Universität Karlsruhe (TH) – Fakultät für Informatik
Institut für Logik, Komplexität und Deduktionssysteme
Lehrstuhl Prof. Dr. P. Deussen

Informatik III – Prof. Dr. P. Deussen im Wintersemester 2001/2002

C. Bierwald, Th. Käufl, F. Schuster   http://i10www.ira.uka.de/lehre/info3-winter2001   info3@ira.uka.de

Übungsblatt 4 – Lösungsvorschläge

9.11.2001

Aufgabe 1 Das Springen der Lämmer (Bierwald)

Wir basteln uns eine erweiternde Grammatik $G = (V, \Pi, S)$ mit $V = N \cup T$, wobei $N = \{S, \square\}$ und $T = \{>, <\}$, und den folgenden Produktionen Π:

>□	::=	□>	Schaf läuft nach rechts.
□<	::=	<□	Schaf läuft nach links.
>>□	::=	□>>	Schaf springt nach rechts (über ein Schaf, das nach rechts will).
><□	::=	□<>	Schaf springt nach rechts (über ein Schaf, das nach links will).
□><	::=	<>□	Schaf springt nach links (über ein Schaf, das nach rechts will).
□<<	::=	<<□	Schaf springt nach links (über ein Schaf, das nach links will).

(Das Terminalzeichen > beschreibt ein Schaf, das nach rechts will. Das Terminalzeichen < beschreibt ein Schaf, das nach links will und das Nichtterminalzeichen □ beschreibt einen freien Platz.)

Zusätzlich benötigen wir noch eine Produktion $S ::= \mathit{Startsituation}$, wobei $\mathit{Startsituation}$ die gewünschte Startsituation beschreibt, also zum Beispiel $\mathit{Startsituation}$ = >>>>>□<<<<<.

Wenn das Wort $\mathit{Zielsituation}$, das die Zielsituation beschreibt, also zum Beispiel $\mathit{Zielsituation}$ = <<<<<□>>>>>, aus dem Startzeichen S ableitbar ist, gibt es eine Lösung für das Problem. Eine Ableitung $S \Rightarrow \mathit{Zielsituation}$ zeigt dann, wie sich die Schafe zu bewegen haben.

Aufgabe 2 Teilmengenkonstruktion (Bierwald)

