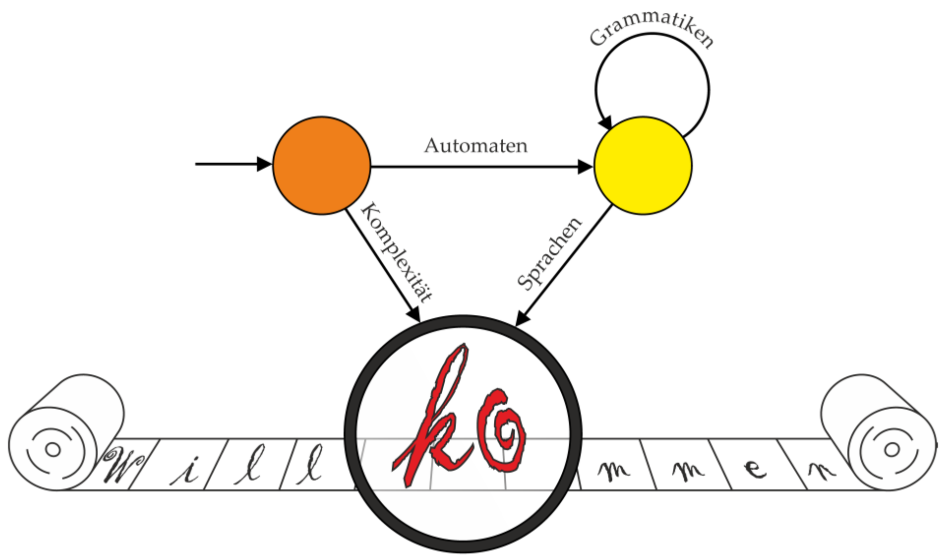
Grundlagen der Informatik II

Tutorium 3

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren – Prof. Tatiana von Landesberger



Einführungsaufgabe: Kellerautomat

Geben Sie die Verarbeitung des Wortes $aabb$ durch den Kellerautomaten $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, \{s_e\})$ an und beschreiben Sie dessen Elemente.

$$\delta: \quad \begin{aligned} (s_0, a, k_0) &\rightarrow (s_0, ak_0) \\ (s_0, a, a) &\rightarrow (s_0, aa) \\ (s_0, b, a) &\rightarrow (s_1, \lambda) \\ (s_1, b, a) &\rightarrow (s_1, \lambda) \\ (s_1, \lambda, k_0) &\rightarrow (s_e, k_0) \end{aligned}$$

Warum ist KA trotz des λ-Übergangs deterministisch?

Spezifikation („endlicher Automat mit Keller-Speicher – LIFO“):

$$KA = (\{a, b\}, \{s_0, s_1, s_e\}, \{a, k_0\}, \delta, s_0, k_0, \{s_e\})$$

Eingabealphabet

Zustandsmenge

Kelleralphabet

Zustandsübergangsfunktion

Anfangszustand

Kellerstartzeichen

Endzustandsmenge

Konfigurationsfolge:

$(s_0, aabb, k_0) \vdash (s_0, abb, ak_0) \vdash (s_0, bb, aak_0) \vdash (s_1, b, ak_0$ … $, \lambda, k_0)$

Wegen der **Einzigartigkeit** des Zustandswechsels aus s_1 unter der k_0 Kondition mit λ

Aufgabe 1: Kellerautomat (Präsenz)

Wieder bezeichne $|w|_a$ für ein Alphabet $E, w \in E^*, a \in E$ die Anzahl der a's in w.

Geben Sie einen det. Kellerautomaten $KA_6 = (E_6, S_6, K_6, \delta_6, s_{0_6}, k_{0_6} F_6)$ an mit

$$L(KA_6) = L_6 \quad \text{und} \quad L_6 = \left\{ w \in \{0,1\}^* \mid |w|_0 = |w|_1 \right\}.$$

Zeigen Sie, dass Ihr Kellerautomat das Testwort 10001110 akzeptiert.

Lösung:

$$KA_6 = (\{0,1\}, \{s_0, s_1\}, \{k_0, 0, 1\}, \delta_6, s_0, k_0, \{s_0\})$$

δ_6 :

$$
\begin{aligned}
(s_0, 0, k_0) &\rightarrow (s_1, 0k_0) \\
(s_0, 1, k_0) &\rightarrow (s_1, 1k_0) \\
(s_1, 0, 0) &\rightarrow (s_1, 00) \\
(s_1, 1, 0) &\rightarrow (s_1, \lambda) \\
(s_1, 0, 1) &\rightarrow (s_1, \lambda) \\
(s_1, 1, 1) &\rightarrow (s_1, 11) \\
&\boxed{(s_1, \lambda, k_0) \rightarrow (s_0, k_0)}
\end{aligned}
$$

Die erste 0 bzw. 1 wird in den Keller geschrieben.

Sobald eine 1 auf eine 0 kommt oder umgekehrt wird diese aus dem Keller gelöscht.

