

Grundbegriffe der Informatik

Tutorium 33

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



Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

■ Was macht die Funktion val_l ?

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- Was macht die Funktion val_l ?
- Was bedeutet Äquivalenz?

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- Was macht die Funktion val_l ?
- Was bedeutet Äquivalenz?
- Was bedeutet Tautologie und Erfüllbarkeit?

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- Was macht die Funktion val_l ?
- Was bedeutet Äquivalenz?
- Was bedeutet Tautologie und Erfüllbarkeit?
- Welche dieser Aussagen sind erfüllbar?

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- Was macht die Funktion val_l ?
- Was bedeutet Äquivalenz?
- Was bedeutet Tautologie und Erfüllbarkeit?
- Welche dieser Aussagen sind erfüllbar?

- $\neg(P \wedge Q) \leftrightarrow \neg P \vee \neg Q$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- Was macht die Funktion val_l ?
- Was bedeutet Äquivalenz?
- Was bedeutet Tautologie und Erfüllbarkeit?
- Welche dieser Aussagen sind erfüllbar?

- $\neg(P \wedge Q) \leftrightarrow \neg P \vee \neg Q$

- $P \wedge P \leftrightarrow P \vee P$

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}$.

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}$.

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

- Zeige: $A(1)$ ist wahr

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}$.

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

- Zeige: $A(1)$ ist wahr, sowie $A(i)$ gilt $\rightarrow A(i+1)$ gilt für beliebiges $i \in \mathbb{N}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}$.

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

- Zeige: $A(1)$ ist wahr, sowie $A(i)$ gilt $\rightarrow A(i+1)$ gilt für beliebiges $i \in \mathbb{N}$.
- Also:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"n-ter Stein fällt um"} \forall n \in \mathbb{N}$.
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}$.

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

- Zeige: $A(1)$ ist wahr, sowie $A(i)$ gilt $\rightarrow A(i+1)$ gilt für beliebiges $i \in \mathbb{N}$.
- Also: Der erste Stein fällt, sowie:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"}n\text{-ter Stein fällt um" } \forall n \in \mathbb{N}.$
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}.$

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

- Zeige: $A(1)$ ist wahr, sowie $A(i)$ gilt $\rightarrow A(i+1)$ gilt für beliebiges $i \in \mathbb{N}.$
- Also: Der erste Stein fällt, sowie: falls der i -te Stein fällt, so fällt auch der $i+1$ -te Stein.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Wahrheitsgehalt von unendlich Aussagen

Beispielsituation: Wir haben unendlich viele Dominosteine. Behauptung:
Alle Dominosteine fallen um.

- Wir haben Aussagen: {"1. Stein fällt um", "2. Stein fällt um", ...}
- Wie zeigen wir unendlich viele Aussagen?
- Stelle Aussagen in Abhängigkeit einer Laufvariable n dar:
 - $A(n) := \text{"}n\text{-ter Stein fällt um" } \forall n \in \mathbb{N}.$
- Aussage $A := \text{"Alle Steine fallen um"} \equiv A(i)$ ist wahr $\forall i \in \mathbb{N}.$

Wir haben immernoch unendlich viele Aussagen...

- Zeige: $A(1)$ ist wahr, sowie $A(i)$ gilt $\rightarrow A(i+1)$ gilt für beliebiges $i \in \mathbb{N}.$
- Also: Der erste Stein fällt, sowie: falls der i -te Stein fällt, so fällt auch der $i+1$ -te Stein.
- Nach dem Prinzip der vollständigen Induktion fallen dann alle Steine um.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige Induktion

■ Beweisverfahren

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- Beweisverfahren
- In der Regel zu zeigen: Eine Aussage gilt für alle $n \in \mathbb{N}_+$, manchmal auch für alle $n \in \mathbb{N}_0$

Vollständige Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- 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 $n+1$

Vollständige Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

- 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, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Struktur des Beweises

Behauptung: (*kurz Beh.:*)

Beweis: (*kurz Bew.:*)

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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]

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]

- 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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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]

- 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

Vorhin:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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]

- 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

Vorhin:

$$\underbrace{A(1) \text{ ist wahr}}_{IA}, \text{ sowie } \underbrace{A(i) \text{ gilt}}_{IV} \rightarrow \underbrace{A(i+1) \text{ gilt}}_{IS} \text{ für beliebiges } i \in \mathbb{N}$$

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.

