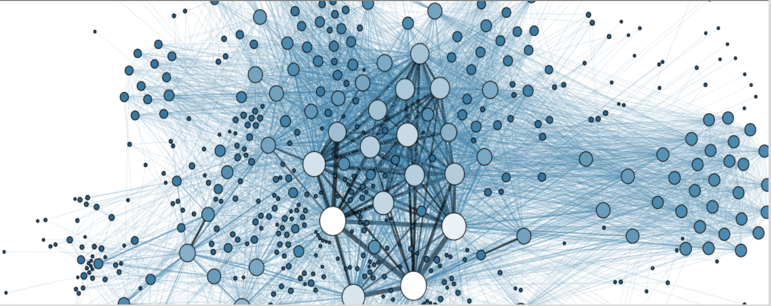
Karlsruher Institut für Technologie

lukasbach

Grundbegriffe der Informatik
Tutorium 33

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu | 17.11.2016



Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Was ist überhaupt vollständige Induktion?

- Beweisverfahren
- In der Regel zu zeigen: Eine Aussage gilt für alle $n \in \mathbb{N}_+$, manchmal auch für alle $n \in \mathbb{N}_0$
- Man schließt "induktiv" von einem n auf n+1
- Idee: Wenn die Behauptung für ein beliebiges **festes** n gilt, dann gilt sie auch für den Nachfolger n+1 (und somit auch für dessen Nachfolger und schließlich für alle n)

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Struktur des Beweises

Behauptung: (*kurz* **Beh.:**)
Beweis: (*kurz* **Bew.:**)

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Struktur des Beweises

Behauptung: (*kurz* **Beh.:**)

Beweis: (*kurz* **Bew.:**)

- Induktionsanfang: (*kurz* **IA:**)
  - Zeigen, dass Behauptung für Anfangswert gilt (oft $n = 1$)
  - Auch mehrere (z.B. zwei) Anfangswerte möglich

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Struktur des Beweises

Behauptung: (*kurz* **Beh.:**)

Beweis: (*kurz* **Bew.:**)

- Induktionsanfang: (*kurz* **IA:**)
  - Zeigen, dass Behauptung für Anfangswert gilt (oft $n = 1$)
  - Auch mehrere (z.B. zwei) Anfangswerte möglich
- Induktionsvoraussetzung: (*kurz* **IV:**)
  - Sei $n \in \mathbb{N}_+$ (bzw. $n \in \mathbb{N}_0$) fest aber beliebig und es gelte [Behauptung einsetzen]

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Struktur des Beweises

Karlsruher Institut für Technologie

Behauptung: (*kurz* **Beh.:**)

Beweis: (*kurz* **Bew.:**)

- Induktionsanfang: (*kurz* **IA:**)
  - Zeigen, dass Behauptung für Anfangswert gilt (oft $n = 1$)
  - Auch mehrere (z.B. zwei) Anfangswerte möglich
- Induktionsvoraussetzung: (*kurz* **IV:**)
  - Sei $n \in \mathbb{N}_+$ (bzw. $n \in \mathbb{N}_0$) fest aber beliebig und es gelte [Behauptung einsetzen]
- Induktionsschritt: (*kurz* **IS:**)
  - Behauptung für n+1 auf n zurückführen
  - Wenn induktive Definition gegeben: verwenden!
  - Sonst: Versuche Ausdruck, in dem (n+1) vorkommt umzuformen in einen Ausdruck, in dem nur n vorkommt

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgabe

$$x_0 := 0$$
$$\text{Für alle } n \in \mathbb{N}_0 : x_{n+1} := x_n + 2n + 1$$

Zeige mithilfe vollständiger Induktion, dass für alle $n \in \mathbb{N}_0$

$$x_n = n^2$$

gilt.

