Parsing Beyond CFG
Abschlussklausur: Übungen zur Vorbereitung

Laura Kallmeyer, Tatiana Bladier

Sommersemester 2018

Aufgabe 1

Geben Sie für die Sprache

$$L = \{e^m b^n a^{n+1} g c^{n+1} d^n f^m | n, m \geq 0\}$$

eine LCFRS an, die diese Sprache generiert.

Lösung:

$A(a, c) \rightarrow \epsilon$, $B(\varepsilon, \varepsilon) \rightarrow \epsilon$, $B(e, f) \rightarrow \epsilon$
$A(bXa, cYd) \rightarrow A(X, Y)$, $B(eX, fY) \rightarrow B(X, Y)$
$C(g) \rightarrow \epsilon$
$S(XVWZY) \rightarrow B(V, Z)A(X, Y)C(W)$

Aufgabe 2

Betrachten Sie die LCFRS $G = \langle\{A, S, B, C\}, \{a, b, c, d, e, f\}, \{X, Y, Z, U\}, S, P\rangle$*, wobei* P *folgende Regeln enthält:*

$S(XVZWYf) \rightarrow A(X, Y)C(V, W)B(Z)$

$A(a, b) \rightarrow \epsilon$	$B(\varepsilon) \rightarrow \epsilon$
$A(aX, bY) \rightarrow A(X, Y)$	$B(cd) \rightarrow \epsilon$
$C(c, e) \rightarrow \epsilon$	$B(cdX) \rightarrow X$

1. *Geben Sie die Sprache L an, die von dieser Grammatik erzeugt wird.*
2. *Geben Sie eine äquivalente binäre LCFRS an.*

Lösung:

1. $L = \{a^n c (cd)^m e b^n f | n \geq 1, m \geq 0\}$
2. Die erste Regel wird durch $S(XVYf) \rightarrow A(X, Y)D(V)$ und $D(VZW) \rightarrow C(V, W)B(Z)$ ersetzt.

Aufgabe 3

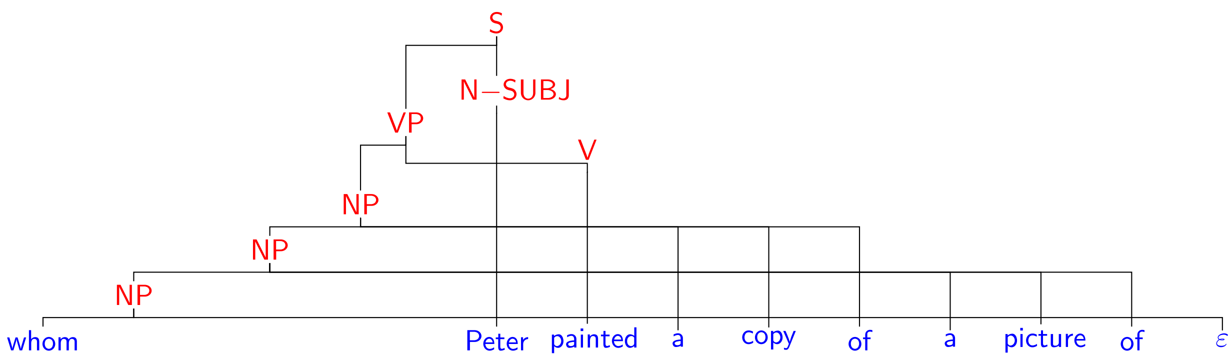
Geben Sie die Sprache an, die von dieser LCFRS generiert wird, und geben Sie auch einen abgeleiteten Baum (derivation tree) für einen String der Länge 9 an.

