

# Prinzip und Funktionalität der Turingmaschine, veranschaulicht durch ein Modell, erstellt mit Lego NXT

Eva Lugstein  
Michaela Peterhansl  
Sophie Wirnsberger  
Cornelia Zenz

# Inhalt

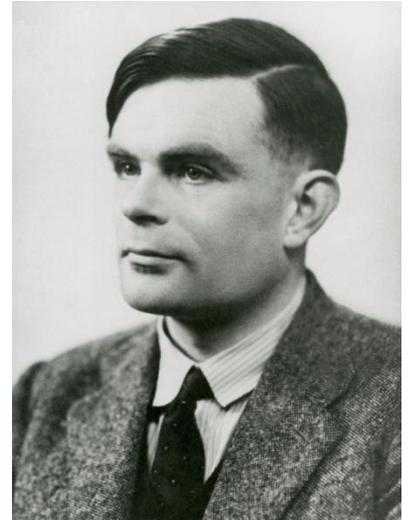
- ① Alan Turing: Biographie
- ② Turingmaschine
  - ❖ Automatentheorie
  - ❖ Idee
  - ❖ Formale Definition
- ③ Beispiele
- ④ Bau und Implementierung

1

# Alan Turing: Biographie

# Alan Turing

- Alan Mathison Turing
- \* 23. Juni 1912 in London
- 1931 – 1934: Mathematikstudent am King's College, Cambridge
- 1935: Forschungsassistent am King's College
- Entscheidungsproblem: 1928 von David Hilbert



Gibt es einen allgemeinen Algorithmus, der einen Ausdruck der Prädikatenlogik entgegennimmt und diesen als wahr oder falsch auswertet?

# Alan Turing

- Paper „*On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*“: Konzept der Turingmaschine
- Beweis, dass diese jede mathematische Berechnung lösen kann, wenn sich diese als Algorithmus darstellen lässt
- Beweis mithilfe der Turingmaschine, dass es keine Lösung für das Entscheidungsproblem gibt
- 1936 – 1938: Princeton University
- erstmaliges Befassen mit Kryptologie
- 1938: PhD von Princeton
- Arbeit bei der Government Code and Cypher School (GCCS)

# Alan Turing

- Entwicklung der „*Bombe*“ mit Gordon Welchman
- durch logische Folgerungen „eliminiert“ diese mögliche Walzenstellungen der ENIGMA
- Marine-ENIGMA wird nach Erhalt wichtiger Geheimdokumente geknackt
- 1949: Stellvertretender Direktor der Computerabteilung an der Universität Manchester
- „*Computing machinery and intelligence*“:  
Behandlung der Problematik der künstlichen Intelligenz  
→ Turingtest

# Alan Turing

- 1952: Turing wird wegen Homosexualität verfolgt und vor Gericht gestellt
- statt Gefängnisstrafe: Psychiatrische, medikamentöse Behandlung mit Östrogen
- Erkrankung an Depression aufgrund Verweiblichung seines Körpers
- † 7. Juni 1954 in Wilmslow, Cheshire: Cyanidvergiftung (Suizid)
- 2009: Öffentliche Entschuldigung der Britischen Regierung für die Verfolgung Alan Turings

# Alan Turing

## Turing Test

- stellt fest, ob eine Maschine ein mit dem Menschen vergleichbares Denkvermögen besitzt
- Unterhaltung ohne Sicht- und Hörkontakt mit Mensch und Maschine: Wenn Testperson sie nicht unterscheiden kann, ist Test bestanden

## Turing Award

- wird jedes Jahr von der Association for Computing Machinery (ACM) einem „*individual selected for contributions of a technical nature made to the computing community*“ verliehen.
- höchste Auszeichnung der Informatik