Formale Sprache

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

Karlsruher Institut für Technologie

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

Karlsruher Institut für Technologie

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

Karlsruher Institut für Technologie

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Formale Sprache

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.
  - $L_1 := \{ban, baan, nba, aa\}$ ist eine mögliche formale Sprache über A.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.
  - $L_1 := \{ban, baan, nba, aa\}$ ist eine mögliche formale Sprache über A.
  - $L_2 := \{banana, banananana, banananana, ...\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.
  - $L_1 := \{ban, baan, nba, aa\}$ ist eine mögliche formale Sprache über A.
  - $L_2 := \{banana, bananana, banananana, ...\}$
    $= \{w : w = bana(na)^k, k \in \mathbb{N}\}$ auch.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.
  - $L_1 := \{ban, baan, nba, aa\}$ ist eine mögliche formale Sprache über A.
  - $L_2 := \{banana, bananana, banananana, \dots\}$
    $= \{w : w = bana(na)^k, k \in \mathbb{N}\}$ auch.
  - $L_3 := \{ban, baan, baaan, \dots\}$ auch.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.
  - $L_1 := \{ban, baan, nba, aa\}$ ist eine mögliche formale Sprache über A.
  - $L_2 := \{banana, bananana, banananana, \ldots\}$
    $= \{w : w = bana(na)^k, k \in \mathbb{N}\}$ auch.
  - $L_3 := \{ban, baan, baaan, \ldots\}$ auch. Andere Schreibweise?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Formale Sprache

- Was war nochmal A^*? Menge aller Wörter *beliebiger* Länge über Alphabet A.
- Was war nochmal eine formale Sprache?

Formale Sprache

Eine Formale Sprache L über einem Alphabet A ist eine Teilmenge $L \subseteq A$.

Als Beispiel von vorigen Folien:

- $A := \{b, n, a\}$.
  - $L_1 := \{ban, baan, nba, aa\}$ ist eine mögliche formale Sprache über A.
  - $L_2 := \{banana, bananana, banananana, \ldots\}$
    $= \{w : w = bana(na)^k, k \in \mathbb{N}\}$ auch.
  - $L_3 := \{ban, baan, baaan, \ldots\}$ auch. Andere Schreibweise?
    $L_3 = \{w : w = ba^k n, k \in \mathbb{N}\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}, B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}$, $B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}, B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort ab nicht enthält?

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}, B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort *ab* nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}$, $B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}$, $B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort *ab* nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^*$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}, B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}$, $B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache L_4, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}$, $B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^* = A^* \backslash \{\varepsilon\}$.
- Sprache L_4, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
  - $B := \{\_, a, b, ..., z, A, B, ..., Z\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}, B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort *ab* nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache L_4, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
  - $B := \{\_, a, b, ..., z, A, B, ..., Z\}$
  - $C := B \cup \mathbb{Z}_9$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}$, $B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort *ab* nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^* = A^* \backslash \{\varepsilon\}$.
- Sprache L_4, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
  - $B := \{\_, a, b, ..., z, A, B, ..., Z\}$
  - $C := B \cup \mathbb{Z}_9$
  - $L_4 \subseteq C$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt $L_1 \cdot L_2$ bilden mit $L_1 \cdot L_2 = \{w_1 w_2 : w_1 \in L_1 \text{ und } w_2 \in L_2\}$.

Sei $A := \{a, b\}, B := \{A, B, C, D, E, F\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A$, die zuerst drei a's enthält und dann beliebig viele b's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{b\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq A$, die das Teilwort *ab* nicht enthält? $L_2 = \{b\}^*\{a\}^*$.
- Sprache $L_3 \subseteq A$, die alle Wörter über A enthält außer ε? $L_3 = A \cdot A^* = A^* \backslash \{\varepsilon\}$.
- Sprache L_4, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
  - $B := \{\_, a, b, ..., z, A, B, ..., Z\}$
  - $C := B \cup \mathbb{Z}_9$
  - $L_4 \subseteq C = (B \cdot C^*) \backslash \{if, class, while, ...\}$

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

Sei A ein beliebiges Alphabet und $M := \{L : L \text{ ist formale Sprache über } A\}$

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

Sei A ein beliebiges Alphabet und $M := \{L : L \text{ ist formale Sprache über } A\} = 2^{A}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

Sei A ein beliebiges Alphabet und $M := \{L : L \text{ ist formale Sprache über } A\} = 2^{A}$. Produkt von Sprachen lässt sich auch als Abbildung bzw. Verknüpfung $\cdot : M \times M \to M$ darstellen.

Zeige:

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

Sei A ein beliebiges Alphabet und $M := \{L : L$ ist formale Sprache über $A\} = 2^A$. Produkt von Sprachen lässt sich auch als Abbildung bzw. Verknüpfung $\cdot : M \times M \to M$ darstellen.

Zeige:

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ.

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

Sei A ein beliebiges Alphabet und $M := \{L : L$ ist formale Sprache über $A\} = 2^{A}$. Produkt von Sprachen lässt sich auch als Abbildung bzw. Verknüpfung $\cdot : M \times M \to M$ darstellen.