Übungsaufgaben

Zeige die Wahrheit folgender Aussagen mit vollständiger Induktion:

■ $\sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2} \quad \forall n \in \mathbb{N}.$

■ $\sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \quad \forall n \in \mathbb{N}$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

- 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 $L \subseteq A^*$.

- 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:

- 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:

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

- 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 .

- 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 .
 - $L_2 := \{banana, bananana, banananana, \dots\}$

- 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.

- 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.

- 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. Andere Schreibweise?

- 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. Andere Schreibweise?
 $L_3 = \{w : w = ba^k n, k \in \mathbb{N}\}$

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Produkt von formalen Sprachen

Von zwei formalen Sprachen L_1, L_2 lässt sich das Produkt

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Produkt von formalen Sprachen

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Produkt von formalen Sprachen

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^*$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ? $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache $L_3 \subseteq B^*$, die alle Wörter über B enthält, mit:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache $L_3 \subseteq B^*$, die alle Wörter über B enthält, mit:
 - Zwei beliebigen Zweichen aus B .

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache $L_3 \subseteq B^*$, die alle Wörter über B enthält, mit:
 - Zwei beliebigen Zweichen aus B .
 - Dann einem ε oder zwei δ 's.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache $L_3 \subseteq B^*$, die alle Wörter über B enthält, mit:
 - Zwei beliebigen Zweichen aus B .
 - Dann einem ε oder zwei δ 's.
 - Dann vier Zeichen aus A .

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache $L_3 \subseteq B^*$, die alle Wörter über B enthält, mit:
 - Zwei beliebigen Zweichen aus B .
 - Dann einem ε oder zwei δ 's.
 - Dann vier Zeichen aus A .
- L_3

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $A := \{a, b\}, B := \{\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta\}$.

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die zuerst drei a 's enthält und dann entweder zwei b 's oder vier a 's? $L_1 = \{aaa\} \cdot \{bb, aaaa\}$.
- Sprache $L_2 \subseteq A^*$, die alle Wörter über A enthält außer ε ?
 $L_2 = A \cdot A^* = A^* \setminus \{\varepsilon\}$.
- Sprache $L_3 \subseteq B^*$, die alle Wörter über B enthält, mit:
 - Zwei beliebigen Zweichen aus B .
 - Dann einem ε oder zwei δ 's.
 - Dann vier Zeichen aus A .
- $L_3 = B \cdot B \cdot \{\varepsilon, \delta\delta\} \cdot A \cdot A \cdot A \cdot A$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Übung zu Produkt von formalen Sprachen

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $\cdot : M \times M \rightarrow M$ darstellen.

Zeige:

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 $\cdot : M \times M \rightarrow M$ darstellen.

Zeige:

- Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ.

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 $\cdot : M \times M \rightarrow M$ 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)

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 $\cdot : M \times M \rightarrow M$ 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, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

- Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ:

■ $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ:

■ $(L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ:

$$\blacksquare (L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 = (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}$$

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

■ Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ:

$$\begin{aligned} (L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 &= (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} \\ &= L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) \end{aligned}$$

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Die Verknüpfung \cdot ist assoziativ:

$$\begin{aligned} (L_1 \cdot L_2) \cdot L_3 &= (\{w_1 \cdot w_2 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}) \cdot L_3 = \{w_1 w_2 w_3 : w_1 \in L_1, w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\} \\ &= L_1 \cdot (\{w_2 w_3 : w_2 \in L_2, w_3 \in L_3\}) = L_1 \cdot (L_2 \cdot L_3). \end{aligned}$$

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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)

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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)

- $e := \{\varepsilon\}.$

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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)

- $e := \{\varepsilon\}.$

- $L_1 \cdot \{\varepsilon\}$

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und

Kodierung

Kodierung von

Zahlen

Repräsentation von

Zahlen

Zweierkomplement-

Darstellung

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)

- $e := \{\varepsilon\}.$
 - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1$

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und

Kodierung

Kodierung von

Zahlen

Repräsentation von

Zahlen

Zweierkomplement-

Darstellung

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)

- $e := \{\varepsilon\}.$
 - $L_1 \cdot \{\varepsilon\} = L_1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$

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)

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

Vollständige

Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und

Kodierung

Kodierung von

Zahlen

Repräsentation von

Zahlen

Zweierkomplement-

Darstellung

- 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)

- $o := \emptyset$

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 trotzdem keine Gruppe

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 trotzdem keine Gruppe, denn es existieren keine Invers-Element.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