2

**Turingmaschine:  
Automatentheorie  
Idee & Formale Definition**

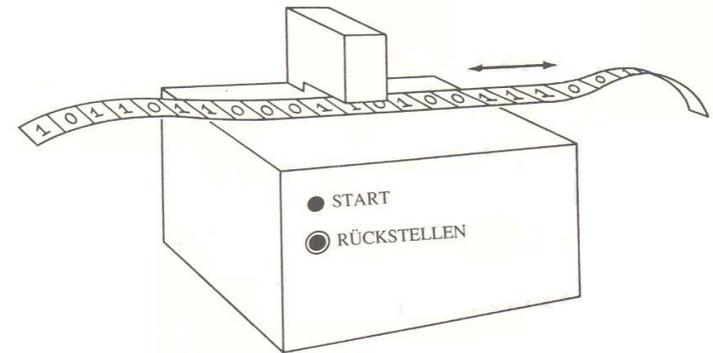
---

# Automatentheorie

- Teilgebiet der theoretischen Informatik
- 4 Bereiche
  - Endlicher Automat
    - Band bewegt sich nur in eine Richtung
  - Kellerautomat
    - besitzt 2 Bänder (Hilfsband bewegt sich in 2 Richtungen)
  - Linear beschränkter Automat
    - für jedes eingegebene  $x$  steht nur das  $k$ -fache an Band zur Fertigstellung der Berechnung zur Verfügung
  - Turingmaschine
    - allgemeinstes bekanntes Berechnungsmodell

# Idee der Turingmaschine

- die Turingmaschine hat ein Steuerwerk
  - darin befindet sich das Programm
- die Turingmaschine hat einen Schreib-/Lesekopf
  - damit greift sie auf ein Arbeitsband zu,
  - damit kann sie Zeichen auf dem Arbeitsband lesen und schreiben,
  - der Kopf kann nach links oder rechts bewegt werden
- das Arbeitsband ist in Felder unterteilt
  - der Anfang des Bandes ist mit einem Bandbegrenzungszeichen gekennzeichnet, nach rechts ist das Arbeitsband unbeschränkt



# Grundbegriffe

- $M$  ... Turingmaschine
  - $M$  hat einen fest definierten Startzustand
- $\Sigma$  ... Bandalphabet
- $x$  ... Zeichenkette – kann als Eingabe angesehen werden
- $y$  ... Zeichenkette – nach Berechnung (Ausgabe)
- $\Sigma^*$  ... Menge aller Zeichenketten über  $\Sigma$

Der Lese-/Schreibkopf ist vor der Berechnung über das linke äußere Ende von  $x$  zu bewegen.

Das Bandalphabet kann aus jeder erdenklichen Zusammenstellung von Zeichen bestehen.

# Formale Definition

M ist eine Menge von Quintupeln der Form

$$(q, s, q', s', d)$$

- $q$  ... aktueller Zustand
- $s$  ... Symbol, das sich unter dem Lese-/Schreibkopf befindet
- $q'$  ... Zustand, in den M als nächstes übergeht
- $s'$  ... Symbol, das an die Stelle von  $s$  geschrieben wird
- $d$  ... Richtung, in die sich der Lese-/Schreibkopf bewegen soll
- $Q$  ... Menge der Zustände
- $D$  ... Menge der Bewegungen  $D = \{links, rechts, stop\}$

# Arten

- deterministisch
  - zu jedem Zustand gibt es höchstens einen Nachfolgezustand
- nicht-deterministisch
  - es gibt mehrere Möglichkeiten der Entscheidung bzw. Fortsetzung, es ist aber nicht festgelegt, welche gewählt wird
- universell
  - besitzt festes Programm, das ständig in der endlichen Kontrolleinheit der Turingmaschine eingebettet ist
  - das Programm ahmt die Arbeitsweise einer bel. Turingmaschine nach, indem es ein Programm liest und dessen Verhalten simuliert

③

Beispiel:

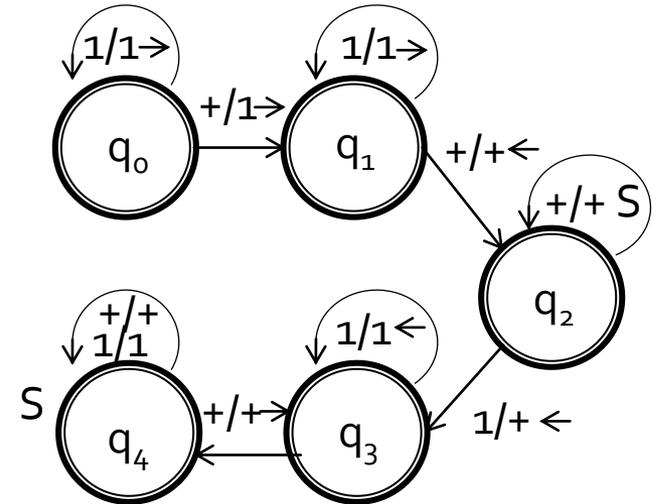
Addition von unären Zahlen

# Beispiel: Addition unärer Zahlen

- Beispiel: Addition von  
 $5 + 4$
- Darstellung im Unärsystem:  
 $11111 + 1111$

# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$

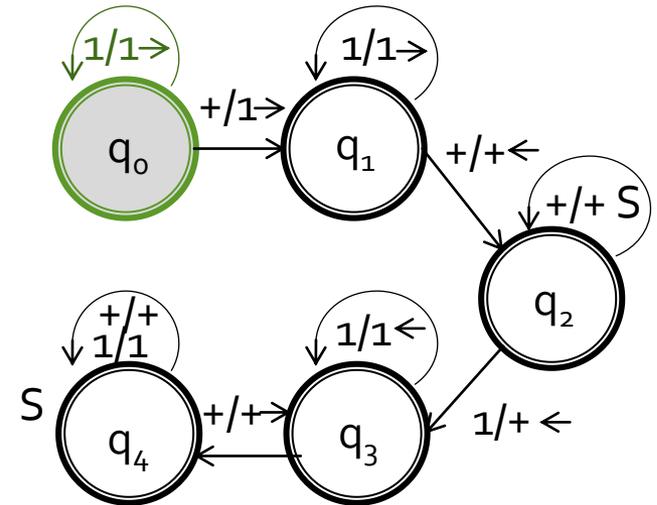


$x =$ 

+	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

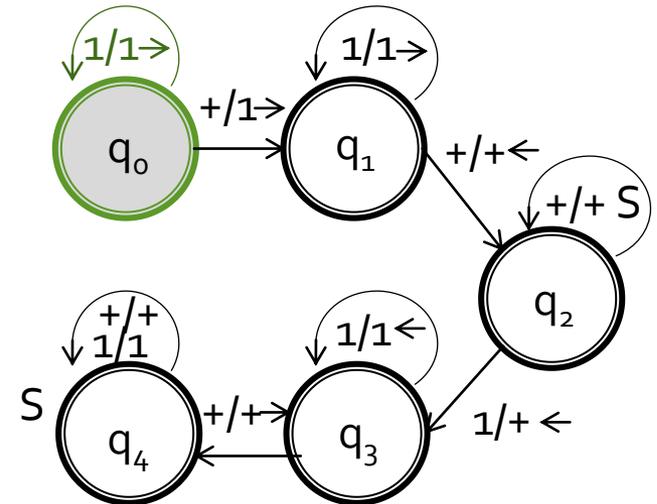
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



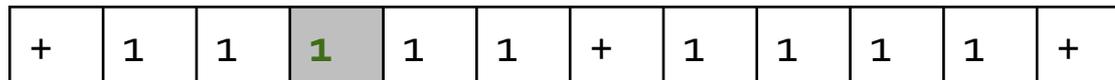
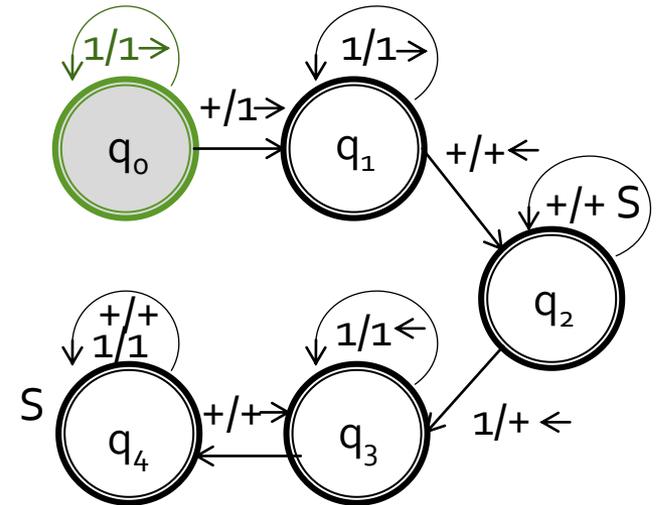
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