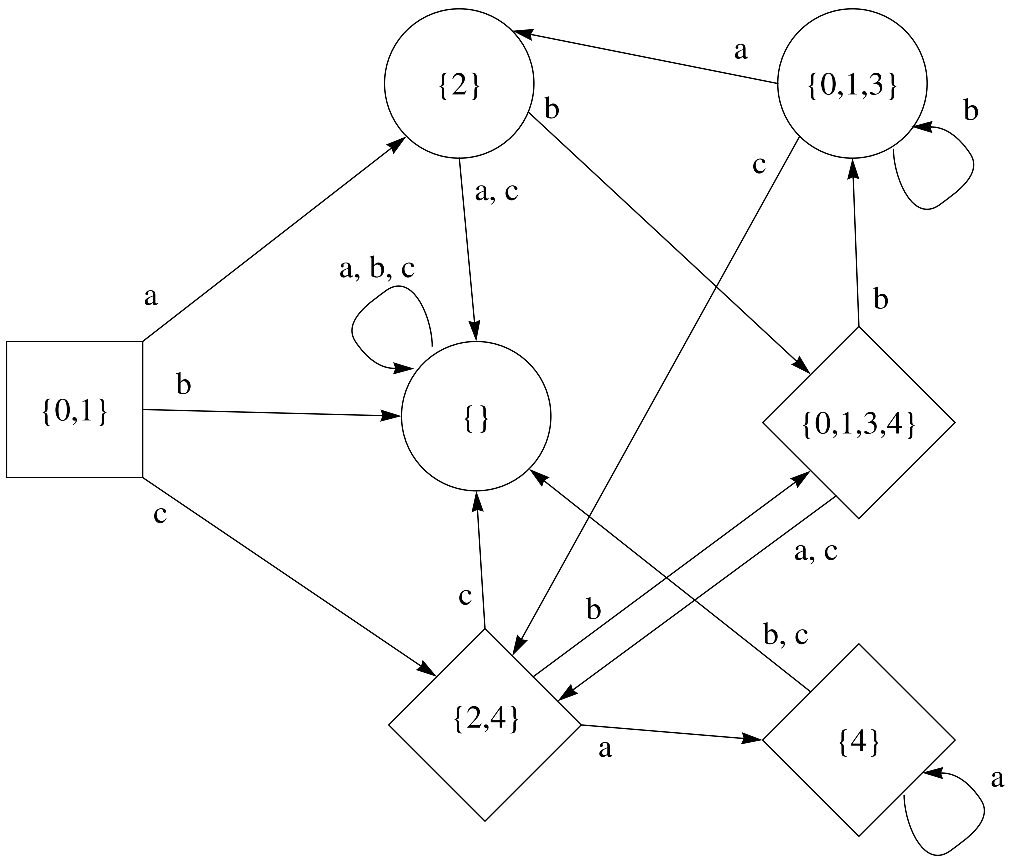
	a	b	c	
0	2	-	-	{0,1}a ::= {2} {0,1}b ::= {} {0,1}c ::= {2, 4}
1	-	-	2, 4	
2	-	3 (0, 1), 4	-	{2}a ::= {} {2}b ::= {0, 1, 3, 4} {2}c ::= {}
2	-	3 (0, 1), 4	-	{2, 4}a ::= {4} {2, 4}b ::= {0, 1, 3, 4} {2, 4}c ::= {}
4	4	-	-	
0	2	-	-	{0, 1, 3, 4}a ::= {2, 4} {0, 1, 3, 4}b ::= {0, 1, 3} {0, 1, 3, 4}c ::= {2, 4}
1	-	-	2, 4	
3	-	3 (0, 1)	4	
4	4	-	-	
4	4	-	-	{4}a ::= {4} {4}b ::= {} {4}c ::= {}
0	2	-	-	{0,1, 3}a ::= {2}, {0,1, 3}b ::= {0,1, 3} {0,1, 3}c ::= {2, 4}
1	-	-	2, 4	
3	-	3 (0, 1)	4	
-	-	-	-	{}a ::= {} {}b ::= {} {}c ::= {}

(Die geklammerten Zustände sind spontan vom Zustand der vor der öffnenden Klammer steht erreichbar.)

Der gesuchte Teilmengenakzeptor ist gegeben durch

- die Zustandsmenge { {0, 1}, {2}, {2, 4}, {0, 1, 3, 4}, {4}, {0, 1, 3}, {} },
- den Startzustand {0, 1},
- die Finalmenge { {2, 4}, {0, 1, 3, 4}, {4} } und
- den Produktionen, die Sie rechts neben der Tabelle finden,

oder das folgende Zustandsübergangsdiagramm:



Aufgabe 3 Hüllenoperation (Käufl)

Für die Hüllenoperation H, die bei der Teilmengenkonstruktion verwendet wird, zeige man (n, m beliebige Zustandsmengen)

die *Monotonie*: Wenn $n \subseteq m$, dann $H(n) \subseteq H(m)$
die *Extensionalität*: $n \subseteq H(n)$ und
die *Idempotenz*: $H(H(n)) = H(n)$.

$H(n) = \{q'$: es gibt ein $q \in n$ mit $q \Rightarrow q'\}$

Monotonie. Sei $q' \in H(n)$, dann gibt es ein $q \in n$ mit $q \Rightarrow q'$ und da $n \subseteq m$, ist auch $q \in m$, also $q' \in H(m)$.

Extensionalität. Für alle q ($\in n$) ist $q \Rightarrow q$, also $q \in H(n)$.

Idempotenz. Wegen der Extensionalität haben wir $H(n) \subseteq H(H(n))$. Wir müssen noch die andere Inklusion zeigen.

Ist $q'' \in H(H(n))$, dann gibt es ein $q' \in H(n)$ mit $q' \Rightarrow q''$ und ein $q \in n$ mit $q \Rightarrow q'$. Das heißt aber $q \Rightarrow q' \Rightarrow q''$, woraus $q'' \in H(n)$ folgt.