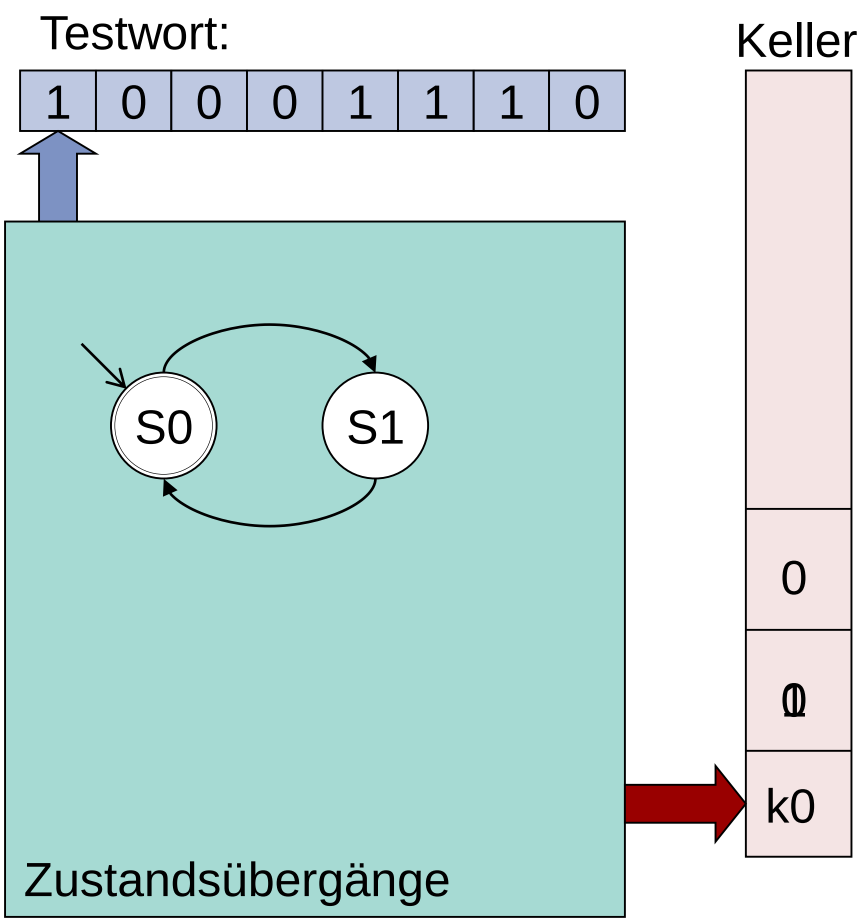
Folgt eine 1 auf eine 1 oder eine 0 auf eine 0 werden diese auch in den Keller geschrieben.

Da das leere Wort akzeptiert wird und der Automat deterministisch sein soll (kein Lambda-Übergang von s_0 aus) und noch weitere Zeichen kommen können, ist F={s_0}.

Aufgabe 1: Kellerautomat (Präsenz)

Erkennung des Testworts 10001110:

δ_6 : $(s_0, 0, k_0) \rightarrow (s_1, 0k_0)$
$(s_0, 1, k_0) \rightarrow (s_1, 1k_0)$
$(s_1, 0, 0) \rightarrow (s_1, 00)$
$(s_1, 1, 0) \rightarrow (s_1, \lambda)$
$(s_1, 0, 1) \rightarrow (s_1, \lambda)$
$(s_1, 1, 1) \rightarrow (s_1, 11)$
$(s_1, \lambda, k_0) \rightarrow (s_0, k_0)$



Aufgabe 1: Kellerautomat (Präsenz)

Lösung:

Erkennung des Testwortes 10001110 mithilfe der Konfiguration:

$$
\begin{aligned}
\delta_6 : &(s_0, 0, k_0) \rightarrow (s_1, 0k_0)\\
&(s_0, 1, k_0) \rightarrow (s_1, 1k_0)\\
&(s_1, 0, 0) \rightarrow (s_1, 00)\\
&(s_1, 1, 0) \rightarrow (s_1, \lambda)\\
&(s_1, 0, 1) \rightarrow (s_1, \lambda)\\
&(s_1, 1, 1) \rightarrow (s_1, 11)\\
&(s_1, \lambda, k_0) \rightarrow (s_0, k_0)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&(s_0, 10001110, k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 0001110, 1k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 001110, k_0)\\
\vdash\ &(s_0, 001110, k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 01110, 0k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 1110, 00k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 110, 0k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 10, k_0)\\
\vdash\ &(s_0, 10, k_0)\\
\vdash\ &(s_1, 0, 1k_0)\\
\vdash\ &(s_1, \lambda, k_0)\\
\vdash\ &(s_0, \lambda, k_0)
\end{aligned}
$$

Kontextfreie Grammatik: Definition

Definition:

Chomsky-Grammatik G = (N, T, P, S) heißt

- **Typ-2-Grammatik (kontextfreie Grammatik)** $\Leftrightarrow P \subseteq \mathbf{N} \times (\mathbf{N} \cup \mathbf{T})^*$

  d.h. alle Produktionen sind in der Form

  $$A \to \psi \quad \text{mit} \quad A \in \underbrace{N}_{\text{Non-terminal Symbol}} \text{ und } \psi \in \underbrace{(N \cup T)}_{\text{Terminal- oder Non-terminalsymbole}}{}^{*}.$$

  beliebig viele

Wiederholung Definition:

Eine **Chomsky-Grammatik** ist ein Tupel G = (N, T, P, S) mit

- N: Menge der **Nonterminalsymbole** (syntaktischen **Variablen**)
- T: Menge der **Terminalsymbole** (syntaktischen **Konstanten**)
- $P \subset (N \cup T)^+ \times (N \cup T)^*$: **Regelmenge** über $N \cup T$ bzw. Menge der **Produktionen**
- (d.h. $P \subset \{\varphi \to \psi \mid \varphi \in (N \cup T)^+ \wedge \psi \in (N \cup T)^*\}$)
- $S \in N$: **Startwort**

Kontextfreie Grammatik: Definition

Definition:

Chomsky-Grammatik $G = (N, T, P, S)$ heißt

- **Typ-2-Grammatik (kontextfreie Grammatik)** $\Leftrightarrow P \subseteq N \times (N \cup T)^*$

  d.h. alle Produktionen sind in der Form

  $A \to \psi$ mit $A \in N$ und $\psi \in (N \cup T)^*$.

