

Vorlesung

Grundlagen der Theoretischen Informatik / Einführung in die Theoretische Informatik I

Bernhard Beckert

Institut für Informatik



Sommersemester 2007

Dank

Diese Vorlesungsmaterialien basieren ganz wesentlich auf den Folien zu den Vorlesungen von

Katrin Erk (gehalten an der Universität Koblenz-Landau)

Jürgen Dix (gehalten an der TU Clausthal)

Ihnen beiden gilt mein herzlicher Dank.

– *Bernhard Beckert, April 2007*

Beispiel 15.2

Folgende Sprachen sind **nicht regulär**:

1 $L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$

2 $L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$

Beispiel 15.2

Folgende Sprachen sind **nicht regulär**:

① $L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$

② $L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1

Zu

$$L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

Annahme: L_1 ist regulär.

Dann gilt für L_1 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich das Wort

$$a^n b a^n \in L_1$$

aufpumpen lassen (da $|a^n b a^n| \geq n$).

Sei $a^n b a^n = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1

Zu

$$L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

Annahme: L_1 ist regulär.

Dann gilt für L_1 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich das Wort

$$a^n b a^n \in L_1$$

aufpumpen lassen (da $|a^n b a^n| \geq n$).

Sei $a^n b a^n = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1

Zu

$$L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

Annahme: L_1 ist regulär.

Dann gilt für L_1 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich das Wort

$$a^n b a^n \in L_1$$

aufpumpen lassen (da $|a^n b a^n| \geq n$).

Sei $a^n b a^n = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulärität von L_1

Zu

$$L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

Annahme: L_1 ist regulär.

Dann gilt für L_1 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich das Wort

$$a^n b a^n \in L_1$$

aufpumpen lassen (da $|a^n b a^n| \geq n$).

Sei $a^n b a^n = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1

Zu

$$L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

Annahme: L_1 ist regulär.

Dann gilt für L_1 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich das Wort

$$a^n b a^n \in L_1$$

aufpumpen lassen (da $|a^n b a^n| \geq n$).

Sei $a^n b a^n = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulartät von L_1

Zu

$$L_1 := \{a^i b a^i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

Annahme: L_1 ist regulär.

Dann gilt für L_1 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich das Wort

$$a^n b a^n \in L_1$$

aufpumpen lassen (da $|a^n b a^n| \geq n$).

Sei $a^n b a^n = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^i, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^j, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^j, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^i, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^i, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^i, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^i, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

- 1. Fall:** $u = a^k, v = a^j, w = a^i b a^n$ mit $i, k \geq 0, j > 0$ und $k + j + i = n$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^{2j} a^i b a^n = a^{k+2j+i} b a^n = a^{n+j} b a^n \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

- 2. Fall:** $u = a^n b a^i, v = a^j, w = a^k$

Widerspruch zum Lemma! (analog zu Fall 1)

- 3. Fall:** $u = a^k, v = a^j b a^i, w = a^l$ mit $k + j = i + l = n$ und $i, j, k, l \geq 0$.
Einmal aufpumpen ($m = 2$) ergibt:

$$uv^2w = a^k a^j b a^i a^j b a^i a^l = a^{k+j} b a^{i+j} b a^{i+l} \notin L_1$$

Widerspruch zum Lemma!

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

Also: Annahme falsch.

Also: L_1 nicht regulär. □

Beweis der Nichtregularität von L_1 (Forts.)

Also: Annahme falsch.

Also: L_1 nicht regulär. □

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulärität von L_2

Zu

$$L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$$

Annahme: L_2 ist regulär.

Dann gilt für L_2 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich jedes Wort

$$a^p \in L_2 \quad \text{mit} \quad p \geq n$$

aufpumpen lassen.

Sei $a^p = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulartät von L_2

Zu

$$L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$$

Annahme: L_2 ist regulär.

Dann gilt für L_2 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich jedes Wort

$$a^p \in L_2 \quad \text{mit} \quad p \geq n$$

aufpumpen lassen.

Sei $a^p = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulartät von L_2

Zu

$$L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$$

Annahme: L_2 ist regulär.

Dann gilt für L_2 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich jedes Wort

$$a^p \in L_2 \quad \text{mit} \quad p \geq n$$

aufpumpen lassen.

Sei $a^p = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulartät von L_2

Zu

$$L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$$

Annahme: L_2 ist regulär.

Dann gilt für L_2 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich jedes Wort

$$a^p \in L_2 \quad \text{mit} \quad p \geq n$$

aufpumpen lassen.