$S(XYZ) \rightarrow VP(X,Z)\ N\text{-}SUBJ(Y)$,
$VP(X,YZ) \rightarrow NP(X,Z)V(Y)$,
$NP(X,\ a\ copy\ of\ Y) \rightarrow NP(X,Y)$,
$NP(X,a\ picture\ of\ Y) \rightarrow NP(X,Y)$,
$N\text{-}SUBJ(Peter) \rightarrow \varepsilon$,
$V(painted) \rightarrow \varepsilon$,
$NP(whom,\ \varepsilon) \rightarrow \varepsilon$

Lösung:

Diese LCFRS generiert die folgende reguläre Sprache:
*whom Peter painted ((a copy of) | (a picture of))**.

Der abgeleitete Baum der Länge 9 für den folgenden String: *whom Peter painted a copy of a picture of*:



Aufgabe 4

Wir haben schon gezeigt, dass $L = \{(a^m b^m)^5 \mid m \geq 1\}$ *keine 4-MCFL ist.*

Zeigen Sie, dass auch $L' = \{w \in \{a,b\}^* \mid w^5,\ |w|_a = |w|_b, |w|_a \geq 1, |w|_b \geq 1\}$ *keine 4-MCFL ist.*

Tipp: Nutzen Sie die Abgeschlossenheitseigenschaften der jeweiligen Sprachklassen aus.

Lösung:

$L' \cap L(a^+b^+a^+b^+a^+b^+a^+b^+a^+b^+) = L$. D.h., wenn L' eine 4-MCFL ist, dann muss auch L eine sein. Widerspruch.

Aufgabe 5 *Zeigen Sie, dass die Sprache* $\{(ag)^n f^m b^n f^m c^n f^m d^n f^m e^n \mid n, m \geq 0\}$ *keine 2-MCFL ist.*
Sie können davon ausgehen, dass wir schon gezeigt haben, dass die Sprache $\{a^n b^n c^n d^n e^n \mid n \geq 0\}$ *ebenfalls keine 2-MCFL ist.*

Lösung:

Wir nehmen an, die Sprache $\{(ag)^n f^m b^n f^m c^n f^m d^n f^m e^n \mid n, m \geq 0\}$ sei eine 2-MCFL. Dadurch, dass die 2-MCFLs unter Homomorphismen abgeschlossen sind, soll auch die Abbildung dieser Sprache unter Homomorphismus h mit $h(a) = a, h(b) = b, h(c) = c, h(d) = d, h(e) = e$ und $h(f) = h(g) = \varepsilon$ ebenfalls eine 2-MCFL sein. Diese Abbildung ist aber $\{a^n b^n c^n d^n e^n \mid n \geq 0\}$. Widerspruch. Daraus folgt, dass unsere ursprügliche Annahme falsch ist.

Aufgabe 6

Betrachten Sie die folgende LCFRS (in simple RCG Notation):

$G = \langle\{A, S, B\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y, Z, U\}, S, P\rangle$, *wobei* P *folgende Regeln enthält:*
$S(XYZ) \to A(X, Z)S(Y)$, $S(cc) \to \varepsilon$, $A(XaY, ZaU) \to A(X, Z)B(Y, U)$ $A(ab, ab) \to \varepsilon$,
$B(b, b) \to \varepsilon$

1. *Wie sieht das yield von* A *aus, gegeben diese Grammatik?*
2. *Welche Sprache wird von dieser Grammatik erzeugt?*
3. *Geben Sie diese LCFRS in MCFG Notation wieder, also mit Kompositionsfunktionen* f*, die für jede Regel beschreiben, wie man den yield des Nichtterminals auf der rechten Seite durch die yields der Nichtterminale auf der linken Seite errechnet.*

Lösung:

1. $\{\langle(ab)^n, (ab)^n\rangle \mid n \geq 1\}$
2. $\{(ab)^n cc(ab)^n \mid n \geq 1\}$
3. Regeln: $S \to f_1(A, S)$, $S \to f_2()$, $A \to f_3(A, B)$ $A \to f_4()$, $B \to f_5()$