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

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. L_1^1

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1$

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3 \{c\}^4$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3 \{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3 \{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - L_2^2

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3\{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - $L_2^2 = (\{ab\}^3\{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3\{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3 \{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - $L_2^2 = (\{ab\}^3 \{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3 \{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2 = \{abababccccabababcccc\}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3 \{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - $L_2^2 = (\{ab\}^3 \{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3 \{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2 = \{abababccccabababcccc\}$.
- $L_3 := (\{a\} \cup \{b\})^2$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Potenz von Sprachen

Potenz von formellen Sprachen ist wie folgt definiert:

- $L^0 := \{\varepsilon\}$
- $L^{i+1} := L^i \cdot L$ für $i \in \mathbb{N}_0$.
- $L_1 := \{a\}$.
 - $L_1^0 = \{\varepsilon\}$. $L_1^1 = \{\varepsilon\} \cdot L_1 = L_1$.
 - $L_1^2 = (\{\varepsilon\} \cdot L_1) \cdot L_1 = \{aa\}$.
- $L_2 := \{ab\}^3 \{c\}^4$
 - $L_2^0 = \{\varepsilon\}$, $L_2^1 = \dots$
 - $L_2^2 = (\{ab\}^3 \{c\}^4)^2 = (\{ab\}^3 \{cccc\})^2 = \{abababcccc\}^2 = \{abababccccabababcccc\}$.
- $L_3 := (\{a\} \cup \{b\})^2 = \{aa, ab, ba, bb\}$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

Zu einer formalen Sprache L

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Konkatenationsabschluss bei formalen Sprachen

Konkatenationsabschluss

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $L^+ := \bigcup_{i \in \mathbb{N}_+} L^i$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $\varepsilon \notin L^+$ bei formalen Sprache $L \subseteq A^* \setminus \{\varepsilon\}$?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $\varepsilon \notin L^+$ bei formalen Sprache $L \subseteq A^* \setminus \{\varepsilon\}$?
- $L := \{a, b, c\}.L^*$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $\varepsilon \notin L^+$ bei formalen Sprache $L \subseteq A^* \setminus \{\varepsilon\}$?
- $L := \{a, b, c\}.L^* = \{\varepsilon, a, aa, ab, ac, aaa, aab, \dots, b, ba, bb, \dots\}$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $\varepsilon \notin L^+$ bei formalen Sprache $L \subseteq A^* \setminus \{\varepsilon\}$?
- $L := \{a, b, c\}.L^* = \{\varepsilon, a, aa, ab, ac, aaa, aab, \dots, b, ba, bb, \dots\}$
- $L := \{aa, bc\}.L^*$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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 $\varepsilon \notin L^+$ bei formalen Sprache $L \subseteq A^* \setminus \{\varepsilon\}$?
- $L := \{a, b, c\}.L^* = \{\varepsilon, a, aa, ab, ac, aaa, aab, \dots, b, ba, bb, \dots\}$
- $L := \{aa, bc\}.L^* = \{\varepsilon, aa, bc, aa \cdot aa, aa \cdot bc, bc \cdot aa, bc \cdot bc, aa \cdot aa \cdot aa, \dots\}$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält?

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_1 = \{b\}^* \{a\}^*$.

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_1 = \{b\}^* \{a\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq B^*$, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_1 = \{b\}^* \{a\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq B^*$, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
 - $B := \{_, a, b, \dots, z, A, B, \dots, Z\}$

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_1 = \{b\}^* \{a\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq B^*$, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
 - $B := \{_, a, b, \dots, z, A, B, \dots, Z\}$
 - $C := B \cup \mathbb{Z}_9$

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_1 = \{b\}^* \{a\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq B^*$, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
 - $B := \{_, a, b, \dots, z, A, B, \dots, Z\}$
 - $C := B \cup \mathbb{Z}_9$
 - $L_2 \subseteq C$

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

- Sprache $L_1 \subseteq A^*$, die das Teilwort ab nicht enthält? $L_1 = \{b\}^* \{a\}^*$.
- Sprache $L_2 \subseteq B^*$, die alle erlaubten Java Variablennamen enthält.
 - $B := \{_, a, b, \dots, z, A, B, \dots, Z\}$
 - $C := B \cup \mathbb{Z}_9$
 - $L_2 \subseteq C = (B \cdot C^*) \setminus \{if, class, while, \dots\}$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

- Was ist alles in L drin?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

- Was ist alles in L drin?
- *aaabbabbbaaabba?*

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

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

- Was ist alles in L drin?
 - *aaabbabbbaaabba*? Nein.
 - *aaabb*, *abbbaabba*?