Sei $a^p = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2

Zu

$$L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$$

Annahme: L_2 ist regulär.

Dann gilt für L_2 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich jedes Wort

$$a^p \in L_2 \quad \text{mit} \quad p \geq n$$

aufpumpen lassen.

Sei $a^p = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulärität von L_2

Zu

$$L_2 := \{a^p \mid p \text{ ist Primzahl}\}$$

Annahme: L_2 ist regulär.

Dann gilt für L_2 das Pumping-Lemma.

Sei n die Zahl aus dem Pumping-Lemma.

Dann muss sich jedes Wort

$$a^p \in L_2 \quad \text{mit} \quad p \geq n$$

aufpumpen lassen.

Sei $a^p = uvw$ eine passende Zerlegung laut Lemma.

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Sei

$$a^p = uvw = a^i a^j a^k$$

also

$$i + j + k = p \geq n \quad \text{und} \quad 0 < j < n$$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 1: $i + k > 1$.

Pumpe $(i + k)$ mal:

$$uv^{i+k}w = a^i a^{j(i+k)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(i + k) + k \text{ prim}$$

Aber **Widerspruch:**

$$\begin{aligned} i + j(i + k) + k &= i + ij + jk + k \\ &= i(1 + j) + (j + 1)k \\ &= i(1 + j) + k(1 + j) \\ &= (i + k)(1 + j) \end{aligned}$$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 1: $i + k > 1$.

Pumpe $(i + k)$ mal:

$$uv^{i+k}w = a^i a^{j(i+k)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(i + k) + k \text{ prim}$$

Aber **Widerspruch:**

$$\begin{aligned} i + j(i + k) + k &= i + ij + jk + k \\ &= i(1 + j) + (j + 1)k \\ &= i(1 + j) + k(1 + j) \\ &= (i + k)(1 + j) \end{aligned}$$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 1: $i + k > 1$.

Pumpe $(i + k)$ mal:

$$uv^{i+k}w = a^i a^{j(i+k)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(i + k) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch:**

$$\begin{aligned} i + j(i + k) + k &= i + ij + jk + k \\ &= i(1 + j) + (j + 1)k \\ &= i(1 + j) + k(1 + j) \\ &= (i + k)(1 + j) \end{aligned}$$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 1: $i + k > 1$.

Pumpe $(i + k)$ mal:

$$uv^{i+k}w = a^i a^{j(i+k)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(i + k) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch**:

$$\begin{aligned} i + j(i + k) + k &= i + ij + jk + k \\ &= i(1 + j) + (j + 1)k \\ &= i(1 + j) + k(1 + j) \\ &= (i + k)(1 + j) \end{aligned}$$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 1: $i + k > 1$.

Pumpe $(i + k)$ mal:

$$uv^{i+k}w = a^i a^{j(i+k)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(i + k) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch:**

$$\begin{aligned} i + j(i + k) + k &= i + ij + jk + k \\ &= i(1 + j) + (j + 1)k \\ &= i(1 + j) + k(1 + j) \\ &= (i + k)(1 + j) \end{aligned}$$

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregulartat von L_2 (Forts.)

Fall 2: $i + k = 1$.

Pumpe $(j + 2)$ mal:

$$uv^{j+2}w = a^i a^{j(j+2)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(j + 2) + k \text{ prim}$$

Aber **Widerspruch!**:

$$\begin{aligned} i + j(j + 2) + k &= 1 + j(j + 2) \\ &= 1 + 2j + j^2 \\ &= (1 + j)^2 \end{aligned}$$

Also: Annahme falsch. L_2 nicht regular. □

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 2: $i + k = 1$.

Pumpe $(j + 2)$ mal:

$$uv^{j+2}w = a^i a^{j(j+2)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(j + 2) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch!**:

$$\begin{aligned} i + j(j + 2) + k &= 1 + j(j + 2) \\ &= 1 + 2j + j^2 \\ &= (1 + j)^2 \end{aligned}$$

Also: Annahme falsch. L_2 nicht regulär. □

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 2: $i + k = 1$.

Pumpe $(j + 2)$ mal:

$$uv^{j+2}w = a^i a^{j(j+2)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(j + 2) + k \text{ prim}$$

Aber **Widerspruch!**:

$$\begin{aligned} i + j(j + 2) + k &= 1 + j(j + 2) \\ &= 1 + 2j + j^2 \\ &= (1 + j)^2 \end{aligned}$$

Also: Annahme falsch. L_2 nicht regulär. □

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 2: $i + k = 1$.