Zeige:

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (Neutrales Element)

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

Sei A ein beliebiges Alphabet und $M := \{L : L \text{ ist formale Sprache über } A\} = 2^A$. Produkt von Sprachen lässt sich auch als Abbildung bzw. Verknüpfung $\cdot : M \times M \to M$ darstellen.

Zeige:

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (Neutrales Element)
- Es gibt ein Element $o \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot o = o = o \cdot x$. (Absorbierendes Element)

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\})$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\}$

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$
- Es gibt ein Element $o \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot o = o = o \cdot x$. (Absorbierendes Element)

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Produkt von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$
- Es gibt ein Element $o \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot o = o = o \cdot x$. (Absorbierendes Element)
  - $o := \emptyset$

Produkt von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$
- Es gibt ein Element $o \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot o = o = o \cdot x$. (Absorbierendes Element)
  - $o := \emptyset$
  - $L_1 \cdot \emptyset = \emptyset = \emptyset \cdot L_1$

$(M, \cdot)$ ist damit keine Gruppe

Produkt von Sprachen

Seien $L_1, L_2, L_3 \in M$.

- Die Verknüpfung $\cdot$ ist assoziativ:
  - $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} = L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3)$.
- Es gibt (mindestens) ein Element $e \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot e = e \cdot x = x$. (neutrales Element)
  - $e := \{\varepsilon\}$.
  - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$
- Es gibt ein Element $o \in M$, sodass für alle $x \in M$ gilt: $x \cdot o = o = o \cdot x$. (Absorbierendes Element)
  - $o := \emptyset$
  - $L_1 \cdot \emptyset = \emptyset = \emptyset \cdot L_1$

$(M, \cdot)$ ist damit keine Gruppe, es existieren keine Invers-Element.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$

Potenz von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. L_1^1

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.

Potenz von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = ...$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = ...$
  - L_2^2

Potenz von Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = ...$
  - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2$

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = \ldots$
  - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2$

Potenz von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = ...$
  - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = ...$
  - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2 = \{abababccccabababcccc\}$.

Potenz von Sprachen

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = ...$
  - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2 = \{abababccccabababcccc\}$.
- $L_3 := (\{a\} \cup \{b\})^2$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_+$.

- $L_1 := \{a\}$.
  - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
  - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
  - $L_2^0 = \{\varepsilon\}, L_1^1 = \ldots$
  - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2 = \{abababccccabababcccc\}$.
- $L_3 := (\{a\} \cup \{b\})^2 = \{aa, ab, ba, bb\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert als $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert als $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

- Warum gilt $\varepsilon \notin L^+$ von beliebiger formeller Sprache L?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert als $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

- Warum gilt $\varepsilon \notin L^+$ von beliebiger formeller Sprache L?
- $L := \{a, b, c\}.L^*$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert als $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

- Warum gilt $\varepsilon \notin L^+$ von beliebiger formeller Sprache L?
- $L := \{a, b, c\}. L^* = \{\varepsilon, a, aa, ab, ac, aaa, aab, \dots, b, ba, bb, \dots\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert als $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

- Warum gilt $\varepsilon \notin L^+$ von beliebiger formeller Sprache L?
- $L := \{a, b, c\}. L^* = \{\varepsilon, a, aa, ab, ac, aaa, aab, \dots, b, ba, bb, \dots\}$
- $L := \{aa, bc\}. L^*$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der Konkatenationsabschluss L^* definiert als $L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i$.

ε-freie Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L ist der ε-freie Konkatenationsabschluss L^+ definiert als $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

- Warum gilt $\varepsilon \notin L^+$ von beliebiger formeller Sprache L?
- $L := \{a, b, c\}. L^* = \{\varepsilon, a, aa, ab, ac, aaa, aab, \dots, b, ba, bb, \dots\}$
- $L := \{aa, bc\}. L^* =$ $\{\varepsilon, aa, bc, aa \cdot aa, aa \cdot bc, bc \cdot aa, bc \cdot bc, aa \cdot aa \cdot aa, \dots\}$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - $aaabbabbaaabba$?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - $aaabbabbaaabba$? Nein.
  - $aaabb$ und $abbaaabba$? Ja, nein.
  - $aaabb$, abb, $aaabba$? Ja, ja, nein.
  - $aaabb$, abb, $aaabb$, a? Alles drin.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - $aaabbabbaaabba$? Nein.
  - $aaabb$ und $abbaaabba$? Ja, nein.
  - $aaabb$, abb, $aaabba$? Ja, ja, nein.
  - $aaabb$, abb, $aaabb$, a? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - $aaabbabbaaabba$? Nein.
  - $aaabb$ und $abbaaabba$? Ja, nein.
  - $aaabb$, abb, $aaabba$? Ja, ja, nein.
  - $aaabb$, abb, $aaabb$, a? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - $aaabbabbaaabba$? Ja.
  - $aaabb$ und $abbaaabba$? Ja.
  - $aaabb$, abb, $aaabba$?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Ja.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Ja.
  - Alle Wörter aus L^*!