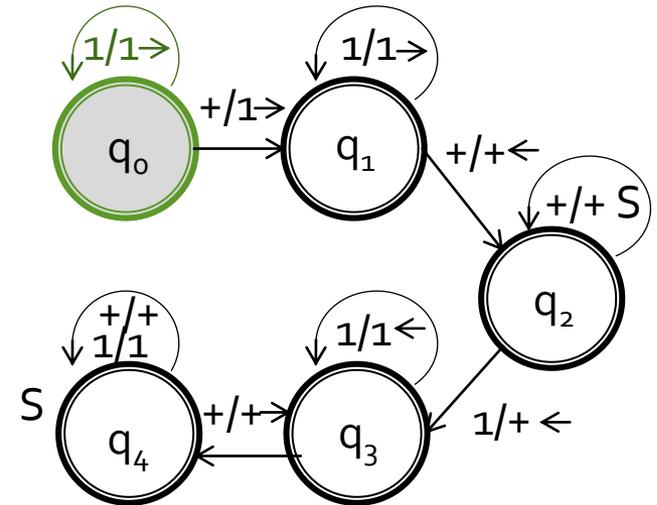
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



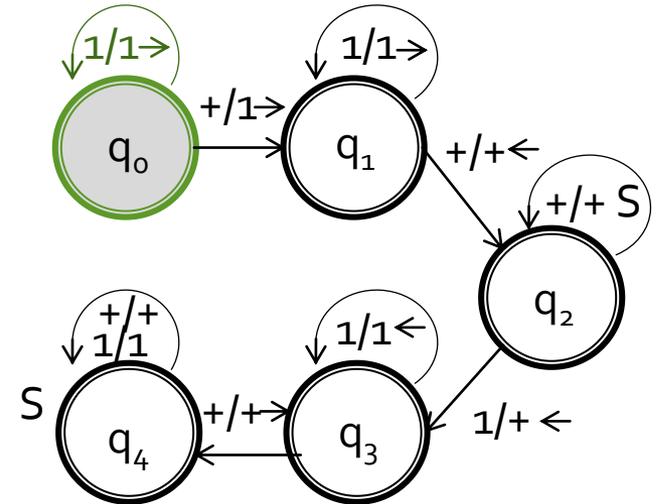
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



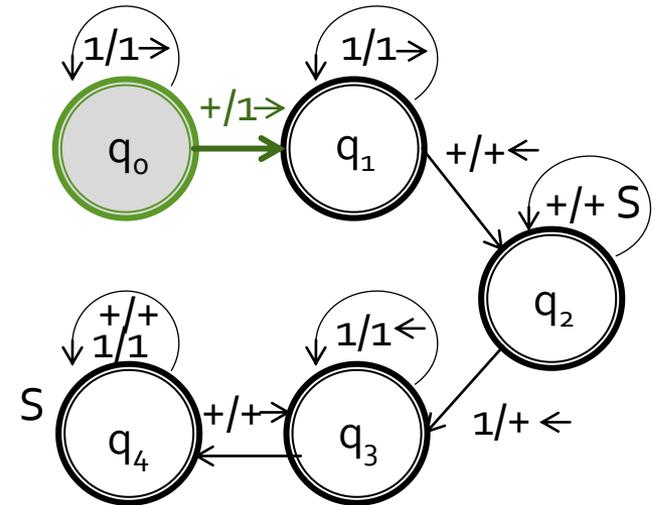
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