Pumpe $(j + 2)$ mal:

$$uv^{j+2}w = a^i a^{j(j+2)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(j + 2) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch!**:

$$\begin{aligned} i + j(j + 2) + k &= 1 + j(j + 2) \\ &= 1 + 2j + j^2 \\ &= (1 + j)^2 \end{aligned}$$

Also: Annahme falsch. L_2 nicht regulär. □

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 2: $i + k = 1$.

Pumpe $(j + 2)$ mal:

$$uv^{j+2}w = a^i a^{j(j+2)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(j + 2) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch!**:

$$\begin{aligned} i + j(j + 2) + k &= 1 + j(j + 2) \\ &= 1 + 2j + j^2 \\ &= (1 + j)^2 \end{aligned}$$

Also: Annahme falsch. L_2 nicht regulär. □

Pumping-Lemma: Anwendung der Umkehrung

Beweis der Nichtregularität von L_2 (Forts.)

Fall 2: $i + k = 1$.

Pumpe $(j + 2)$ mal:

$$uv^{j+2}w = a^i a^{j(j+2)} a^k$$

Nach Pumping-Lemma liegt dieses Wort in L_2 , d. h.

$$i + j(j + 2) + k \quad \text{prim}$$

Aber **Widerspruch!**:

$$\begin{aligned} i + j(j + 2) + k &= 1 + j(j + 2) \\ &= 1 + 2j + j^2 \\ &= (1 + j)^2 \end{aligned}$$

Also: Annahme falsch. L_2 nicht regulär. □

Pumping-Lemma: Stärkere Variante

Theorem 15.3 (Pumping-Lemma für L_3 -Sprachen, stärkere Variante)

Sei $L \in \mathbf{RAT}$.

Dann existiert ein $n \in \mathbb{N}$, so dass:

Für alle

$$x \in L \quad \text{mit} \quad |x| \geq n$$

existiert eine Zerlegung

$$x = uvw \quad u, v, w \in \Sigma^*$$

mit

- $|v| \geq 1$
- $|uv| < n$ (statt $|v| < n$)
- $uv^m w \in L$ für alle $m \in \mathbb{N}$

Beispiel 15.4 (Palindrome)

Die Sprache der Palindrome

$$L = \{ww^{-1} \mid w \in \{a,b\}^*\}$$

ist nicht regulär

- Beweis **gelingt nicht** mit der schwächeren Variante des PL (die schwächere Version gilt für die Sprache)
- Beweis **gelingt** mit der stärkeren Varianten des PL

Beispiel 15.4 (Palindrome)

Die Sprache der Palindrome

$$L = \{ww^{-1} \mid w \in \{a,b\}^*\}$$

ist nicht regulär

- Beweis **gelingt nicht** mit der schwächeren Variante des PL (die schwächere Version gilt für die Sprache)
- Beweis **gelingt** mit der stärkeren Varianten des PL

Beispiel 15.4 (Palindrome)

Die Sprache der Palindrome

$$L = \{ww^{-1} \mid w \in \{a,b\}^*\}$$

ist nicht regulär

- Beweis gelingt **nicht** mit der schwächeren Variante des PL (die schwächere Version gilt für die Sprache)
- Beweis **gelingt** mit der stärkeren Varianten des PL

Teil III

- 1 Determinierte endliche Automaten (DEAs)
- 2 Indeterminierte endliche Automaten (NDEAs)
- 3 Automaten mit epsilon-Kanten
- 4 Endliche Automaten akzeptieren genau die Typ-3-Sprachen
- 5 Pumping-Lemma**
- 6 Abschlusseigenschaften und Wortprobleme
- 7 Rational = Reguläre Ausdrücke

Teil III

- 1 Determinierte endliche Automaten (DEAs)
- 2 Indeterminierte endliche Automaten (NDEAs)
- 3 Automaten mit epsilon-Kanten
- 4 Endliche Automaten akzeptieren genau die Typ-3-Sprachen
- 5 Pumping-Lemma
- 6 Abschlusseigenschaften und Wortprobleme**
- 7 Rational = Reguläre Ausdrücke

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.

Lemma 16.1

Seien zwei reguläre Sprachen L, L' gegeben.

Dann kann folgende endlichen Automaten konstruieren:

- \mathcal{A}_{\neg} akzeptiert $\bar{L} = \Sigma^* \setminus L$
- \mathcal{A}_{\cup} akzeptiert $L \cup L'$
- \mathcal{A}_{\circ} akzeptiert $L \circ L'$
- \mathcal{A}_{*} akzeptiert L^*
- \mathcal{A}_{\cap} akzeptiert $L \cap L'$

Beweis.

An Tafel.