Kontextfrei: Die Grammatik heißt *kontextfrei*, weil jede Regel $A \to \psi$ auf ein Symbol A angewendet werden kann, ohne dass der Kontext, d.h. der Rest des Wortes oder ein Teil davon, berücksichtigt werden muss.

Für ein Wort $\varphi_1 A \varphi_2$ mit der Regel $A \to \psi$ ist $\varphi_1 A \varphi_2 \Rightarrow \varphi_1 \psi \varphi_2$ mit $\varphi_1, \varphi_2 \in (N \cup T)^*$ eine mögliche Ableitung, unabhängig von φ_1 und φ_2

Aufgabe 2: Kontextfreie Grammatik (Präsenz)

Definition:

Chomsky-Grammatik G = (N, T, P, S) heißt

- **Typ-2-Grammatik (kontextfreie Grammatik)** $\Leftrightarrow P \subseteq N \times (N \cup T)^*$

  d.h. alle Produktionen sind in der Form

  $A \rightarrow \psi$ mit $A \in N$ und $\psi \in (N \cup T)^*$.

Welche der unten angegeben Regeln können Teil einer kontextfreien Grammatik darstellen?

- ✓ $\Lambda \rightarrow \Lambda$
- ✗ $AY \rightarrow M$
- ✗ $MA \rightarrow IM$
- ✗ $I \rightarrow I$
- ✓ $A \rightarrow I$
- ✓ $Y \rightarrow \nu o \kappa I A \Lambda Y M I A$

- **N**: Menge der **Nonterminalsymbole**
- **T**: Menge der **Terminalsymbole**
- $\Lambda, Y, A, \nu, o \in$ **N** und $M, I, \kappa \in$ **T**.

Aus der Vorlesung: Konstruktion eines Kellerautomaten zu einer kontextfreien Grammatik

Satz:

Zu jeder kontextfreien Grammatik G gibt es einen nichtdeterministischen Kellerautomaten KA mit L(KA) = L(G) und umgekehrt.

Idee: Eingabewort im Keller laut Grammatikregeln erzeugen und kontrolieren ob das Wort korrekt ist

Konstruktion eines Kellerautomaten zu einer kontextfreien Grammatik

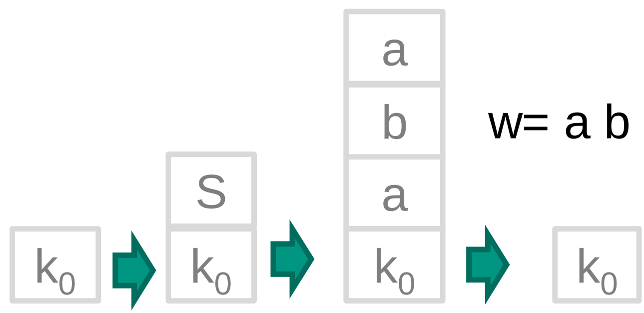
Satz:

Zu jeder kontextfreien Grammatik G gibt es einen nichtdeterministischen Kellerautomaten KA mit L(KA) = L(G) und umgekehrt.

Idee: Eingabewort im Keller laut Grammatikregeln erzeugen und kontrolieren ob das Wort korrekt ist

w= a b a

S→ aba

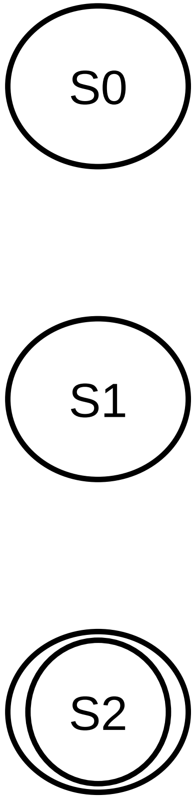


w= a b a

Algorithmus: Kontextfreie Grammatik → ndKA

INPUT: Kontextfreie Grammatik $G = (N, T, P, S_G)$;

OUTPUT: Nichtdet. $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;



$E := T;\ S := \{s_0, s_1, s_2\};$

$K := T \cup N \cup \{k_0\};\qquad F := \{s_2\};$

Idee: Wort im Keller erzeugen und kontrollieren ob das Wort korrekt ist

Algorithmus: Kontextfreie Grammatik → ndKA

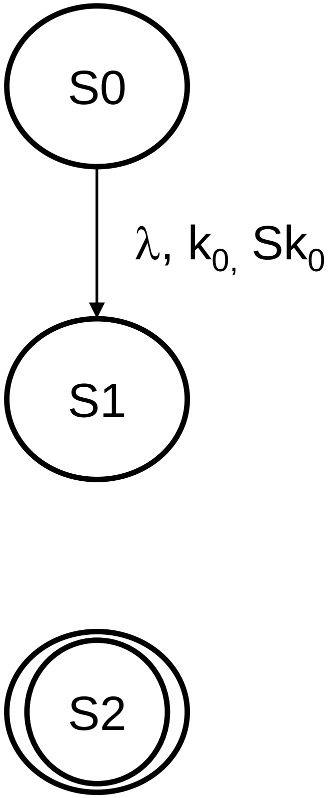
INPUT: Kontextfreie Grammatik $G = (N, T, P, S_G)$;

OUTPUT: Nichtdet. $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;

$E := T; \; S := \{s_0, s_1, s_2\};$

$K := T \cup N \cup \{k_0\};$ $F := \{s_2\};$

<u>Anfang:</u> Schreibe S auf den Keller: $\delta(s_0, \lambda, k_0) := \{(s_1, Sk_0)\}$