Aufgabe 4 Tic-Tac-Toe (Schuster)

Das Spiel Tic-Tac-Toe besteht aus einem Feld von 3×3 Kästchen. Die Spieler setzen abwechselnd ein $\times$ und ein $\circ$ in ein Kästchen. Gewonnen hat der Spieler, der zuerst eine Vertikale, Horizontale oder Diagonale besetzt hat.

a) Geben Sie eine Grammatik an, welche alle Gewinnsituationen für $\times$ beschreibt.

b) Welchen maximalen Typ hat die Sprache in jedem Fall?

a) Eine Vorüberlegung. Die Belegungen können in vier Mengen aufgeteilt werden: L_{-} kein Gewinner, L_x Spieler $\times$ hat gewonnen, L_o Spieler $\circ$ hat gewonnen und L_{Err} die Belgungen, welche gemäß der Regeln unzuläßig sind. Weil die Grammatik die Gewinnsituationen akzeptieren muß – sie aber nicht produzieren muß – darf folgendes gelten. $L_x \subseteq L(G) \subseteq L_x \cup L_{Err}$.

Wird das Spielfeld zeilenweise gelesen, so könnten die Produktionen wie folgt aussehen:

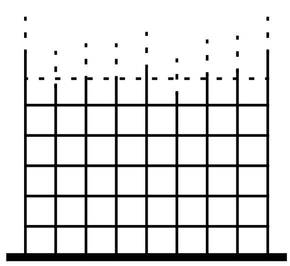
$$S ::= \times \times \times UUUUUU \qquad \text{die Horizontalen}$$
$$S ::= UUU \times \times \times UUU$$
$$S ::= UUUUUU \times \times \times$$
$$S ::= \times UU \times UU \times UU \qquad \text{die Vertikalen}$$
$$S ::= U \times UU \times UU \times U$$
$$S ::= UU \times UU \times UU \times$$
$$S ::= \times UUU \times UUU \times \qquad \text{die Diagonalen}$$
$$S ::= UU \times U \times U \times UU$$
$$U ::= \times \mid \mathrm{O} \mid \text{leer}$$

Das Startzeichen ist S, die Terminalzeichen sind $\times$, $\circ$ und leer.

b) Der Sprachschatz ist endlich und so ist die Sprache regulär.

Aufgabe 5 Vier-Gewinnt (Schuster)

Für diese Aufgabe stellen wir uns das Spielfeld von Vier-Gewinnt als eine Tafel mit 8 Kästchen in der Breite und unendlich vielen Kästchen in der Höhe vor. Die Spieler werfen wie gewohnt abwechseln rote und gelbe Steine ein. Gewonnen hat der Spieler, welcher zuerst eine vertikale, horizontale oder diagonale Folge von vier gleichen Steinen besetzt hat.



Geben Sie eine Grammatik an, welche alle Gewinnsituationen für rot beschreibt.

Eine Vorüberlegung. Die Belegungen können in vier Mengen aufgeteilt werden: L_{-} kein Gewinner, L_{rot} der „rote Spieler“ hat gewonnen, L_{gelb} der „gelbe Spieler“ hat gewonnen und L_{Err} die Belgungen, welche gemäß der Regeln unzuläßig sind. Weil die Grammatik die Gewinnsituationen akzeptieren muß – sie aber nicht produzieren muß – darf folgendes gelten. $L_x \subseteq L(G) \subseteq L_x \cup L_{Err}$.

Wird das Spielfeld zeilenweise von unten gelesen, so könnten die Produktionen wie folgt aussehen:

$$S ::= Z'VU' \qquad \text{Vorlauf, Muster und Rest}$$
$$S ::= Z'HU'$$
$$S ::= Z'D_1U'$$
$$S ::= Z'D_2U'$$

$H ::= U_{0-4}rrrr$	horizontal
$V ::= U_{0-7}rU_7rU_7rU_7r$	vertikal
$D_1 ::= U_{0-4}rU_8rU_8rU_8r$	diagonal
$D_2 ::= U_{3-7}rU_6rU_6rU_6r$	
$Z' ::= \varepsilon \mid U_8Z'$	beliebige Reihen
$U_8 ::= UUUUUUUU$	
$U' ::= \varepsilon \mid UU'$	beliebige Folge
$U ::= y \mid r \mid e$	gelb, rot oder leer
$U_{0-4} ::= \varepsilon \mid U \mid UU \mid UUU \mid UUUU$	
$U_{0-7} ::= U_{0-4} \mid UUUUU \mid UUUUUU \mid UUUUUUU$	
$U_{3-7} ::= UUU \mid UUUU \mid UUUUU \mid UUUUUU \mid UUUUUUU$	
$U_{0-7} ::= U_{0-4} \mid U_{3-7}$	

Auch wenn die Produktionen einfacher gehalten werden können, so sollten in keinem Fall reguläre Ausdrücke, wie U^8, verwendet werden.