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Was ist alles in L drin?

- *aaabbabbaaabba*? Nein.
- *aaabb, abbaaabba*? Ja, nein.
- *aaabb, abb, aaabba*? Ja, ja, nein.
- *aaabb, abb, aaabb, a*?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Was ist alles in L drin?

- *aaabbabbaaabba*? Nein.
- *aaabb, abbaaabba*? Ja, nein.
- *aaabb, abb, aaabba*? Ja, ja, nein.
- *aaabb, abb, aaabb, a*? Alles drin.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

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

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

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

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Was ist alles in L drin?

- $aaabbabbbaaabbba$? Nein.
- $aaabb, abbaaabbba$? Ja, nein.
- $aaabb, abb, aaabba$? Ja, ja, nein.
- $aaabb, abb, aaabb, a$? Alles drin.

■ Was ist alles in L^* drin?

- $aaabbabbbaaabbba$? Ja.
- $aaabb, abbaaabbba$? Ja.
- $aaabb, abb, aaabba$?

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Was ist alles in L drin?

- $aaabbabbbaaabbba$? Nein.
- $aaabb, abbbaaabbba$? Ja, nein.
- $aaabb, abb, aaabba$? Ja, ja, nein.
- $aaabb, abb, aaabb, a$? Alles drin.

■ Was ist alles in L^* drin?

- $aaabbabbbaaabbba$? Ja.
- $aaabb, abbbaaabbba$? Ja.
- $aaabb, abb, aaabba$? Ja.
- $aaabb, abb, aaabb, a$?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

■ Was ist alles in L drin?

- $aaabbabbbaaabbba$? Nein.
- $aaabb, abbaaabbba$? Ja, nein.
- $aaabb, abb, aaabba$? Ja, ja, nein.
- $aaabb, abb, aaabb, a$? Alles drin.

■ Was ist alles in L^* drin?

- $aaabbabbbaaabbba$? Ja.
- $aaabb, abbaaabbba$? Ja.
- $aaabb, abb, aaabba$? Ja.
- $aaabb, abb, aaabb, a$? Ja.

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

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

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

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

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Voraussetzung:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Voraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Voraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

$w = w'w'' \in L^i \cdot L$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

$w = w'w'' \in L^i \cdot L = L^{i+1}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Voraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ 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 $i + 1 \in \mathbb{N}_+$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Voraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ 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 $i + 1 \in \mathbb{N}_+$, gilt:

$L^{i+1} \subseteq L^+$

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

Voraussetzung: $w \in L^* \cdot L$ mit \supseteq :

$w = w'w''$, $w' \in L^*$ 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 $i + 1 \in \mathbb{N}_+$, gilt:

$L^{i+1} \subseteq L^+$, also $w \in L^+$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

Voraussetzung:

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $i = j + 1$

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $j \in \mathbb{N}_0$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1}$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $j \in \mathbb{N}_0$: $w \in L^{j+1} = L^j \cdot L$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $w'' \in L$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $L^j \subseteq L^*$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $w = w'w''$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Erinnerung

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

Beweisaufgabe

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

\subseteq :

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

\supseteq :

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

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 $w = w'w'' \in L^* \cdot L$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

■ Wie sieht $L_1 \cdot L_2$ aus?

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

L_1, L_2 seien formale Sprachen.

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

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?

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?

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

- Was können wir daraus machen?

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

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

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

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

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 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.

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 $42_{\in A_{dez}} \stackrel{\text{Deutung}}{=} 101010_{\in A_{bin}} \stackrel{\text{Deutung}}{=} 52_{\in A_{oct}}$.

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Num_k

Einer Zeichenkette Z_k aus Ziffern

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Num_k

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Num_k

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

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Num_k

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

$$Num_k(\varepsilon) = 0$$

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

- 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 !