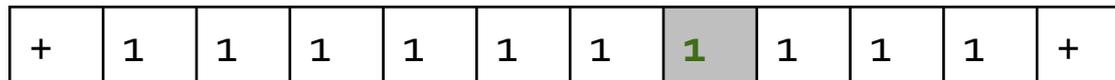
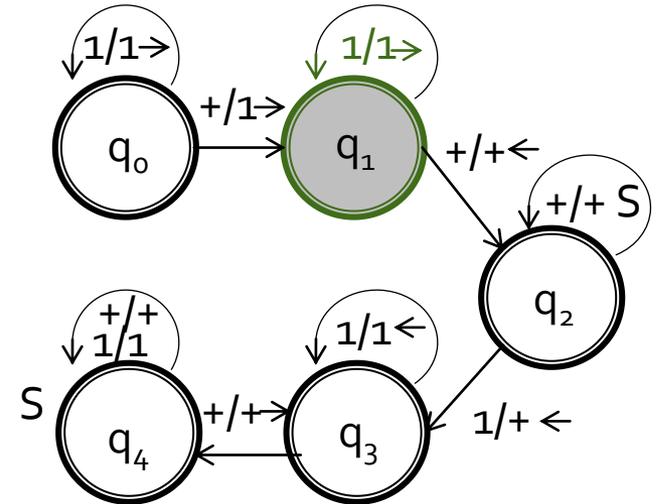
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



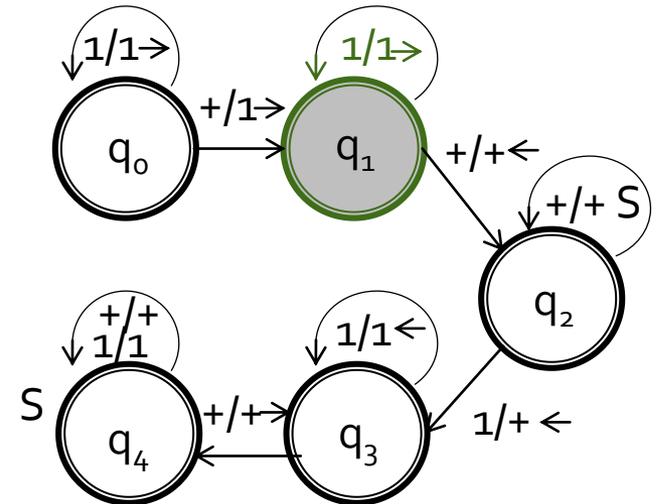
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



# Beispiel: Addition unärer Zahlen

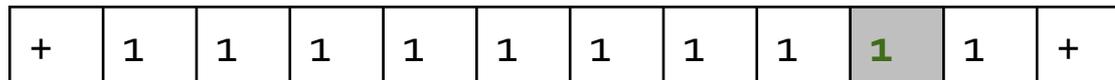
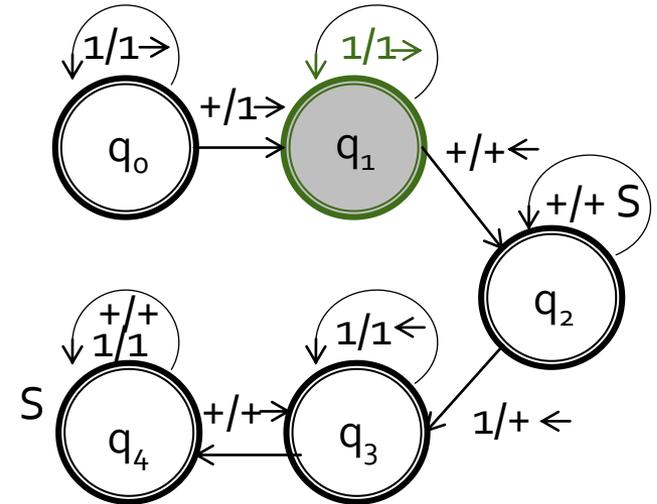
	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

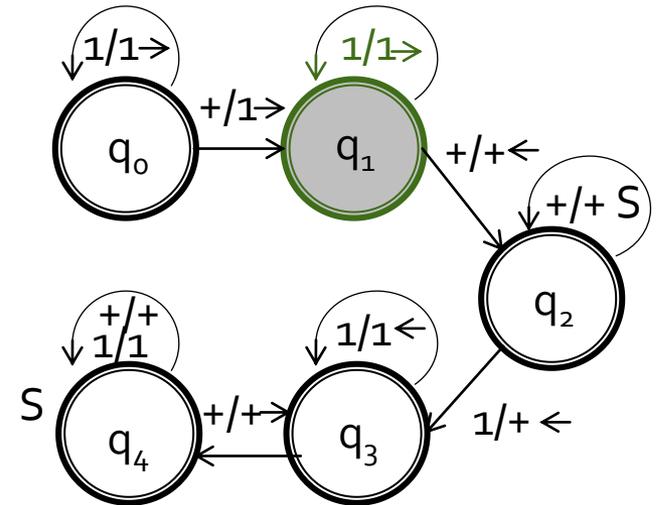
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



