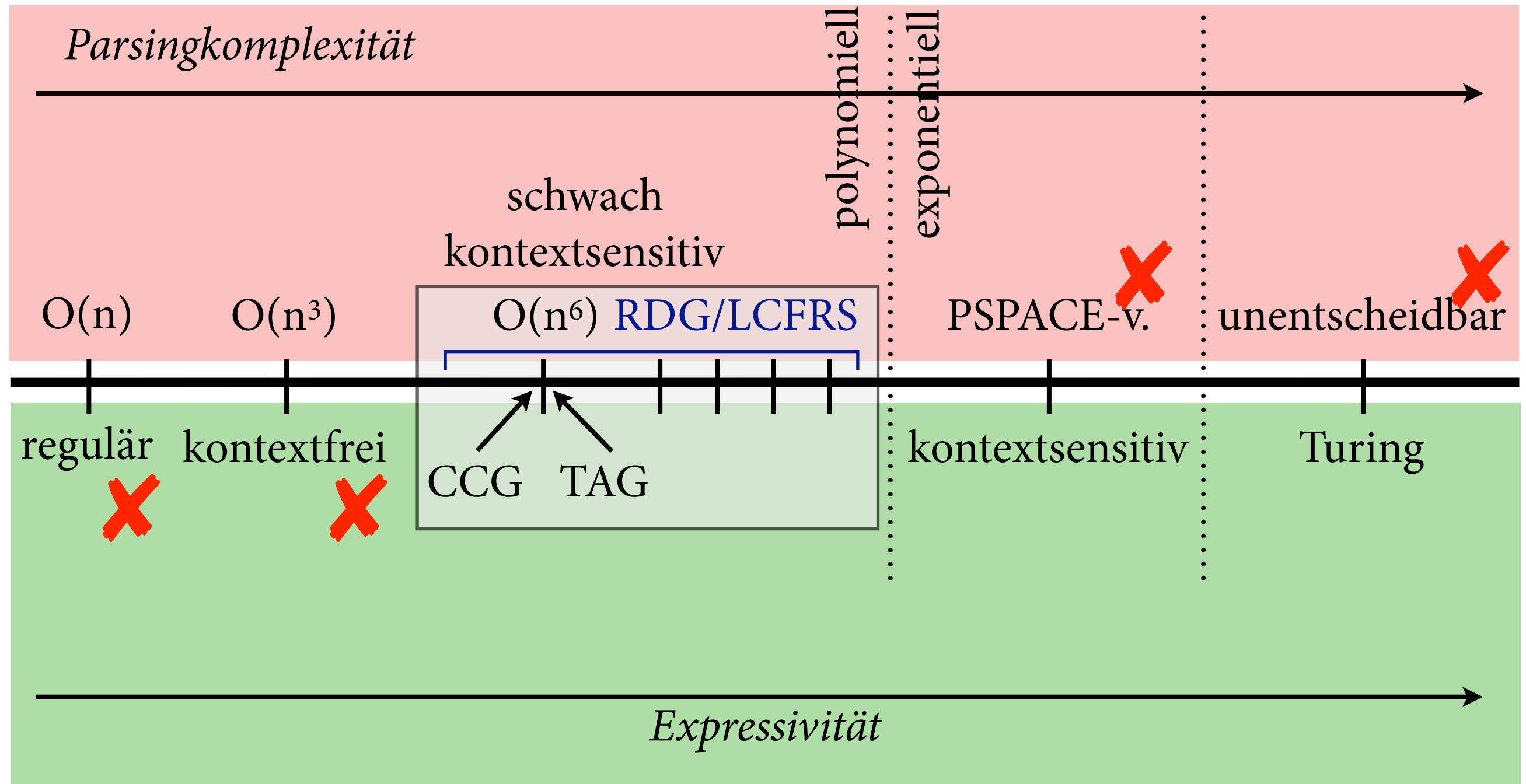
- Wortproblem von RDG mit *Blockgrad* k und *Rang* m :
 - ▶ Regelinstanz enthält $2 * (1 + k*m)$ Variablen
 - ▶ OA der Regel erzwingt, dass die meisten gleich sein müssen. Kann insgesamt nur $k * (m+1)$ unabhängig wählen.
- Damit ist Wortproblem $O(n^{k*(m+1)})$. Spezialfälle:
 - ▶ binäre kfG: $k = 1, m = 2 \Rightarrow O(n^3)$
 - ▶ binäre TAG: $k = 2, m = 2 \Rightarrow O(n^6)$
 - ▶ kfG mit Regeln $A \rightarrow B_1 \dots B_m$: $k = 1 \Rightarrow O(n^{m+1})$.

(Rang = # Nichtterminale auf rechter Seite)

Binarisierung

- Jede kfG kann *binarisiert* werden, d.h. es gibt eine schwach äquivalente Grammatik mit Rang $m = 2$ (Chomsky-Normalform).
- Manche RDGen kann man nur in RDG mit höherem Blockgrad binarisieren (Rambow & Satta 99).
- Jede *wohlgeschachtelte* RDG ist mit gleichem Blockgrad binarisierbar (Gomez-Rodriguez et al. 2010).
 - ▶ Wortproblem von RDG(1) mit bel. Rang: $O(n^3)$
 - ▶ Wortproblem von wn. RDG(2) mit bel. Rang: $O(n^6)$
 - ▶ Wortproblem von wn. RDG(k) mit bel. Rang: $O(n^{3k})$

Fazit



Zusammenfassung

- Codierung von kfGen und LTAG in RDG:
 - ▶ LTSG = RDG von Blockgrad 1 (stark)
 - ▶ kfG = RDG von Blockgrad 1 (schwach)
 - ▶ LTAG = wohlgeschachtelte RDG von Blockgrad 2 (stark)
- Parsing von RDG:
 - ▶ Standard-Wortproblem: $O(n^{k(m+1)})$.
 - ▶ Durch Binarisierung kann man $m = 2$ garantieren.
 - ▶ Komplexität wächst exponentiell mit dem Blockgrad.