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$\text{Num}_k(\varepsilon) = 0.$$

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

■ $Num_{10}(123)$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

Was ist der dezimale Zahlenwert der Binärzahl 1010?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

$$\blacksquare \quad Num_2(1010)$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_2(1010) &= 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0)) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_2(1010) &= 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0)) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_2(1010) &= 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0)) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0 = 10. \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Zahlendarstellungen

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_{10}(123) &= 10 \cdot Num_{10}(12) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (Num_{10}(1) + num_{10}(2)) + num_{10}(3) = \\ &= 10 \cdot (num_{10}(1) + 10 \cdot num_{10}(2)) + num_{10}(3) = 10 \cdot (1 + 10 \cdot 2) + 3 = 123. \end{aligned}$$

Yay?

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad Num_2(1010) &= 2 \cdot Num_2(101) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot Num_2(10) + num_2(1) + num_2(0)) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot Num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot num_2(1) + num_2(0)) + num_2(1)) + num_2(0) = \\ &= 2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0 = 10. \end{aligned}$$

Yay!

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$Num_k(\varepsilon) = 0.$$

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

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, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Lösungen:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Lösungen:

■ $Num_8(345)$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Lösungen:

Formale Sprache

■ $Num_8(345) = 229.$

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lösungen:

■ $Num_8(345) = 229.$

■ $Num_2(11001)$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lösungen:

■ $Num_8(345) = 229.$

■ $Num_2(11001) = 25.$

Lösungen:

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

Lösungen:

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

Lösungen:

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

Lösungen:

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

Lösungen:

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

Lösungen:

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

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Es gilt:

$$2(2(2(2(2 \cdot 1 + 0) + 1) + 0) + 1) + 0$$

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Es gilt:

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

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:

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

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

■ $Num_2(10101)$

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

■ $Num_2(10101) = 21.$

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

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

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$

- $Num_2(11101) = 29.$

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

- $Num_2(10101) = 21.$

- $Num_2(11101) = 29.$

- $Num_2(1111111111)$

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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:

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

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

$$\text{Num}_k(w) = k^0 \cdot w(0) + k^1 \cdot w(1) + k^2 \cdot w(2) + \dots$$

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

■ $Num_{16}(A1)$

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

■ $Num_{16}(A1) = 161.$

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

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

Einfachere Umrechnung von Zahlendarstellungen

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

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

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

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

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

Was sind folgende Zahlen in Dezimal im Kopf gerechnet?

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

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

div Funktion

Die Funktion *div* dividiert ganzzahlig.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

div Funktion

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

■ $22 \text{ div } 8 = 2$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

- $22 \text{ mod } 8$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

- $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$													

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0												

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0											

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0										

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0									

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1								

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1							

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1						

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1					

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2				

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2			

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2		

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$													

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0												

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1											

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2										

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3									

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0								

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1							

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3					

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3	0				

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	

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.

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

■ $22 \text{ mod } 8 = 6.$

Fülle die Tabelle aus:

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x \text{ div } 4$	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$x \text{ mod } 4$	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

11101_2 ist also 29_{10} .

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

k -äre Darstellung

Die Repräsentation einer Zahl n

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

k -äre Darstellung

Die Repräsentation einer Zahl n zur Basis k

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

k -äre Darstellung

Die Repräsentation einer Zahl n zur Basis k lässt sich wie folgt ermitteln:

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

k -äre Darstellung

Die Repräsentation einer Zahl n zur Basis k lässt sich wie folgt ermitteln:

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

k -äre Darstellung

Die Repräsentation einer Zahl n zur Basis k lässt sich wie folgt ermitteln:

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Achtung!

11101_2 ist also 29_{10} . Was ist 29_{10} in binär?

k -äre Darstellung

Die Repräsentation einer Zahl n zur Basis k lässt sich wie folgt ermitteln:

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Achtung! Das \cdot Symbol steht für Konkatenation, nicht für Multiplikation!

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\begin{aligned} \text{Repr}_2(29) &= \text{Repr}_2(29 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(29 \bmod 2) \\ &= \text{Repr}_2(14) \cdot \text{repr}_2(1) \\ &= \text{Repr}_2(14 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(14 \bmod 2) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7) \cdot \text{repr}_2(0) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(7 \bmod 2) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3) \cdot \text{repr}(1) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \text{Repr}_2(1) \cdot \text{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\begin{aligned} \text{Repr}_2(29) &= \text{Repr}_2(14) \cdot \text{repr}_2(1) \\ &= \text{Repr}_2(14 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(14 \bmod 2) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7) \cdot \text{repr}_2(0) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(7 \bmod 2) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3) \cdot \text{repr}(1) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \text{Repr}_2(1) \cdot \text{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$\text{Repr}_2(29)$