Aufgabe 6 LL- und LR-Akzeptoren für reguläre Grammatiken (Schuster)

Gegeben seien reguläre Grammatiken mit den folgenden Produktionen:

$\Pi_f := \{S ::= A,\quad A ::= Aa \mid Ba,\quad B ::= Bb \mid Cb,\quad C ::= Cc \mid c\}$

$\Pi_g := \{S ::= A,\quad A ::= aA \mid aB,\quad B ::= bB \mid bC,\quad C ::= cC \mid c\}$

$\Pi_h := \{S ::= C,\quad C ::= Cc \mid Bc,\quad B ::= Bb \mid Ab,\quad A ::= Aa \mid a\}$

$\Pi_i ::= \{S ::= C,\quad C ::= cC \mid cB,\quad B ::= bB \mid bA,\quad A ::= aA \mid a\}$

a) Erstellen Sie zu den Grammatiken, wenn möglich, die LL-, LR-, (lr) oder (rl) Akzeptoren.

b) Welche der Worte $aabbcc$ und $ccbbaa$ werden von welchem Akzeptor akzeptiert?

Der Lösungsvorschlag wurde auf mehrere Seiten verteilt, so daß jede Tabelle leicht einer anderen Tabelle gegenübergestellt werden kann.
Bei der großen Anzahl sehr ähnlicher Tabellen entstehen sehr leicht Übertragungsfehler – sollten Sie welche entdecken, so teilen Sie mir dies bitte mit.

Akzeptoren der Grammatik G_f mit den linkslinearen Produktionen Π_f:

	Π_f	Π_f^{LL}	Π_f^{LR}	$\Pi_f^{(lr)}$
1.	$S ::= A$	$Sq ::= Aq$	$Aq ::= Sq$	$A ::= S$
2.	$A ::= Aa$	$Aq ::= aAq$	$Aaq ::= Aq$	$Aa ::= A$
3.	$A ::= Ba$	$Aq ::= aBq$	$Baq ::= Aq$	$Ba ::= A$
4.	$B ::= Bb$	$Bq ::= bBq$	$Bbq ::= Bq$	$Bb ::= B$
5.	$B ::= Cb$	$Bq ::= bCq$	$Cbq ::= Bq$	$Cb ::= B$
6.	$C ::= Cc$	$Cq ::= cCq$	$Ccq ::= Cq$	$Cc ::= C$
7.	$C ::= c$	$Cq ::= cq$	$cq ::= Cq$	$qc ::= C$
8.		$aqa ::= q$	$qa ::= aq$	
9.		$bqb ::= q$	$qb ::= bq$	
10.		$cqc ::= q$	$qc ::= cq$	
	$S \Rightarrow z$	$Sqz \Rightarrow q$ Tab V-7	$qz \Rightarrow Sq$ Tab V-5	$qz \Rightarrow S$ Tab V-14

Die Sprache ist $c^+b^+a^+$.

Akzeption von $ccbbaa$ in G_f:

Π_f^{LL}		Π_f^{LR}		$\Pi_f^{(lr)}$
$Sqccbbaa$		$qccbbaa$		$qccbbaa$
$\underset{1}{\rightarrow} Aqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{10}{\rightarrow} cqcbbaa$	Schift	$\underset{7}{\rightarrow} Ccbbaa$
$\underset{2}{\rightarrow} aAqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{7}{\rightarrow} Cqcbbaa$	Reduktion	$\underset{6}{\rightarrow} Cbbaa$
$\underset{3}{\rightarrow} aaBqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{10}{\rightarrow} Ccqbbaa$	Schift	$\underset{5}{\rightarrow} Bbaa$
$\underset{4}{\rightarrow} aabBqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{6}{\rightarrow} Cqbbaa$	Reduktion	$\underset{4}{\rightarrow} Baa$
$\underset{5}{\rightarrow} aabbCqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{9}{\rightarrow} Cbqbaa$	Schift	$\underset{3}{\rightarrow} Aa$
$\underset{6}{\rightarrow} aabbcCqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{5}{\rightarrow} Bqbaa$	Reduktion	$\underset{2}{\rightarrow} A$
$\underset{7}{\rightarrow} aabbccqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{9}{\rightarrow} Bbqaa$	Schift	$\underset{1}{\rightarrow} S$
$\underset{10}{\rightarrow} aabbcqcbbaa$	Vergleichen	$\underset{4}{\rightarrow} Bqaa$	Reduktion	
$\underset{10}{\rightarrow} aabbqbbaa$	Vergleichen	$\underset{8}{\rightarrow} Baqa$	Schift	
$\underset{9}{\rightarrow} aabqbaa$	Vergleichen	$\underset{3}{\rightarrow} Aqa$	Reduktion	
$\underset{9}{\rightarrow} aaqaa$	Vergleichen	$\underset{8}{\rightarrow} Aaq$	Schift	
$\underset{8}{\rightarrow} aqa$	Vergleichen	$\underset{2}{\rightarrow} Aq$	Reduktion	
$\underset{8}{\rightarrow} q$	Vergleichen	$\underset{1}{\rightarrow} Sq$	Reduktion	

Das Wort $aabbcc$ kann nicht akzeptiert werden.

Akzeptoren der Grammatik G_g mit den rechtslinearen Produktionen Π_g :

	Π_g	Π_g^{LL}	Π_g^{LR}	$\Pi_g^{(rl)}$
1.	$S ::= A$	$Sq ::= Aq$	$Aq ::= Sq$	$A ::= S$
2.	$A ::= aA$	$Aq ::= Aaq$	$aAq ::= Aq$	$aA ::= A$
3.	$A ::= aB$	$Aq ::= Baq$	$aBq ::= Aq$	$aB ::= A$
4.	$B ::= bB$	$Bq ::= Bbq$	$bBq ::= Bq$	$bB ::= B$
5.	$B ::= bC$	$Bq ::= Cbq$	$bCq ::= Bq$	$bC ::= B$
6.	$C ::= cC$	$Cq ::= Ccq$	$cCq ::= Cq$	$cC ::= C$
7.	$C ::= c$	$Cq ::= cq$	$cq ::= Cq$	$cq ::= C$
8.		$aqa ::= q$	$qa ::= aq$	
9.		$bqb ::= q$	$qb ::= bq$	
10.		$cqc ::= q$	$qc ::= cq$	
	$S \Rightarrow z$	$Sqz \Rightarrow q$ Tab V-7	$qz \Rightarrow Sq$ Tab V-5	$zq \Rightarrow S$ Tab V-10

Die Sprache ist $a^+b^+c^+$.

Akzeption von $aabbcc$ in G_g:

Π_g^{LL}		Π_g^{LR}		$\Pi_g^{(rl)}$
$Sqaabbcc$		$qaabbcc$		$aabbccq$
$\underset{1}{\rightarrow} Aqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{8}{\rightarrow} aqabbcc$	Schift	$\underset{7}{\rightarrow} aabbcC$
$\underset{2}{\rightarrow} Aaqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{8}{\rightarrow} aaqbbcc$	Schift	$\underset{6}{\rightarrow} aabbB$
$\underset{3}{\rightarrow} Aqabbcc$	Vergleichen	$\underset{9}{\rightarrow} aabqbcc$	Schift	$\underset{5}{\rightarrow} aabB$
$\underset{4}{\rightarrow} Baqabbcc$	Erzeugen	$\underset{9}{\rightarrow} aabbqcc$	Schift	$\underset{4}{\rightarrow} aaB$
$\underset{5}{\rightarrow} Bqbbcc$	Vergleichen	$\underset{10}{\rightarrow} aabbcqc$	Schift	$\underset{3}{\rightarrow} aA$
$\underset{6}{\rightarrow} Bbqbbcc$	Erzeugen	$\underset{10}{\rightarrow} aabbccq$	Schift	$\underset{2}{\rightarrow} A$
$\underset{7}{\rightarrow} Bqbcc$	Vergleichen	$\underset{7}{\rightarrow} aabbcCq$	Reduktion	$\underset{1}{\rightarrow} S$
$\underset{10}{\rightarrow} Cbqbcc$	Erzeugen	$\underset{6}{\rightarrow} aabbCq$	Reduktion	
$\underset{10}{\rightarrow} Cqcc$	Vergleichen	$\underset{5}{\rightarrow} aabBq$	Reduktion	
$\underset{9}{\rightarrow} Ccqcc$	Erzeugen	$\underset{4}{\rightarrow} aaBq$	Reduktion	
$\underset{9}{\rightarrow} Cqc$	Vergleichen	$\underset{3}{\rightarrow} aAq$	Reduktion	
$\underset{8}{\rightarrow} cqc$	Erzeugen	$\underset{2}{\rightarrow} Aq$	Reduktion	
$\underset{8}{\rightarrow} q$	Vergleichen	$\underset{1}{\rightarrow} Sq$	Reduktion	