Idee: Wort im Keller erzeugen und kontrollieren ob das Wort korrekt ist

Algorithmus: Kontextfreie Grammatik → ndKA

INPUT: Kontextfreie Grammatik $G = (N, T, P, S_G)$;

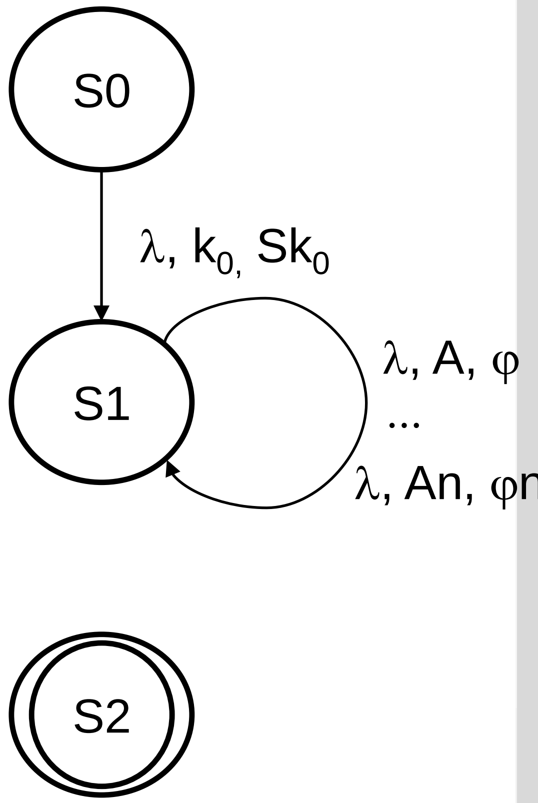
OUTPUT: Nichtdet. $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;

Oberstes Kellersymbol eine Variable $A \in N$:

für jede Regel $A \to \varphi \in P$

definiere λ-Übergang, bei dem A durch φ ersetzt wird:

$\delta(s_1, \lambda, A) := \{(s_1, \varphi) \mid A \to \varphi \in P\}$;

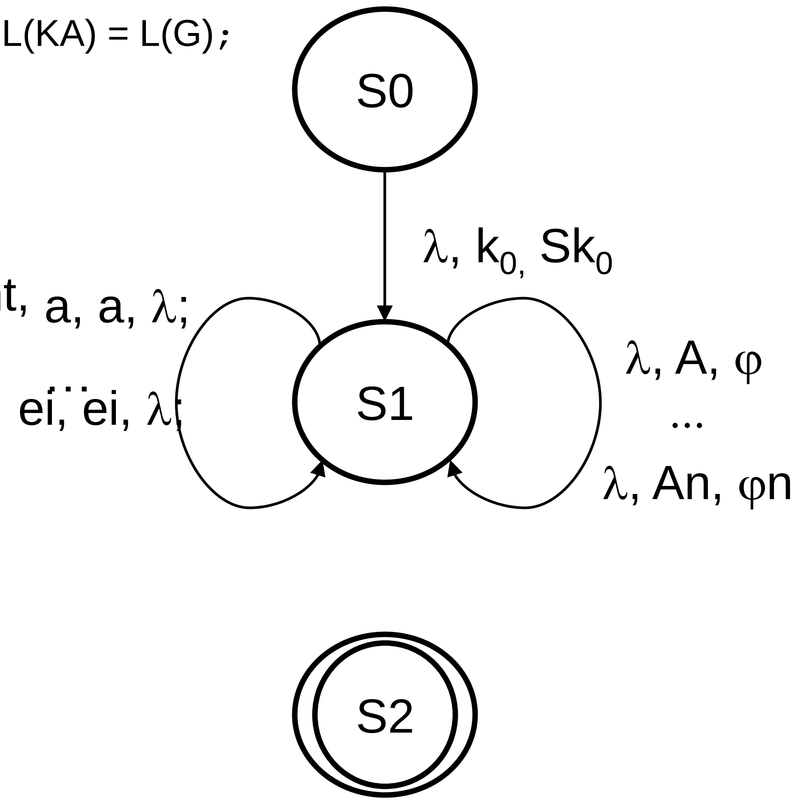


Idee: Wort im Keller erzeugen: immer oberstes Kellerzeichen durch deren Produkt ersetzen
und kontrollieren ob das Wort korrekt ist

Algorithmus: Kontextfreie Grammatik → ndKA

INPUT: Kontextfreie Grammatik $G = (N, T, P, S_G)$;

OUTPUT: Nichtdet. $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;



Oberstes Kellersymbol eine Konstante $a \in T$:

falls auf dem Eingabeband auch ein a steht,

lösche a vom Keller:

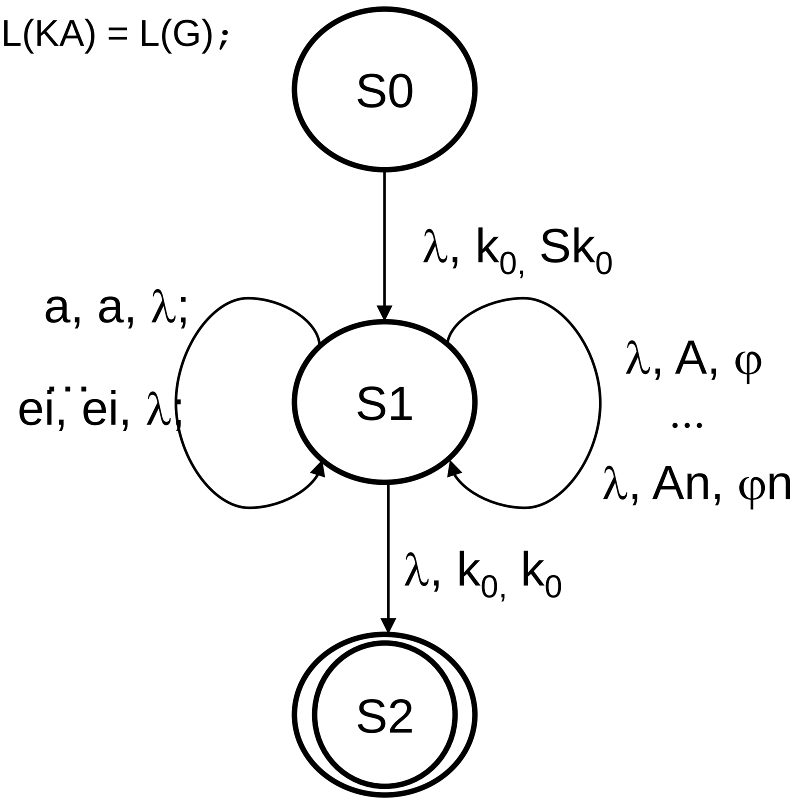
$\delta(s_1, a, a) := \{(s_1, \lambda)\}$;

Idee: Wort im Keller erzeugen: immer oberstes Kellerzeichen durch deren Produkt ersetzen
und **kontrollieren ob das Wort korrekt ist**

Algorithmus: Kontextfreie Grammatik → ndKA

INPUT: Kontextfreie Grammatik $G = (N, T, P, S_G)$;

OUTPUT: Nichtdet. $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;



Oberstes Kellersymbol k_0:

λ-Übergang in Endzustand :

$\delta(s_1, \lambda, k_0) := \{(s_2, k_0)\}$

END.

Idee: wort im Keller erzeugen: immer oberstes Kellerzeichen durch deren Produkt ersetzen
und kontrolieren ob das Wort korrekt ist,
wenn ja- fertig

Algorithmus: Kontextfreie Grammatik → ndKA

INPUT: Kontextfreie Grammatik $G = (N, T, P, S_G)$;

OUTPUT: Nichtdet. $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;

BEGIN

$E := T$; $S := \{s_0, s_1, s_2\}$; $K := T \cup N \cup \{k_0\}$; $F := \{s_2\}$;

Anfang: Schreibe S auf den Keller: $\delta(s_0, \lambda, k_0) := \{(s_1, Sk_0)\}$

Oberstes Kellersymbol eine Variable $A \in N$:

für jede Regel $A \rightarrow \varphi \in P$ definiere λ-Übergang, bei dem A durch φ ersetzt wird: $\delta(s_1, \lambda, A) := \{(s_1, \varphi) \mid A \rightarrow \varphi \in P\}$;

Oberstes Kellersymbol eine Konstante $a \in T$:

falls auf dem Eingabeband auch ein a steht, lösche a vom Keller:

$\delta(s_1, a, a) := \{(s_1, \lambda)\}$;

Oberstes Kellersymbol k_0:

λ-Übergang in Endzustand : $\delta(s_1, \lambda, k_0) := \{(s_2, k_0)\}$

END.

Beispiel: KFG → Kellerautomat

$G = (N, T, P, S_G)$ mit $P = \{ S_G \rightarrow \lambda \mid aS_Gb\}$

Ableitung : $S_G \Rightarrow aS_Gb \Rightarrow aaS_Gbb \Rightarrow aaaS_Gbbb \Rightarrow aaabbb$

$\vdash_{KA}$

Konfigurationsübergänge:

$(s_0, aaabbb, k_0)$

$(s_1, aaabbb, S_Gk_0)$

$(s_1, aaabbb, aS_Gbk_0)$

$(s_1, aabbb, S_Gbk_0)$

$(s_1, aabbb, aS_Gbbk_0)$

$(s_1, abbb, S_Gbbk_0)$

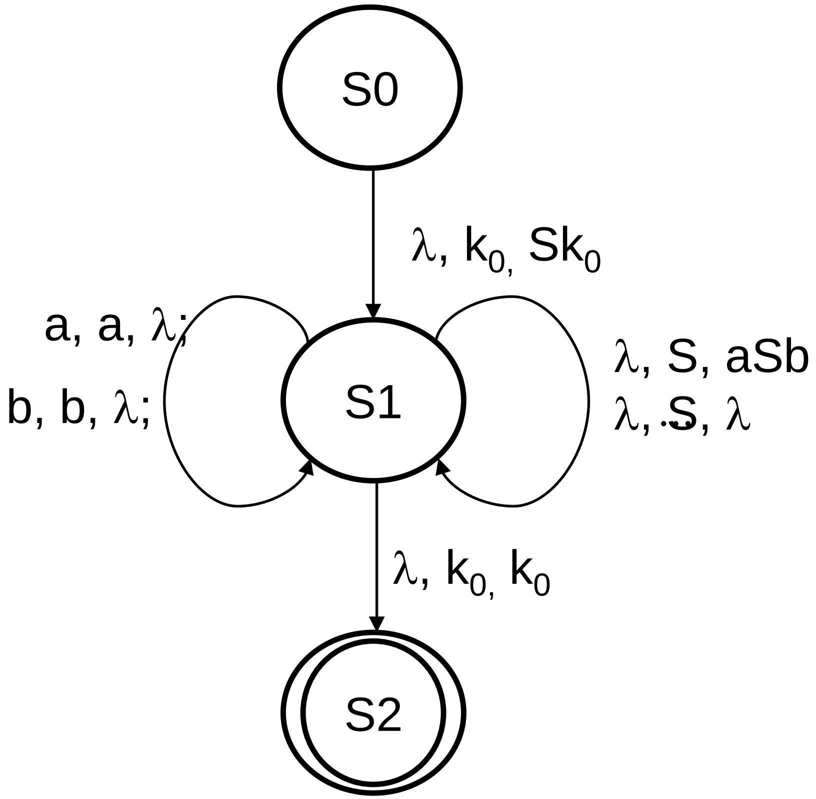
$(s_1, abbb, aS_Gbbbk_0)$

(s_1, bbb, S_Gbbbk_0)