   Kompositionsfunktionen:

   $$\begin{array}{ll} f_1[\langle X, Z\rangle, \langle Y\rangle] = XYZ & f_2[\,] = \langle cc\rangle \\ f_3[\langle X, Z\rangle, \langle Y, U\rangle] = \langle XaY, ZaU\rangle & f_4[\,] = \langle ab, ab\rangle \\ & f_5[\,] = \langle b, b\rangle \end{array}$$

Aufgabe 7 *Geben Sie für die LCFRS* $G = \langle\{A, S, B\}, \{a, b, c\}, \{X, Y, Z\}, S, P\rangle$ *mit P:*

$$\begin{array}{lll} S(XYZ) \to A(X, Y, Z) & A(aX, bY, cZ) \to A(X, Y, Z) & B(aX, cY) \to B(X, Y) \\ S(XbbZ) \to B(X, Z) & A(a, b, c) \to \epsilon & B(a, c) \to \epsilon \end{array}$$

alle Items an, die sich für das CYK-LCFRS-Parsing mit dem Input $w = aabbcc$ *ergeben. Bei jedem Item soll angegeben werden, mit welcher Regel es aus welchen Antezedensitems hergeleitet wurde (die Items werden über die Nummern in der ersten Spalte identifiziert).*

Id	*Item*	*Operation*	*Antezedens-Items*
1	$[A, \langle\langle 0, 1\rangle\langle 2, 3\rangle\langle 4, 5\rangle\rangle]$	*Axiom*	–
2	$[B, \langle\langle 0, 1\rangle\langle 4, 5\rangle\rangle]$	*Axiom*	–

Lösung:

Id	Item	Operation	Antezedens-Items
1	$[A, \langle\langle 0,1\rangle\langle 2,3\rangle\langle 4,5\rangle\rangle]$	Axiom	–
2	$[B, \langle\langle 0,1\rangle\langle 4,5\rangle\rangle]$	Axiom	–
3	$[A, \langle\langle 0,1\rangle\langle 2,3\rangle\langle 5,6\rangle\rangle]$	Axiom	–
4	$[A, \langle\langle 0,1\rangle\langle 3,4\rangle\langle 5,6\rangle\rangle]$	Axiom	–
5	$[A, \langle\langle 1,2\rangle\langle 3,4\rangle\langle 5,6\rangle\rangle]$	Axiom	–
6	$[A, \langle\langle 1,2\rangle\langle 2,3\rangle\langle 5,6\rangle\rangle]$	Axiom	–
7	$[A, \langle\langle 1,2\rangle\langle 2,3\rangle\langle 4,5\rangle\rangle]$	Axiom	–
8	$[B, \langle\langle 0,1\rangle\langle 5,6\rangle\rangle]$	Axiom	–
9	$[B, \langle\langle 1,2\rangle\langle 4,5\rangle\rangle]$	Axiom	–
10	$[B, \langle\langle 1,2\rangle\langle 5,6\rangle\rangle]$	Axiom	–
11	$[B, \langle\langle 0,2\rangle\langle 4,6\rangle\rangle]$	Complete	aus 10
12	$[S, \langle\langle 0,6\rangle\rangle]$	Complete	aus 11
13	$[A, \langle\langle 0,2\rangle\langle 2,4\rangle\langle 4,6\rangle\rangle]$	Complete	aus 5
14	$[S, \langle\langle 0,6\rangle\rangle]$	Complete	aus 13

Aufgabe 8

Gegeben sei die LCFRS $G = \langle\{A, S\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y, Z\}, S, P\rangle$,wobei P die folgenden Regeln enthält:

$$S(XaYa) \to A(X,Y), A(bXc,Y) \to A(X,Y), A(bc,d) \to \varepsilon$$

Vervollständigen Sie die Liste der Items, die beim Parsen des Wortes $w = bcada$ mit inkrementellen Earley Parser entstehen. Geben Sie für die Items an, durch welche Operation sie entstanden sind, sowie die Antezendenten.

id	*rule*	*pos*	*bindings*	*operation*
1	$S(\bullet XaYa) \to A(X,Y)$	*0*	*?,?,?,?*	*axiom*
2	$A(\bullet bXc,Y) \to A(X,Y)$	*0*	*?,?,?,?*	*predict(1)*
3	$A(\bullet bc,d) \to \varepsilon$	*0*	*?,?,?*	*predict(1)*
	...			