$$\begin{aligned} &= \text{Repr}_2(14 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(14 \bmod 2) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7) \cdot \text{repr}_2(0) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(7 \bmod 2) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3) \cdot \text{repr}(1) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \text{Repr}_2(1) \cdot \text{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$\text{Repr}_2(29)$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{Repr}_2(7) \cdot \mathbf{repr}_2(0) \cdot 1 \\ &= \mathbf{Repr}_2(7 \text{ div } 2) \cdot \mathbf{repr}_2(7 \bmod 2) \cdot 01 \\ &= \mathbf{Repr}_2(3) \cdot \mathbf{repr}(1) \cdot 01 \\ &= \mathbf{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \mathbf{repr}(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \mathbf{Repr}_2(1) \cdot \mathbf{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$\text{Repr}_2(29)$

$$\begin{aligned} &= \text{Repr}_2(7 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(7 \bmod 2) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3) \cdot \text{repr}(1) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \text{Repr}_2(1) \cdot \text{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\mathbf{Repr}_2(29)$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{Repr}_2(3) \cdot \mathbf{repr}(1) \cdot 01 \\ &= \mathbf{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \mathbf{repr}(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \mathbf{Repr}_2(1) \cdot \mathbf{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \text{ mod } k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\mathbf{Repr}_2(29)$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \mathbf{repr}(3 \text{ mod } 2) \cdot 101 \\ &= \mathbf{Repr}_2(1) \cdot \mathbf{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\mathbf{Repr}_2(29)$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{Repr}_2(1) \cdot \mathbf{repr}(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Beispiel zu Repr_k

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\mathbf{Repr}_2(29)$$

$$= 11101$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Zum Beispiel:

$$\begin{aligned} \text{Repr}_2(29) &= \text{Repr}_2(29 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(29 \bmod 2) \\ &= \text{Repr}_2(14) \cdot \text{repr}_2(1) \\ &= \text{Repr}_2(14 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(14 \bmod 2) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7) \cdot \text{repr}_2(0) \cdot 1 \\ &= \text{Repr}_2(7 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(7 \bmod 2) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3) \cdot \text{repr}_2(1) \cdot 01 \\ &= \text{Repr}_2(3 \text{ div } 2) \cdot \text{repr}_2(3 \bmod 2) \cdot 101 \\ &= \text{Repr}_2(1) \cdot \text{repr}_2(1) \cdot 101 \\ &= 11101 \end{aligned}$$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Beispiel mit Hexadezimalzahlen:

Beispiel zu Repr_k

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Beispiel mit Hexadezimalzahlen:

$$\begin{aligned} \mathbf{Repr}_{16}(29) &= \mathbf{Repr}_{16}(29 \text{ div } 16) \cdot \mathbf{repr}_{16}(29 \bmod 16) \\ &= \mathbf{Repr}_{16}(1) \cdot \mathbf{repr}_{16}(13) \\ &= 1 \cdot D = 1D \end{aligned}$$

Beispiel zu Repr_k

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Beispiel mit Hexadezimalzahlen:

$$\begin{aligned} \mathbf{Repr}_{16}(29) \\ &= \mathbf{Repr}_{16}(1) \cdot \mathbf{repr}_{16}(13) \\ &= 1 \cdot D = 1D \end{aligned}$$

Beispiel zu Repr_k

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Beispiel mit Hexadezimalzahlen:

$$\mathbf{Repr}_{16}(29)$$

$$= 1 \cdot D = 1D$$

Beispiel zu Repr_k

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Beispiel mit Hexadezimalzahlen:

$$\mathbf{Repr}_{16}(29)$$

$$= 1D$$

$$\mathbf{Repr}_k(n) = \begin{cases} \mathbf{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \mathbf{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \mathbf{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Beispiel mit Hexadezimalzahlen:

$$\begin{aligned} \mathbf{Repr}_{16}(29) &= \mathbf{Repr}_{16}(29 \text{ div } 16) \cdot \mathbf{repr}_{16}(29 \bmod 16) \\ &= \mathbf{Repr}_{16}(1) \cdot \mathbf{repr}_{16}(13) \\ &= 1 \cdot D = 1D \end{aligned}$$

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- **$\text{Repr}_2(13)$.**
- **$\text{Repr}_4(15)$.**
- **$\text{Repr}_{16}(268)$.**

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- **$\text{Repr}_2(13)$.**
- **$\text{Repr}_4(15)$.**
- **$\text{Repr}_{16}(268)$.**

Lösungen:

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- **$\text{Repr}_2(13)$.**
- **$\text{Repr}_4(15)$.**
- **$\text{Repr}_{16}(268)$.**

Lösungen:

- **$\text{Repr}_2(13)$**

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- **$\text{Repr}_2(13)$.**
- **$\text{Repr}_4(15)$.**
- **$\text{Repr}_{16}(268)$.**

Lösungen:

- **$\text{Repr}_2(13) = 1101$.**

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- $\text{Repr}_2(13)$.
- $\text{Repr}_4(15)$.
- $\text{Repr}_{16}(268)$.