$(s_1, bbb, bbbk_0)$ (s_1, bb, bbk_0) (s_1, b, bk_0)

(s_1, λ, k_0)

(s_2, λ, k_0)



Aufgabe 3: KFG → Kellerautomat (Präsenz)

- Geben Sie für folgende kontext-freie Grammatik den entsprechenden nicht-deterministischen Kellerautomaten an.
- G = ({A, B}, {a, b}, P, A)
- P = { A → aAbb | bB,
  B → Bba | Ab | λ }

- Beispiel Wortgeneration:
  - A → aAbb → abBbb → **abbb**

- Idee: Übernahme der Regeln zur Wortgeneration im Keller, gefolgt durch Leeren des Kellers.

Aufgabe 3: KFG $\rightarrow$ Kellerautomat (Präsenz)

- Geben Sie für folgende kontext-freie Grammatik den entsprechenden nicht-deterministischen Kellerautomaten an.
- $G = (\{A, B\}, \{a, b\}, P, A)$
- $P = \{ A \rightarrow aAbb \mid bB,$

  $B \rightarrow Bba \mid Ab \mid \lambda \}$

- Kellerautomat:
  - $KA = (E, S, K, \delta, s_0, k_0, F)$ mit $L(KA) = L(G)$;
  - **E =** $\{a, b\}$; **S =** $\{s_0, s_1, s_2\}$; **K =** $\{a, b\} \cup \{A, B\} \cup \{k_0\}$; **F =** $\{s_2\}$

- **Wenn der Keller das ganze Wort hat, wollen wir es (komplett) löschen.**

Aufgabe 3: KFG → Kellerautomat (Präsenz)

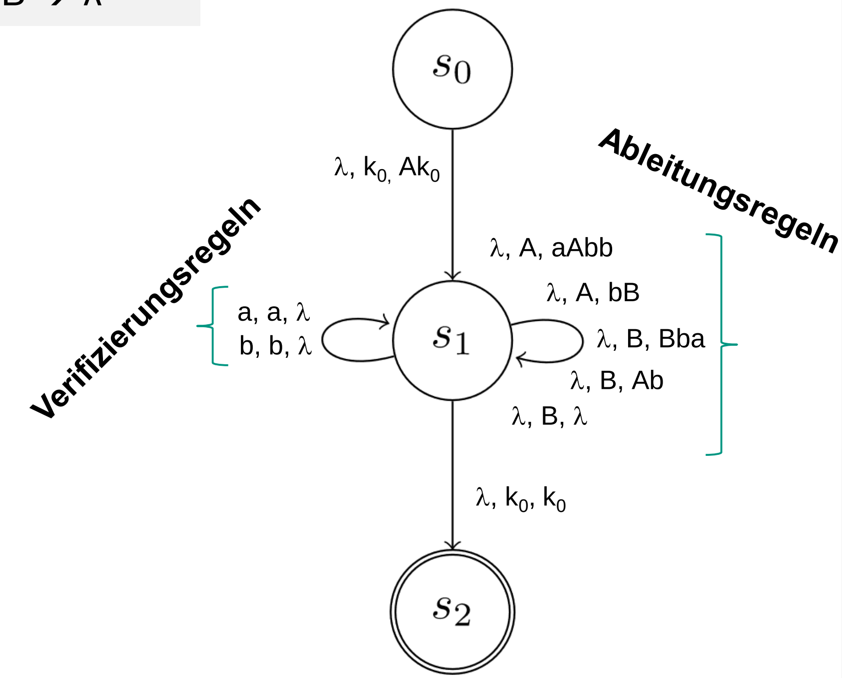
- Geben Sie für folgende kontext-freie Grammatik den entsprechenden nicht-deterministischen Kellerautomaten an.
- $G = (\{A, B\}, \{a, b\}, P, A)$
- $P = \{\ A \rightarrow aAbb \mid bB,$
  $B \rightarrow Bba \mid Ab \mid \lambda\ \}$

λ; A → aAbb
λ; A → bB
λ; B → Bba
λ; B → Ab
λ; B → λ

Genau nur das generieren was die Grammatik generieren kann

a; a → λ
b; b → λ

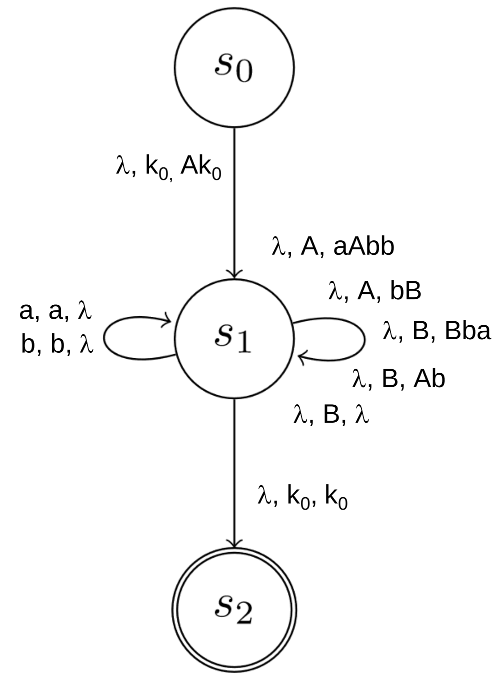
Leeren des Automaten



Aufgabe 3: KFG → Kellerautomat (Präsenz)