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Sei $L := \{a\}^*\{b\}^*$.

- Was ist alles in L drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Nein.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja, ja, nein.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Alles drin.
- Was ist alles in L^* drin?
  - *aaabbabbaaabba*? Ja.
  - *aaabb* und *abbaaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabba*? Ja.
  - *aaabb*, *abb*, *aaabb*, *a*? Ja.
  - Alle Wörter aus L^*! $\rightarrow L^* = \{a, b\}^*$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Übung zu Konkatenationsabschluss

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$

mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und

$w'' \in L$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$

Übung zu Konkatenationsabschluss

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$
mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also
$w = w'w'' \in L^i \cdot L$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$
mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also
$w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$
mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$.

Übung zu Konkatenationsabschluss

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$

Übung zu Konkatenationsabschluss

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1}$

Übung zu Konkatenationsabschluss

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^\in \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1} = L^j \cdot L$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1} = L^j \cdot L$.

Also $w = w'w''$ mit $w' \in L^j$ und $w'' \in L$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1} = L^j \cdot L$.

Also $w = w'w''$ mit $w' \in L^j$ und $w'' \in L$.

Wegen $L^j \subseteq L^*$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1} = L^j \cdot L$.

Also $w = w'w''$ mit $w' \in L^j$ und $w'' \in L$.

Wegen $L^j \subseteq L^*$ ist $w = w'w''$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu Konkatenationsabschluss

Karlsruher Institut für Technologie

Erinnerung

$$L^* := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_0} L^i \qquad L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$$

Beweisaufgabe

Beweise: $L^* \cdot L = L^+$.

$\subseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit $w = w'w''$, $w' \in L^*$ und $w'' \in L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_0$ mit $w' \in L^i$, also $w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Weil $i +^{\in} \mathbb{N}_+$, gilt: $L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

$\supseteq$:

Vorraussetzung: $w \in L^* \cdot L$.

Dann existiert ein $i \in \mathbb{N}_+$ mit $w \in L^i$. Da $i \in \mathbb{N}_+$, existiert ein $j \in \mathbb{N}_0$ mit $i = j + 1$, also für ein solches $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1} = L^j \cdot L$.

Also $w = w'w''$ mit $w' \in L^j$ und $w'' \in L$.

Wegen $L^j \subseteq L^*$ ist $w = w'w'' \in L^* \cdot L$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu formalen Sprachen

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu formalen Sprachen

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

- Wie sieht $L_1 \cdot L_2$ aus?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu formalen Sprachen

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

- Wie sieht $L_1 \cdot L_2$ aus?
- Wie sieht L_1^3 aus?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu formalen Sprachen

Karlsruher Institut für Technologie

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

- Wie sieht $L_1 \cdot L_2$ aus?
- Wie sieht L_1^3 aus?
- Wie sieht $L_1^2 \cdot L_2 \cdot L_2^0 \cdot L_1^*$ aus?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Übung zu formalen Sprachen

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

- Wie sieht $L_1 \cdot L_2$ aus?
- Wie sieht L_1^3 aus?
- Wie sieht $L_1^2 \cdot L_2 \cdot L_2^0 \cdot L_1^*$ aus?
- Wie sieht $(L_1^*)^0 \cdot L_2^+$ aus?