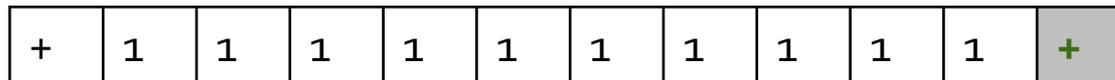
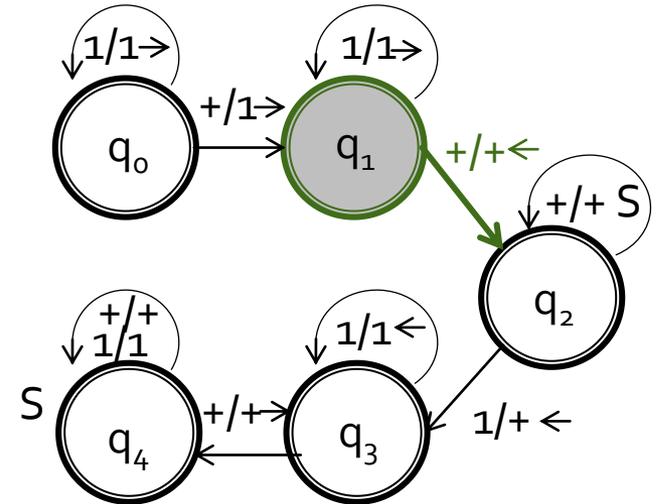
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



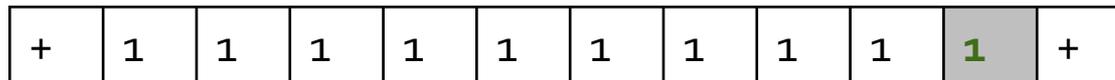
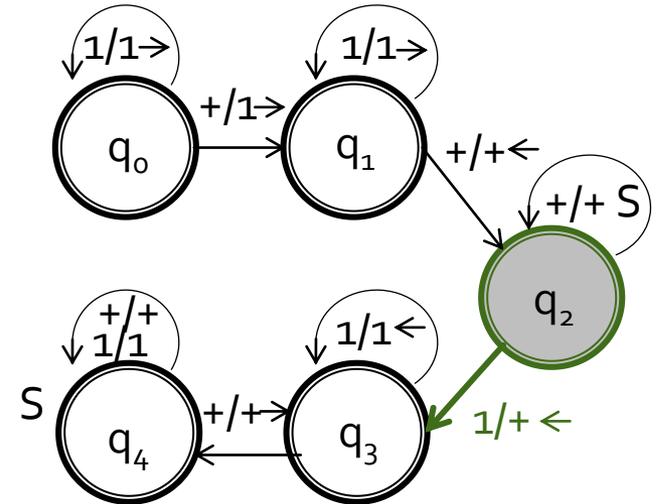
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



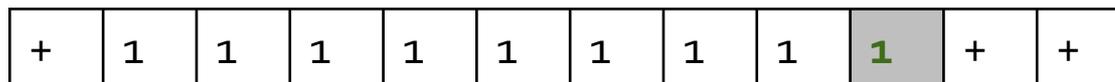
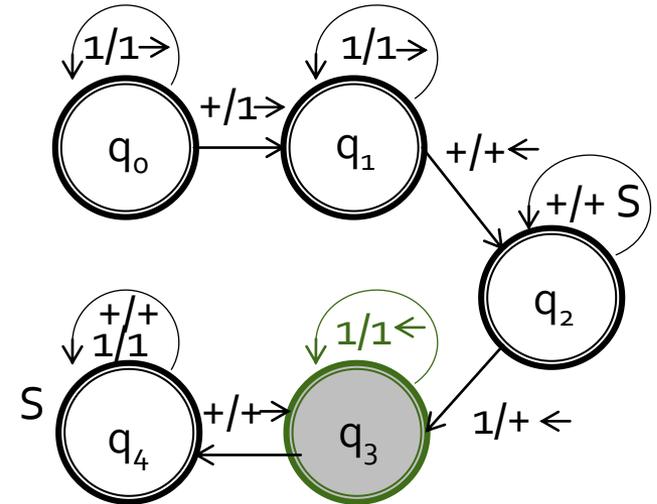
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