Lösung:

id	rule	*pos*	bindings	operation
1	$S(\bullet XaYa) \to A(X,Y)$	0	?,?,?,?	axiom
2	$A(\bullet bXc,Y) \to A(X,Y)$	0	?,?,?,?	predict(1)
3	$A(\bullet bc,d) \to \varepsilon$	0	?,?,?	predict(1)
4	$A(b \bullet Xc,Y) \to A(X,Y)$	1	$\langle 0,1\rangle$,?,?,?	scan(2)
5	$A(b \bullet c,d) \to \varepsilon$	1	$\langle 0,1\rangle$,?,?	scan(3)
6	$A(\bullet bXc,Y) \to A(X,Y)$	1	?,?,?,?	predict(4)
7	$A(\bullet bc,d) \to \varepsilon$	1	?,?,?	predict(4)
8	$A(bc\bullet,d) \to \varepsilon$	2	$\langle 0,1\rangle$,$\langle 1,2\rangle$,?	scan(5)
9	$S(X \bullet aYa) \to A(X,Y)$	2	$\langle 0,2\rangle$,?,?,?	suspend(1,8)
10	$S(Xa \bullet Ya) \to A(X,Y)$	3	$\langle 0,2\rangle$,$\langle 2,3\rangle$,?,?	scan(9)
11	$A(bc, \bullet d) \to \varepsilon$	3	$\langle 0,1\rangle$,$\langle 1,2\rangle$,?	resume(10,8)
12	$A(bc, d\bullet) \to \varepsilon$	4	$\langle 0,1\rangle$,$\langle 1,2\rangle$,$\langle 3,4\rangle$	scan(11)
13	$[A, \langle 0,2\rangle, \langle 3,4\rangle]$			convert(12)
14	$S(XaY \bullet a) \to A(X,Y)$	4	$\langle 0,2\rangle$,$\langle 2,3\rangle$,$\langle 3,4\rangle$,?	complete(10,13)
15	$S(XaYa\bullet) \to A(X,Y)$	5	$\langle 0,2\rangle$,$\langle 2,3\rangle$,$\langle 3,4\rangle$,$\langle 4,5\rangle$	scan(14)
16	$[S, \langle 0,5\rangle]$			convert(15)

Aufgabe 9

Betrachten Sie die folgende LCFRS $G = \langle\{A, S, B, C\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y, Z, U, V\}, S, P\rangle$, *in der* P *die folgenden Regeln enthält:*

$S(XaYZaUV) \rightarrow A(X, Z)B(Y, V)C(U)$,
$A(bX, dY) \rightarrow A(X, Y)$, $A(b, d) \rightarrow \varepsilon$,
$B(c, c) \rightarrow \varepsilon$, $C(c) \rightarrow \varepsilon$

Binarisieren Sie diese LCFRS und geben Sie die entstandene LCFRS als Tupel an.

Lösung:

$G = \langle\{A, S, B, C, D\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y, Z, U, V\}, S, P\rangle$,

wobei P folgende Regeln enthält:

$S(XaYZaU) \rightarrow A(X, Z)D(Y, U)$, $D(Y, UV) \rightarrow B(Y, V)C(U)$,
$A(bX, dY) \rightarrow A(X, Y)$, $A(b, d) \rightarrow \varepsilon$ $B(c) \rightarrow \varepsilon$, $C(c) \rightarrow \varepsilon$

Aufgabe 10

Gegeben sei die folgende LCFRS $G = \langle\{A, S, B, C\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y, Z\}, S, P\rangle$, *wobei* P *folgende Regeln enthält:*
$S(XaYa) \rightarrow A(X, Y)$, $S(XYZ) \rightarrow C(X)A(Y, Z)$
$A(bX, Y) \rightarrow A(X, Y)$, $A(b, d) \rightarrow \varepsilon$
$B(cX) \rightarrow B(X)$, $B(c) \rightarrow \varepsilon$

Entfernen Sie alle nutzlosen Symbole und geben Sie die entstandene LCFRS als Tupel an.