Herführung zu Zahlendarstellungen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

- Was können wir daraus machen?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

- Was können wir daraus machen?
- $A_{dez}^* \supset \{42, 1337, 999\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

- Was können wir daraus machen?
- $A_{dez}^* \supset \{42, 1337, 999\}$.
- $A_{bin}^* \supset \{101010, 10100111001, 1111100111\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

- Was können wir daraus machen?
- $A^*_{dez} \supset \{42, 1337, 999\}$.
- $A^*_{bin} \supset \{101010, 10100111001, 1111100111\}$.
- $A^*_{oct} \supset \{52, 2471, 1747\}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

- Was können wir daraus machen?
- $A_{dez}^* \supset \{42, 1337, 999\}$.
- $A_{bin}^* \supset \{101010, 10100111001, 1111100111\}$.
- $A_{oct}^* \supset \{52, 2471, 1747\}$.
- Wir suchen eine Möglichkeit, diese Zahlen zu deuten.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Herführung zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Wir betrachten die Alphabete $A_{dez} := \mathbb{Z}_{10}, A_{bin} := \{0, 1\}, A_{oct} := \mathbb{Z}_8$.

- Was können wir daraus machen?
- $A_{dez}^* \supset \{42, 1337, 999\}$.
- $A_{bin}^* \supset \{101010, 10100111001, 1111100111\}$.
- $A_{oct}^* \supset \{52, 2471, 1747\}$.
- Wir suchen eine Möglichkeit, diese Zahlen zu deuten.
- Aber irgendwie so, dass $42_{\in A_{dez}} \overset{Deutung}{=} 101010_{\in A_{bin}} \overset{Deutung}{=} 52_{\in A_{oct}}$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

Definition von Zahlendarstellungen

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

$$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x) \text{ mit } w \in Z_k^* \text{ und } x \in Z_k.$$

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

Definition von Zahlendarstellungen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$Num_k(\varepsilon) = 0$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3)$

Definition von Zahlendarstellungen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$Num_k(\varepsilon) = 0$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3) = 3$

Definition von Zahlendarstellungen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$Num_k(\varepsilon) = 0$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3) = 3$, $num_{10}(7)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3) = 3$, $num_{10}(7) = 7$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$Num_k(\varepsilon) = 0$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3) = 3$, $num_{10}(7) = 7$, $num_{10}(11) =$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$Num_k(\varepsilon) = 0$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3) = 3$, $num_{10}(7) = 7$, $num_{10}(11) =$ nicht definiert.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Definition von Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern wird mit Num_k eine eindeutige Zahl zugeordnet:

$Num_k(\varepsilon) = 0$

$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

num_k

Einer einzelnen Ziffer $x \in Z_k$ aus einem Alphabet von Ziffern Z_k wird mit $num_k(x)$ der Wert der Zahl zugewiesen.

- Wichtig: $Num_k(w) \neq num_k(w)$!
- Was ist: $num_{10}(3) = 3$, $num_{10}(7) = 7$, $num_{10}(11) =$ nicht definiert.
- Für Zahlen $\geq k$: Benutze Num_k!

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0$.
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?
Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$ $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$ $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010) = 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010) = 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) = 2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010) = 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?
Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010) = 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0$.
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123$.

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010) = 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0) = 10$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Beispiel zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

$Num_k(\varepsilon) = 0$.
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Was ist $Num_{10}(123)$?

- $Num_{10}(123) = 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) =$
  $10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123.$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010? Diesmal Basis $k = 2$.

- $Num_2(1010) = 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) =$
  $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0) = 10.$

Yay!

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

$Num_k(\varepsilon) = 0.$
$Num_k(wx) = k \cdot Num_k(w) + num_k(x)$ mit $w \in Z_k^*$ und $x \in Z_k$.

Übungen zu Zahlendarstellungen

Berechne den numerischen Wert der folgenden Zahlen anderer Zahlensysteme nach dem vorgestellten Schema:

- $Num_8(345)$.
- $Num_2(11001)$.
- $Num_2(1000)$.
- $Num_4(123)$.
- $Num_{16}(4DF)$. (Zusatz)

Anmerkung: Hexadezimalzahlen sind zur Basis 16 und verwenden als Ziffern (in aufsteigender Reihenfolge: $1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

- $Num_8(345)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229.$
- $Num_2(11001)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229$.
- $Num_2(11001) = 25$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229.$
- $Num_2(11001) = 25.$
- $Num_2(1000)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229.$
- $Num_2(11001) = 25.$
- $Num_2(1000) = 8.$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229.$
- $Num_2(11001) = 25.$
- $Num_2(1000) = 8.$
- $Num_4(123)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229.$
- $Num_2(11001) = 25.$
- $Num_2(1000) = 8.$
- $Num_4(123) = 27.$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229.$
- $Num_2(11001) = 25.$
- $Num_2(1000) = 8.$
- $Num_4(123) = 27.$
- $Num_{16}(4DF)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Aufgaben zu Zahlendarstellungen