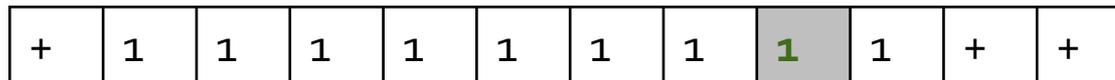
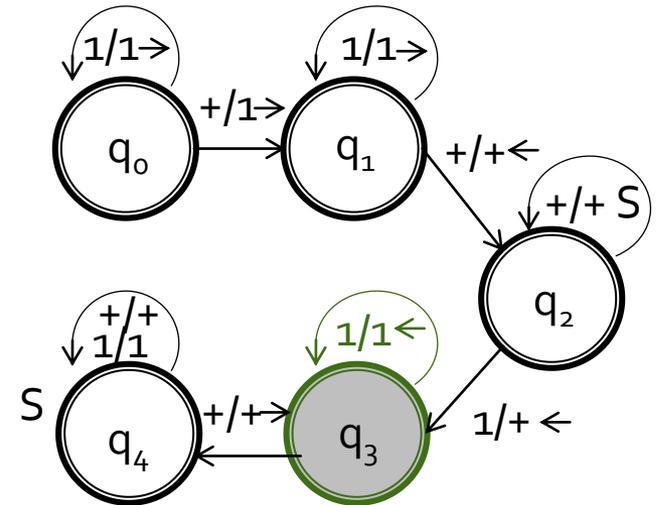
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



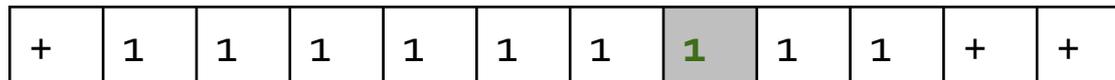
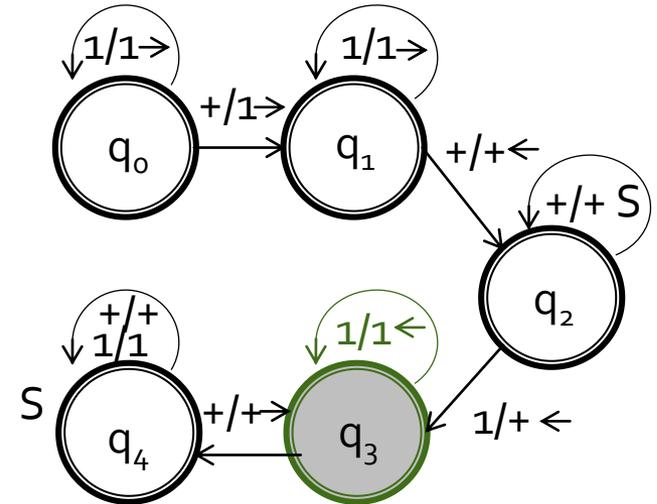
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



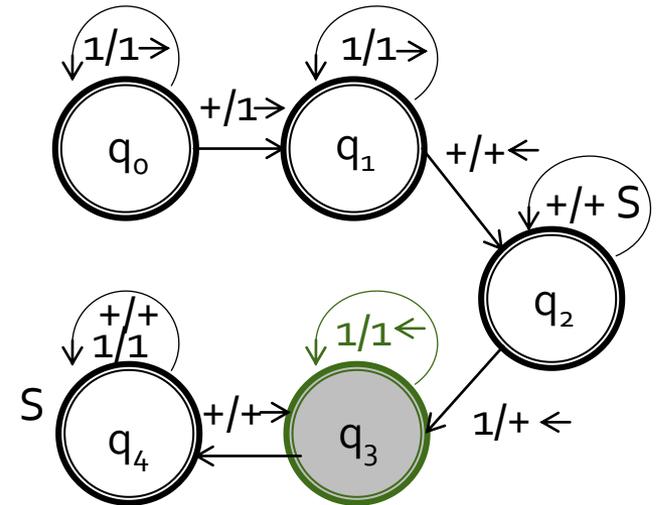
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