Lösung:

$G = \langle\{A, S\}, \{a, b, c\}, \{X, Y\}, S, P\rangle$, wobei P folgende Regeln enthält:
$S(XaYa) \rightarrow A(X, Y)$,
$A(bX, Y) \rightarrow A(X, Y)$, $A(b, d) \rightarrow \varepsilon$

Aufgabe 11

Gegeben Sei die Grammatik $G = \langle\{A, S, B\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y\}, S, P\rangle$, *wobei* P *die folgenden Regeln enthält:*

$S(XaYa) \rightarrow A(X, Y)$,
$A(bX, dY) \rightarrow A(X, Y)$, $A(bX, \varepsilon) \rightarrow B(X)$, $A(b, d) \rightarrow \varepsilon$
$B(cX) \rightarrow B(X)$, $B(c) \rightarrow \varepsilon$

Transformieren Sie diese LCFRS in eine ε*-freie LCFRS. Geben Sie die entstandene LCFRS als Tupel an.*

Lösung:

$G = \langle\{A, S, B, A_1\}, \{a, b, c, d\}, \{X, Y\}, S, P\rangle$, wobei P die folgenden Regeln enthält:

$S(XaYa) \rightarrow A(X, Y)$, $S(Xaa) \rightarrow A_1(X)$,
$A(bX, dY) \rightarrow A(X, Y)$, $A(bX, d) \rightarrow A_1(X)$, $A_1(bX) \rightarrow B(X)$, $A(b, d) \rightarrow \varepsilon$
$B(cX) \rightarrow B(X)$, $B(c) \rightarrow \varepsilon$

Aufgabe 12 *Betrachten Sie die folgende LCFRS in simple RCG Format:*

$$G = \langle \{A, B, S\}, \{a, b, c, d\}, \{W, X, Y, Z\}, P, S \rangle$$

wobei

$$\begin{aligned} P = \{ \quad & S(ZYXW) \to A(W, Y)B(X, Z), \\ & A(a, b) \to \epsilon, \\ & A(aX, bY) \to A(Y, X), \\ & B(c, d) \to \epsilon \end{aligned}$$

Wandeln Sie diese Grammatik in eine schwach äquivalente geordnete LCFRS um.

Lösung:

Die erste problematische Regel ist $S(ZYXW) \to A(W, Y)B(X, Z)$.

Diese Regel wird in die folgende Regel umgewandelt: $S^{\langle 1 \rangle}(ZYXW) \to A^{\langle 2,1 \rangle}(Y, W)B^{\langle 2,1 \rangle}(Z, X)$

Wir fügen folgende Regeln hinzu: $B^{\langle 2,1 \rangle}(d, c) \to \epsilon$, $B^{\langle 1,2 \rangle}(c, d) \to \epsilon$, $A^{\langle 2,1 \rangle}(b, a) \to \epsilon$, $A^{\langle 2,1 \rangle}(bY, aX) \to A^{\langle 1,2 \rangle}(Y, X)$ und $A^{\langle 1,2 \rangle}(aX, bY) \to A^{\langle 2,1 \rangle}(X, Y)$

Nun brauchen wir eine zusätzliche Regel mit dem Nichtterminal $A^{\langle 1,2 \rangle}$ auf der linken Seite der Produktion: $A^{\langle 1,2 \rangle}(a, b) \to \varepsilon$

Die Regel $B^{\langle 1,2 \rangle}(c, d) \to \epsilon$ ist nutzlos und kann entfernt werden.