- Geben Sie für folgende kontext-freie Grammatik den entsprechenden nicht-deterministischen Kellerautomaten an.
- G = ({A, B}, {a, b}, P, A)
- P = { A → aAbb | bB,
  B → Bba | Ab | λ }

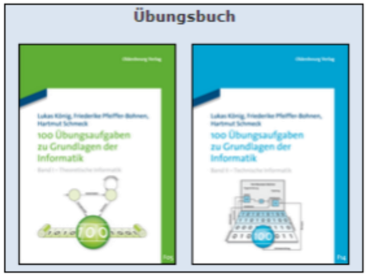
- Kellerautomat:
  - **KA** = (E, S, K, δ, s_0, k_0, F) mit L(KA) = L(G);
  - **E =** {a, b}; **S =** {s_0, s_1, s_2};
  - **K =** {a, b} ∪ {A, B} ∪ {k_0};
  - **F =** {s_2}
  - δ = { (s_0,λ,k_0)→(s_1,Ak_0); (s_1,λ,A) → (s_1,aAbb);
    (s_1,λ,A) → (s_1,bB); (s_1,λ,B) → (s_1,Bba);
    (s_1,λ,B) → (s_1,Ab); (s_1,λ,B) → (s_1,λ);
    (s_1,a,a) → (s_1,λ); (s_1,b,b) → (s_1,λ)
    (s_1,λ,k_0)→ (s_2, k_0) }



Auch Klausur-relevant…

Weitere Aufgaben zu den Themen dieses Tutoriums

- Aus dem **Aufgabenpool** bzw. **Übungsbuch**:
  - Kapitel 5: Kellerautomaten
  - Kapitel 6: Kontextfreie Grammatiken
- Heimaufgaben zu diesem Tutorium



- Bei Fragen oder Kommentaren zu **allen Aufgaben**
  - nutzen Sie die **Diskussionsplattformen** oder
  - fragen Sie Ihren Tutor.

Fragen zu den letzten Heimaufgaben

Während die Tutoriumsaufgaben einen Einstieg in ein Thema ermöglichen, dienen die Heimaufgaben dem tieferen Verständnis und insbesondere auch der Klausurvorbereitung

?

Aufgabe 4: Kellerautomat (Heim)

- Gegeben sei folgende Sprache *L*

$$L = \{w \in \{a, b, c\}^\star \mid w = a^m c^q b^n a^p \text{ mit } m = n + p; q = 2r; m, n, p, r \in \mathbb{N}_0\}$$

- Geben Sie zu *L* einen nichtdeterministischen Kellerautomaten A mit *L*(A) = *L* vollständig an und zeigen sie den Berechnungsablauf des Automaten für das Input-Wort ***aaccba***.

Aufgabe 4: Kellerautomat (Heim)

- Gegeben sei folgende Sprache *L*

  $L = \{w \in \{a,b,c\}^\star \mid w = a^m c^q b^n a^p \text{ mit } m = n + p;\ q = 2r;\ m,n,p,r \in \mathbb{N}_0\}$

- Lösung (Automaterstellung):

$$A = (\{a,b,c\}, \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_e\}, \{k_0, a, c\}, \delta, s_0, k_0, \{s_e\})$$

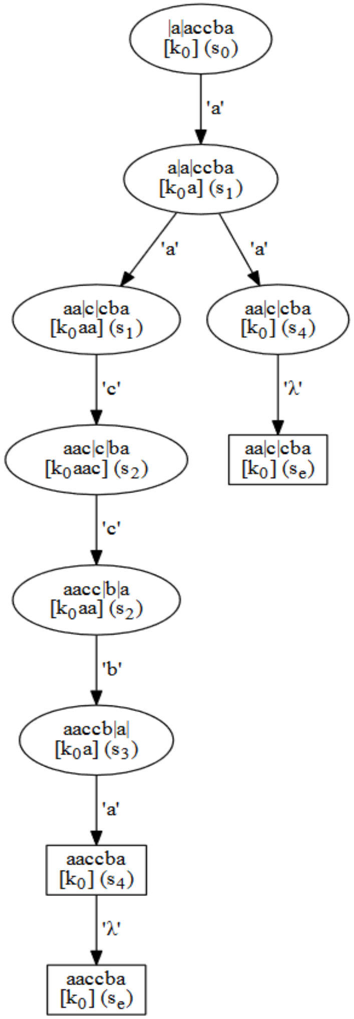
$$\delta: \begin{array}{rcl} (s_0,\lambda,k_0) & \rightarrow & (s_e,k_0) \\ (s_0,a,k_0) & \rightarrow & (s_1,ak_0) \\ (s_0,c,k_0) & \rightarrow & (s_2,ck_0) \\ (s_1,a,a) & \rightarrow & (s_1,aa) \\ (s_1,b,a) & \rightarrow & (s_3,\lambda) \\ (s_1,a,a) & \rightarrow & (s_4,\lambda) \\ (s_1,c,a) & \rightarrow & (s_2,ca) \\ (s_2,c,c) & \rightarrow & (s_2,\lambda) \\ (s_2,c,a) & \rightarrow & (s_2,ca) \\ (s_2,c,k_0) & \rightarrow & (s_2,ck_0) \\ (s_2,\lambda,k_0) & \rightarrow & (s_e,k_0) \\ (s_2,b,a) & \rightarrow & (s_3,\lambda) \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} (s_2,a,a) & \rightarrow & (s_4,\lambda) \\ (s_3,b,a) & \rightarrow & (s_3,\lambda) \\ (s_3,\lambda,k_0) & \rightarrow & (s_e,k_0) \\ (s_3,a,a) & \rightarrow & (s_4,\lambda) \\ (s_4,a,a) & \rightarrow & (s_4,\lambda) \\ (s_4,\lambda,k_0) & \rightarrow & (s_e,k_0) \end{array}$$