Das Wort $ccbbaa$ kann nicht akzeptiert werden.

Akzeptoren der Grammatik G_h mit den linkslinearen Produktionen Π_h:

	Π_h	Π_h^{LL}	Π_h^{LR}	$\Pi_h^{(lr)}$
1.	$S ::= C$	$Sq ::= Cq$	$Cq ::= Sq$	$C ::= S$
2.	$C ::= Cc$	$Cq ::= cCq$	$Ccq ::= Cq$	$Cc ::= C$
3.	$C ::= Bc$	$Cq ::= cBq$	$Bcq ::= Cq$	$Bc ::= C$
4.	$B ::= Bb$	$Bq ::= bBq$	$Bbq ::= Bq$	$Bb ::= B$
5.	$B ::= Ab$	$Bq ::= bAq$	$Abq ::= Bq$	$Ab ::= B$
6.	$A ::= Aa$	$Aq ::= aAq$	$Aaq ::= Aq$	$Aa ::= A$
7.	$A ::= a$	$Aq ::= aq$	$aq ::= Aq$	$qa ::= A$
8.		$aqa ::= q$	$qa ::= aq$	
9.		$bqb ::= q$	$qb ::= bq$	
10.		$cqc ::= q$	$qc ::= cq$	
	$S \Rightarrow z$	$Sqz \Rightarrow q$ Tab V-7	$qz \Rightarrow Sq$ Tab V-5	$qz \Rightarrow S$ Tab V-14

Die Sprache ist $a^+b^+c^+$.

Akzeption von $aabbcc$ in G_h:

Π_h^{LL}		Π_h^{LR}		$\Pi_h^{(lr)}$
$Sqaabbcc$		$qaabbcc$		$qaabbcc$
$\underset{1}{\rightarrow} Cqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{8}{\rightarrow} aqabbcc$	Schift	$\underset{7}{\rightarrow} Aabbcc$
$\underset{2}{\rightarrow} cCqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{7}{\rightarrow} Aqabbcc$	Reduktion	$\underset{6}{\rightarrow} Abbcc$
$\underset{3}{\rightarrow} ccBqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{8}{\rightarrow} Aaqbbcc$	Schift	$\underset{5}{\rightarrow} Bbcc$
$\underset{4}{\rightarrow} ccbBqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{6}{\rightarrow} Aqbbcc$	Reduktion	$\underset{4}{\rightarrow} Bcc$
$\underset{5}{\rightarrow} ccbbAqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{9}{\rightarrow} Abqbcc$	Schift	$\underset{3}{\rightarrow} Cc$
$\underset{6}{\rightarrow} ccbbaAqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{5}{\rightarrow} Bqbcc$	Reduktion	$\underset{2}{\rightarrow} C$
$\underset{7}{\rightarrow} ccbbaaqaabbcc$	Erzeugen	$\underset{9}{\rightarrow} Bbqcc$	Schift	$\underset{1}{\rightarrow} S$
$\underset{8}{\rightarrow} ccbbaqabbcc$	Vergleichen	$\underset{4}{\rightarrow} Bqcc$	Reduktion	
$\underset{8}{\rightarrow} ccbbqbbcc$	Vergleichen	$\underset{10}{\rightarrow} Bcqc$	Schift	
$\underset{9}{\rightarrow} ccbqbcc$	Vergleichen	$\underset{3}{\rightarrow} Cqc$	Reduktion	
$\underset{9}{\rightarrow} ccqcc$	Vergleichen	$\underset{10}{\rightarrow} Ccq$	Schift	
$\underset{10}{\rightarrow} cqc$	Vergleichen	$\underset{2}{\rightarrow} Cq$	Reduktion	
$\underset{10}{\rightarrow} q$	Vergleichen	$\underset{1}{\rightarrow} Sq$	Reduktion	