Die Grammatik sieht nach der Umwandlung wie folgt aus:

$$G = \langle \{A^{\langle 1,2 \rangle}, A^{\langle 2,1 \rangle}, B^{\langle 2,1 \rangle}, S^{\langle 1 \rangle}\}, \{a, b, c, d\}, \{W, X, Y, Z\}, P, S^{\langle 1 \rangle} \rangle$$

wobei

$$\begin{aligned} P = \{ \quad & S^{\langle 1 \rangle}(ZYXW) \to A^{\langle 2,1 \rangle}(Y, W)B^{\langle 2,1 \rangle}(Z, X)\ , \\ & B^{\langle 2,1 \rangle}(d, c) \to \epsilon, \\ & A^{\langle 2,1 \rangle}(b, a) \to \epsilon, \\ & A^{\langle 2,1 \rangle}(bY, aX) \to A^{\langle 1,2 \rangle}(Y, X) \\ & A^{\langle 1,2 \rangle}(aX, bY) \to A^{\langle 2,1 \rangle}(X, Y) \\ & A^{\langle 1,2 \rangle}(a, b) \to \varepsilon \qquad \qquad \qquad \} \end{aligned}$$

Aufgabe 13 *Gegeben sei der folgende EPDA M:*

$M = \langle \{q_0, q_1, q_2\}, \{a, b, c, d\}, \{\#, B, C, D\}, \delta, q_0, \{q_2\}, \# \rangle$ *with*

$\delta(q_0, a, \#) = \{(q_0, \epsilon, B, \epsilon)\}$
$\delta(q_0, a, B) = \{(q_0, \epsilon, BB, \epsilon)\}$
$\delta(q_0, b, B) = \{(q_1, \ddagger C, \epsilon, \epsilon)\}$
$\delta(q_1, b, B) = \{(q_1, \ddagger C, \epsilon, \epsilon)\}$
$\delta(q_1, \varepsilon, B) = \{(q_1, \ddagger C, \epsilon, \epsilon)\}$
$\delta(q_1, c, C) = \{(q_2, \epsilon, \epsilon, \epsilon)\}$
$\delta(q_2, c, C) = \{(q_2, \epsilon, \epsilon, \epsilon)\}$

1. *Geben Sie den trace an, d.h., die Folge von Konfigurationen (als Tupel von State, Stack, verarbeiteten Eingabe und der Resteingabe), die sich für das Eingabewort $w = aabcc$ ergeben.*

2. *Welche Sprache $N(M)$ wird vom Automaten akzeptiert?*

Lösung:

1. $(q_0, \ddagger\#, \epsilon, aabcc)$
   $\vdash (q_0, \ddagger B, a, abcc)$
   $\vdash (q_0, \ddagger BB, aa, bcc)$
   $\vdash (q_1, \ddagger C \ddagger B, aab, cc)$
   $\vdash (q_1, \ddagger C \ddagger C, aab, cc)$
   $\vdash (q_2, \ddagger C, aabc, c)$
   $\vdash (q_2, \epsilon, aabcc, \epsilon)$

2. $\{a^n b^m c^n | n \geq m \geq 1, n \geq 1\}$

Aufgabe 14 *Gegeben sei die folgende PLCFRS: $\{S, A, B, B', T_a\}$, mit der Menge von Terminalsymbolen $\{a\}$, dem Startsymbol S und den folgenden Produktionsregelen (die Zahl in Klammer ist der log):*

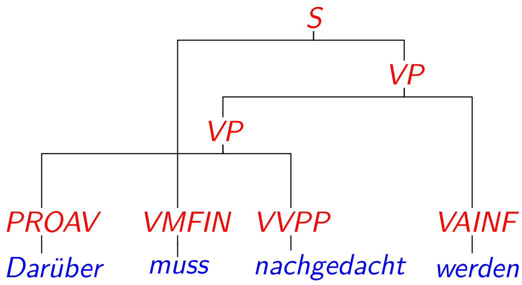
Bestimmen Sie die Chart und die Agenda des deduktionsbasierten, gewichteten CYK Parsers für das Eingabewort $w = aa$