Lösungen:

- $Num_8(345) = 229$.
- $Num_2(11001) = 25$.
- $Num_2(1000) = 8$.
- $Num_4(123) = 27$.
- $Num_{16}(4DF) = 1247$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2 \cdot 1+0)+1)+0)+1)+0$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2 \cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4 \cdot 1+2^4 \cdot 0+2^3 \cdot 1+2^2 \cdot 0+2^1 \cdot 1+2^0 \cdot 0.$

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2 \cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4 \cdot 1+2^4 \cdot 0+2^3 \cdot 1+2^2 \cdot 0+2^1 \cdot 1+2^0 \cdot 0.$
Daher, einfachere Rechenweise:
$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2 \cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4 \cdot 1+2^4 \cdot 0+2^3 \cdot 1+2^2 \cdot 0+2^1 \cdot 1+2^0 \cdot 0.$
Daher, einfachere Rechenweise:
$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + \ldots.$
Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0) + 1) + 0 = 2^4 \cdot 1 + 2^4 \cdot 0 + 2^3 \cdot 1 + 2^2 \cdot 0 + 2^1 \cdot 1 + 2^0 \cdot 0.$
Daher, einfachere Rechenweise:
$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$
Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101)$

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2\cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4\cdot 1+2^4\cdot 0+2^3\cdot 1+2^2\cdot 0+2^1\cdot 1+2^0\cdot 0.$
Daher, einfachere Rechenweise:
$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$
Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

Es gilt:
$2(2(2(2(2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0) + 1) + 0 = 2^4 \cdot 1 + 2^4 \cdot 0 + 2^3 \cdot 1 + 2^2 \cdot 0 + 2^1 \cdot 1 + 2^0 \cdot 0.$
Daher, einfachere Rechenweise:
$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$
Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$
- $Num_2(11101)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:

$2(2(2(2(2\cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4\cdot 1+2^4\cdot 0+2^3\cdot 1+2^2\cdot 0+2^1\cdot 1+2^0\cdot 0.$

Daher, einfachere Rechenweise:

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$
- $Num_2(11101) = 29.$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:

$2(2(2(2(2\cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4\cdot 1+2^4\cdot 0+2^3\cdot 1+2^2\cdot 0+2^1\cdot 1+2^0\cdot 0.$

Daher, einfachere Rechenweise:

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$
- $Num_2(11101) = 29.$
- $Num_2(111111111)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Es gilt:
$2(2(2(2(2\cdot 1+0)+1)+0)+1)+0 = 2^4\cdot 1+2^4\cdot 0+2^3\cdot 1+2^2\cdot 0+2^1\cdot 1+2^0\cdot 0.$
Daher, einfachere Rechenweise:
$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$
Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$
- $Num_2(11101) = 29.$
- $Num_2(1111111111) = 1023.$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_{16}(A1)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_{16}(A1) = 161$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Karlsruher Institut für Technologie

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_{16}(A1) = 161.$
- $Num_{16}(BC)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_{16}(A1) = 161.$
- $Num_{16}(BC) = 188.$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_{16}(A1) = 161.$
- $Num_{16}(BC) = 188.$
- $Num_{16}(14)$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

$Num_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + ...$

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_{16}(A1) = 161$.
- $Num_{16}(BC) = 188$.
- $Num_{16}(14) = 20$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- 22 div 8

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- 22 div 8 $= 2$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8$

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \bmod 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4													

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ $(\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0												

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0											

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0										

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0									

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1								

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1							

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1						

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1					

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2				

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2			

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2		

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \ (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ $(\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4													

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0												

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ $(\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1											

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \ (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2										

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3									

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0								

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1							

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2						

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \ (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2	3					

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2 \; (\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2	3	0				

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1			

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ $(\frac{22}{8} = 2,75)$.
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2		

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu

Rechnen mit *div* und *mod*

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	

Rechnen mit *div* und *mod*

Karlsruher Institut für Technologie

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig. (Schneidet also den Rest ab).

mod Funktion

Die Modulo Funktion *mod* gibt den Rest einer ganzzahligen Division zurück.

- $22 \text{ div } 8 = 2$ ($\frac{22}{8} = 2,75$).
- $22 \text{ mod } 8 = 6$.

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x *div* 4	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
x *mod* 4	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0

Lukas Bach, lukas.bach@student.kit.edu