Lösungen:

- $\text{Repr}_2(13) = 1101$.
- $\text{Repr}_4(15)$

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- $\text{Repr}_2(13)$.
- $\text{Repr}_4(15)$.
- $\text{Repr}_{16}(268)$.

Lösungen:

- $\text{Repr}_2(13) = 1101$.
- $\text{Repr}_4(15) = 33$.

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- $\text{Repr}_2(13)$.
- $\text{Repr}_4(15)$.
- $\text{Repr}_{16}(268)$.

Lösungen:

- $\text{Repr}_2(13) = 1101$.
- $\text{Repr}_4(15) = 33$.
- $\text{Repr}_{16}(268)$

$$\text{Repr}_k(n) = \begin{cases} \text{repr}_k(n) & \text{falls } n < k \\ \text{Repr}_k(n \text{ div } k) \cdot \text{repr}_k(n \bmod k) & \text{falls } n \geq k \end{cases}$$

Übung zu Repr_k

Berechne die Repräsentationen folgender Zahlen in gegebenen Zahlensystemen:

- $\text{Repr}_2(13)$.
- $\text{Repr}_4(15)$.
- $\text{Repr}_{16}(268)$.

Lösungen:

- $\text{Repr}_2(13) = 1101$.
- $\text{Repr}_4(15) = 33$.
- $\text{Repr}_{16}(268) = 10C$.

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\mathbf{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\mathbf{Repr}_2(n)|} \mathbf{Repr}_2(n)$$

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\mathbf{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\mathbf{Repr}_2(n)|} \mathbf{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

bin_ℓ

Die Funktion **bin_ℓ**: $\mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\mathbf{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\mathbf{Repr}_2(n)|} \mathbf{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

■ **bin₈(3)**

bin_ℓ

Die Funktion $\text{bin}_\ell: \mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\text{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\text{Repr}_2(n)|} \text{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

■ $\text{bin}_8(3) = 0^{8 - |\text{Repr}_2(3)|} \text{Repr}_2(3)$

bin_ℓ

Die Funktion $\text{bin}_\ell: \mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\text{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\text{Repr}_2(n)|} \text{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

$$\blacksquare \text{bin}_8(3) = 0^{8 - |\text{Repr}_2(3)|} \text{Repr}_2(3) = 0^{8 - |11|} \cdot 11$$

bin_ℓ

Die Funktion $\text{bin}_\ell: \mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\text{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\text{Repr}_2(n)|} \text{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

$$\blacksquare \text{bin}_8(3) = 0^{8 - |\text{Repr}_2(3)|} \text{Repr}_2(3) = 0^{8 - |11|} \cdot 11 = 0^{8-2} \cdot 11$$

bin_ℓ

Die Funktion $\text{bin}_\ell: \mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\text{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\text{Repr}_2(n)|} \text{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

$$\blacksquare \text{bin}_8(3) = 0^{8 - |\text{Repr}_2(3)|} \text{Repr}_2(3) = 0^{8 - |11|} \cdot 11 = 0^{8-2} \cdot 11 = 0^6 \cdot 11 = 00000011.$$

bin_ℓ

Die Funktion $\text{bin}_\ell: \mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\text{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\text{Repr}_2(n)|} \text{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

- $\text{bin}_8(3) = 0^{8 - |\text{Repr}_2(3)|} \text{Repr}_2(3) = 0^{8 - |11|} \cdot 11 = 0^{8-2} \cdot 11 = 0^6 \cdot 11 = 00000011.$
- $\text{bin}_{16}(3)$

bin_ℓ

Die Funktion $\text{bin}_\ell: \mathbb{Z}_{2^\ell} \rightarrow \{0, 1\}^\ell$ bringt eine gegebene Binärzahl auf eine feste Länge, indem sie mit Nullen vorne aufgefüllt wird. Formell wird sie definiert als:

$$\text{bin}_\ell(n) = 0^{\ell - |\text{Repr}_2(n)|} \text{Repr}_2(n)$$

Beispiel:

- $\text{bin}_8(3) = 0^{8 - |\text{Repr}_2(3)|} \text{Repr}_2(3) = 0^{8 - |11|} \cdot 11 = 0^{8-2} \cdot 11 = 0^6 \cdot 11 = 00000011.$
- $\text{bin}_{16}(3) = 0000000000000011.$

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

**Zweierkomplement-
Darstellung**

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Was ist mit negative Zahlen?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel: $5 = 0101_{zkpl}$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel: $5 = 0101_{zkpl}$, $-5 = 1101_{zkpl}$.

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel: $5 = 0101_{zkpl}$, $-5 = 1101_{zkpl}$.

Zweierkomplement Darstellung

Die Zweierkomplementdarstellung einer Zahl x

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel: $5 = 0101_{zkpl}$, $-5 = 1101_{zkpl}$.

Zweierkomplement Darstellung

Die Zweierkomplementdarstellung einer Zahl x mit der Länge ℓ ist wie folgt definiert:

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel: $5 = 0101_{zkpl}$, $-5 = 1101_{zkpl}$.

Zweierkomplement Darstellung

Die Zweierkomplementdarstellung einer Zahl x mit der Länge ℓ ist wie folgt definiert:

$$\mathbf{zkpl}_{\ell}(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Was ist mit negative Zahlen?

- Idee: Verwende das erste Bit, um zu speichern, ob die Zahl positiv oder negativ ist.
- Beispiel: $5 = 0101_{zkpl}$, $-5 = 1101_{zkpl}$.

Zweierkomplement Darstellung

Die Zweierkomplementdarstellung einer Zahl x mit der Länge ℓ ist wie folgt definiert:

$$\mathbf{zkpl}_{\ell}(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

- Wieso $\ell - 1$?

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

Aufgaben zu Zweierkomplement-Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Zkpl}_\ell(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Was sind folgende Zahlen in Zweierkomplement-Darstellung?

- $\mathbf{Zkpl}_4(3) = 0011$.
- $\mathbf{Zkpl}_4(7)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(-5)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(13)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-34)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-9)$

Aufgaben zu Zweierkomplement-Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Zkpl}_\ell(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Was sind folgende Zahlen in Zweierkomplement-Darstellung?

- $\mathbf{Zkpl}_4(3)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(7) = 0111.$
- $\mathbf{Zkpl}_4(-5)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(13)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-34)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-9)$

Aufgaben zu Zweierkomplement-Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Zkpl}_\ell(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Was sind folgende Zahlen in Zweierkomplement-Darstellung?

- $\mathbf{Zkpl}_4(3)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(7)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(-5) = 1101.$
- $\mathbf{Zkpl}_8(13)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-34)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-9)$

Aufgaben zu Zweierkomplement-Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Zkpl}_\ell(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Was sind folgende Zahlen in Zweierkomplement-Darstellung?

- $\mathbf{Zkpl}_4(3)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(7)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(-5)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(13) = 00001101.$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-34)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-9)$

Aufgaben zu Zweierkomplement-Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Zkpl}_\ell(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Was sind folgende Zahlen in Zweierkomplement-Darstellung?

- $\mathbf{Zkpl}_4(3)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(7)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(-5)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(13)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-34) = 10100010.$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-9)$

Aufgaben zu Zweierkomplement-Darstellung

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung

$$\mathbf{Zkpl}_\ell(x) = \begin{cases} 0\mathbf{bin}_{\ell-1}(x) & \text{falls } x \geq 0 \\ 1\mathbf{bin}_{\ell-1}(2^{\ell-1} + x) & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

Was sind folgende Zahlen in Zweierkomplement-Darstellung?

- $\mathbf{Zkpl}_4(3)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(7)$
- $\mathbf{Zkpl}_4(-5)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(13)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-34)$
- $\mathbf{Zkpl}_8(-9) = 10001001.$

Grundbegriffe der Informatik

Lukas Bach, lu-
kas.bach@student.kit.edu

Vollständige
Induktion

Formale Sprache

Übersetzung und
Kodierung

Kodierung von
Zahlen

Repräsentation von
Zahlen

Zweierkomplement-
Darstellung



That's all Folks!