Aufgabe 4: Kellerautomat (Heim)

- Ablauf für Wort ***aaccba***:

$$A = (\{a, b, c\}, \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_e\}, \{k_0, a, c\}, \delta, s_0, k_0, \{s_e\})$$

$$\begin{array}{llcl}
\delta: & (s_0, \lambda, k_0) & \rightarrow & (s_e, k_0) \\
 & (s_0, a, k_0) & \rightarrow & (s_1, ak_0) \\
 & (s_0, c, k_0) & \rightarrow & (s_2, ck_0) \\
 & (s_1, a, a) & \rightarrow & (s_1, aa) \\
 & (s_1, b, a) & \rightarrow & (s_3, \lambda) \\
 & (s_1, a, a) & \rightarrow & (s_4, \lambda) \\
 & (s_1, c, a) & \rightarrow & (s_2, ca) \\
 & (s_2, c, c) & \rightarrow & (s_2, \lambda) \\
 & (s_2, c, a) & \rightarrow & (s_2, ca) \\
 & (s_2, c, k_0) & \rightarrow & (s_2, ck_0) \\
 & (s_2, \lambda, k_0) & \rightarrow & (s_e, k_0) \\
 & (s_2, b, a) & \rightarrow & (s_3, \lambda)
\end{array}
\qquad
\begin{array}{lcl}
(s_2, a, a) & \rightarrow & (s_4, \lambda) \\
(s_3, b, a) & \rightarrow & (s_3, \lambda) \\
(s_3, \lambda, k_0) & \rightarrow & (s_e, k_0) \\
(s_3, a, a) & \rightarrow & (s_4, \lambda) \\
(s_4, a, a) & \rightarrow & (s_4, \lambda) \\
(s_4, \lambda, k_0) & \rightarrow & (s_e, k_0)
\end{array}$$



Aufgabe 5: Kellerautomaten (Heim)

Gegeben sei für E = {0, 1} folgende Sprache *L* mit

$$L = \left\{ w \in E^\star \mid w = 0^n u \text{ mit } n \in \mathbb{N}_0 \text{ und } u \in \{0, 1\}^n \cup \{0, 1\}^{2n} \right\}$$

Wörter aus L können also unterteilt werden in einen Anfangsteil aus n Nullen, auf den ein Endteil u aus Nullen und Einsen folgt, der entweder |u| = *n* oder |u| = 2*n* lang ist. Es gilt beispielsweise (Leerstellen kennzeichnen bei Wörtern aus L beispielhaft eine mögliche Unterteilung in Anfangs-Nullen und u und gehören nicht zur Sprache):

λ; 0 11; 00 00; 00 11; 00 0010; 000 111 ∈ L;
100; 00000; 100000; 0101 ∉ L

Aufgabe 5: Kellerautomaten (Heim)

Gegeben sei für E = {0, 1} folgende Sprache *L* mit

$$L = \left\{ w \in E^\star \mid w = 0^n u \text{ mit } n \in \mathbb{N}_0 \text{ und } u \in \{0,1\}^n \cup \{0,1\}^{2n} \right\}$$

Geben Sie einen nichtdeterministischen Kellerautomaten

A = (E; S; K; λ; s_0; k_0; F) an, mit *L*(A) = *L*. Geben Sie A vollständig an.

Aufgabe 5: Kellerautomaten (Heim)

Gegeben sei für E = {0, 1} folgende Sprache *L* mit

$$L = \left\{ w \in E^\star \mid w = 0^n u \text{ mit } n \in \mathbb{N}_0 \text{ und } u \in \{0, 1\}^n \cup \{0, 1\}^{2n} \right\}$$

Geben Sie einen nichtdeterministischen Kellerautomaten

A = (E; S; K; λ; s_0; k_0; F) an, mit *L*(A) = *L*. Geben Sie A vollständig an.

A = {{0,1}, {s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_e}, {k_0, 0}, δ, s_0, k_0, {s_0, s_e}}

$\delta(s_0, 0, k_0) = \{(s_1, 0k_0)\}$

$\delta(s_1, 0, 0) = \{(s_1, 00), (s_2, \lambda), (s_4, 0)\}$

$\delta(s_1, 1, 0) = \{(s_2, \lambda), (s_4, 0)\}$

$\delta(s_2, 0, 0) = \{(s_2, \lambda)\}$

$\delta(s_2, 1, 0) = \{(s_2, \lambda)\}$

$\delta(s_2, 1, 0) = \{(s_2, \lambda)\}$

$\delta(s_2, \lambda, k_0) = \{(s_e, k_0)\}$

$\delta(s_4, 0, 0) = \{(s_3, \lambda)\}$

$\delta(s_4, 1, 0) = \{(s_3, \lambda)\}$

$\delta(s_3, 0, 0) = \{(s_4, 0)\}$

$\delta(s_3, 1, 0) = \{(s_4, 0)\}$

$\delta(s_3, \lambda, k_0) = \{(s_e, k_0)\}$