$0.2 : S(X) \to A(X)$ (-0.7)
$0.8 : S(XY) \to B(X, Y)$ (-0.1)
$0.7 : A(XY) \to T_a(X)A(Y)$ (-0.15)
$0.3 : A(X) \to T_a(X)$ (-0.5)
$0.8 : B(ZX, Y) \to T_a(Z)B'(X, Y)$ (-0.1)
$1 : B'(X, UY) \to B(X, Y)T_a(U)$ (0)
$0.2 : B(X, Y) \to T_a(X)T_a(Y)$ (-0.7)
$1 : T_a(a) \to \varepsilon$ (0)

Lösung:

Chart	Agenda
	$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$, $0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$
$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$	$0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$, $-0.5 : [A, \langle 0,1\rangle]$
$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$, $0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$	$-0.5 : [A, \langle 0,1\rangle]$, $-0.5 : [A, \langle 1,2\rangle]$, $-0.7 : [B, \langle 0,1\rangle, \langle 1,2\rangle]$
$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$, $0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$ $-0.5 : [A, \langle 0,1\rangle]$	$-0.5 : [A, \langle 1,2\rangle]$, $-0.7 : [B, \langle 0,1\rangle, \langle 1,2\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 0,1\rangle]$
$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$, $0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$ $-0.5 : [A, \langle 0,1\rangle]$, $-0.5 : [A, \langle 1,2\rangle]$	$-0.65 : [A, \langle 0,2\rangle]$, $-0.7 : [B, \langle 0,1\rangle, \langle 1,2\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 0,1\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 1,2\rangle]$
$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$, $0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$ $-0.5 : [A, \langle 0,1\rangle]$, $-0.5 : [A, \langle 1,2\rangle]$ $-0.65 : [A, \langle 0,2\rangle]$	$-0.7 : [B, \langle 0,1\rangle, \langle 1,2\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 0,1\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 1,2\rangle]$, $-1.35 : [S, \langle 0,2\rangle]$
$0 : [T_a, \langle 0,1\rangle]$, $0 : [T_a, \langle 1,2\rangle]$ $-0.5 : [A, \langle 0,1\rangle]$, $-0.5 : [A, \langle 1,2\rangle]$ $-0.65 : [A, \langle 0,2\rangle]$, $-0.7 : [B, \langle 0,1\rangle, \langle 1,2\rangle]$	$-0.8 : [S, \langle 0,2\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 0,1\rangle]$, $-1.2 : [S, \langle 1,2\rangle]$

Aufgabe 15 *Betrachten Sie den folgenden syntaktischen Baum. Extrahieren Sie eine LCFRS für diesen Baum und geben Sie diese als Tupel an.*



Lösung:

$G = \langle\{S, VP, VMFIN, VAINF, PROAV, VVPP\}, \{Dar\text{ü}ber, muss, nachgedacht, werden\}, \{X_1, X_2, X_3\}, S, P\rangle$, *wobei* P *die folgenden Regeln enthält:*

$$
\begin{array}{rcl}
S(X_1X_2X_3) & \rightarrow & VP(X_1,X_3)\ VMFIN(X_2) \\
VP(X_1,X_2X_3) & \rightarrow & VP(X_1,X_2)\ VAINF(X_3) \\
VP(X_1,X_2) & \rightarrow & PROAV(X_1)\ VVPP(X_2) \\
PROAV(Dar\ddot{u}ber) & \rightarrow & \varepsilon \\
VMFIN(muss) & \rightarrow & \varepsilon \\
VVPP(nachgedacht) & \rightarrow & \varepsilon \\
VAINF(werden) & \rightarrow & \varepsilon
\end{array}
$$