Das Wort $ccbbaa$ kann nicht akzeptiert werden.

Akzeptoren der Grammatik G_i mit den rechtslinearen Produktionen Π_i :

	Π_i	Π_i^{LL}	Π_i^{LR}	$\Pi_i^{(rl)}$
1.	$S ::= C$	$Sq ::= Cq$	$Cq ::= Sq$	$C ::= S$
2.	$C ::= cC$	$Cq ::= Ccq$	$cCq ::= Cq$	$cC ::= C$
3.	$C ::= cB$	$Cq ::= Bcq$	$cBq ::= Cq$	$cB ::= C$
4.	$B ::= bB$	$Bq ::= Bbq$	$bBq ::= Bq$	$bB ::= B$
5.	$B ::= bA$	$Bq ::= Abq$	$bAq ::= Bq$	$bA ::= B$
6.	$A ::= aA$	$Aq ::= Aaq$	$aAq ::= Aq$	$aA ::= A$
7.	$A ::= a$	$Aq ::= aq$	$aq ::= Aq$	$aq ::= A$
8.		$aqa ::= q$	$qa ::= aq$	
9.		$bqb ::= q$	$qb ::= bq$	
10.		$cqc ::= q$	$qc ::= cq$	
	$S \Rightarrow z$	$Sqz \Rightarrow q$ Tab V-7	$qz \Rightarrow Sq$ Tab V-5	$zq \Rightarrow S$ Tab V-10

Die Sprache ist $a^+b^+c^+$.

Akzeption von $ccbbaa$ in G_i :

Π_i^{LL}		Π_i^{LR}		$\Pi_i^{(rl)}$
$Sqccbbaa$		$qccbbaa$		$ccbbaaq$
$\underset{1}{\to} Cqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{10}{\to} cqcbbaa$	Schift	$\underset{7}{\to} ccbbaA$
$\underset{2}{\to} Ccqccbbaa$	Erzeugen	$\underset{10}{\to} ccqbbaa$	Schift	$\underset{6}{\to} ccbbA$
$\underset{10}{\to} Cqcbbaa$	Vergleichen	$\underset{9}{\to} ccbabaa$	Schift	$\underset{5}{\to} ccbB$
$\underset{3}{\to} Bcqcbbaa$	Erzeugen	$\underset{9}{\to} ccbbqaa$	Schift	$\underset{4}{\to} ccB$
$\underset{10}{\to} Bqbbaa$	Vergleichen	$\underset{8}{\to} ccbbaqa$	Schift	$\underset{3}{\to} cC$
$\underset{4}{\to} Bbqbbaa$	Erzeugen	$\underset{8}{\to} ccbbaaq$	Schift	$\underset{2}{\to} C$
$\underset{9}{\to} Bqbaa$	Vergleichen	$\underset{7}{\to} ccbbaAq$	Reduktion	$\underset{1}{\to} S$
$\underset{5}{\to} Abqbaa$	Erzeugen	$\underset{6}{\to} ccbbAq$	Reduktion	
$\underset{9}{\to} Aqaa$	Vergleichen	$\underset{5}{\to} ccbBq$	Reduktion	
$\underset{6}{\to} Aaqaa$	Erzeugen	$\underset{4}{\to} ccBq$	Reduktion	
$\underset{8}{\to} Aqa$	Vergleichen	$\underset{3}{\to} cCq$	Reduktion	
$\underset{7}{\to} aqa$	Erzeugen	$\underset{2}{\to} Cq$	Reduktion	
$\underset{8}{\to} q$	Vergleichen	$\underset{1}{\to} Sq$	Reduktion	

Das Wort $aabbcc$ kann nicht akzeptiert werden.