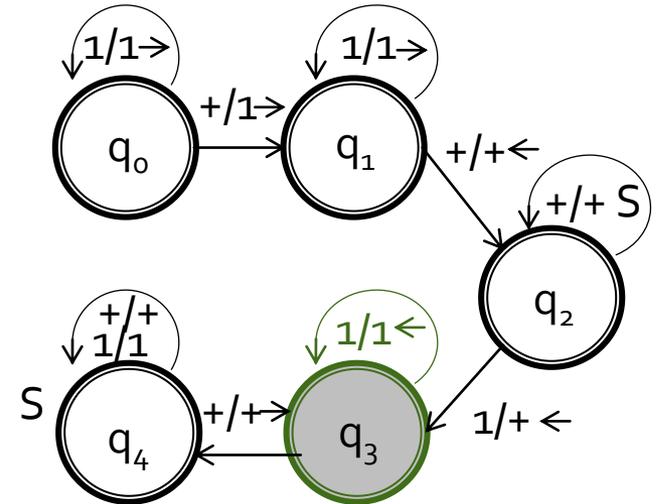
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



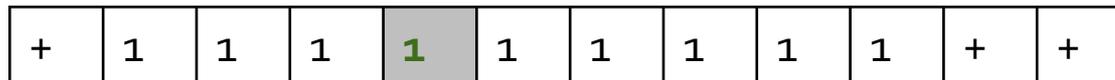
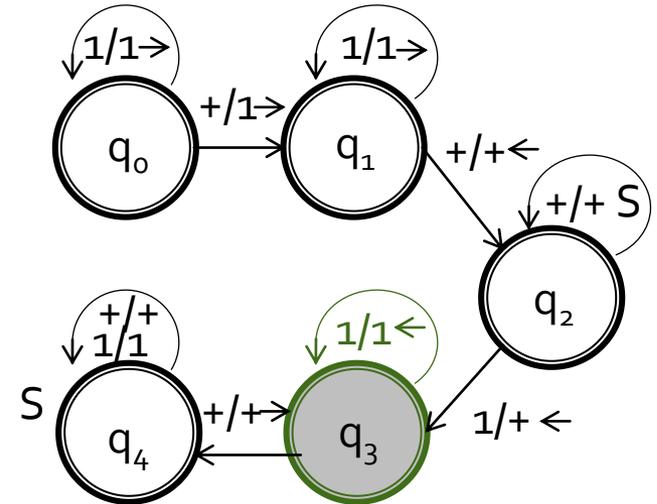
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



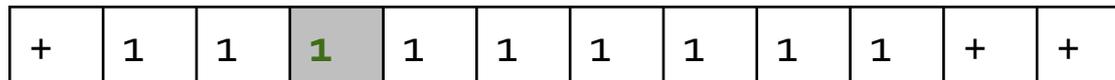
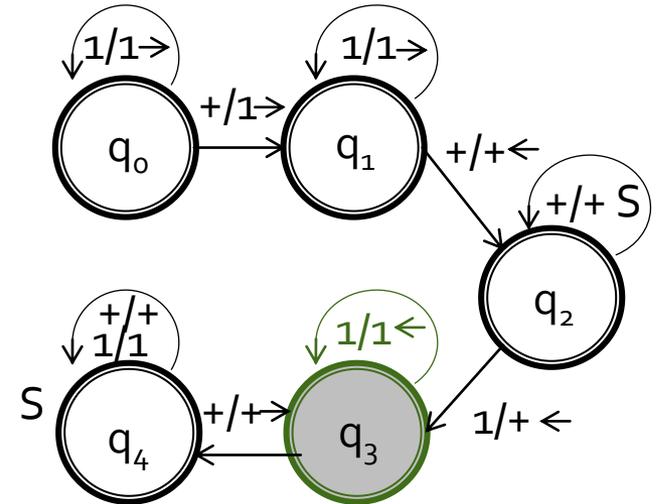
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



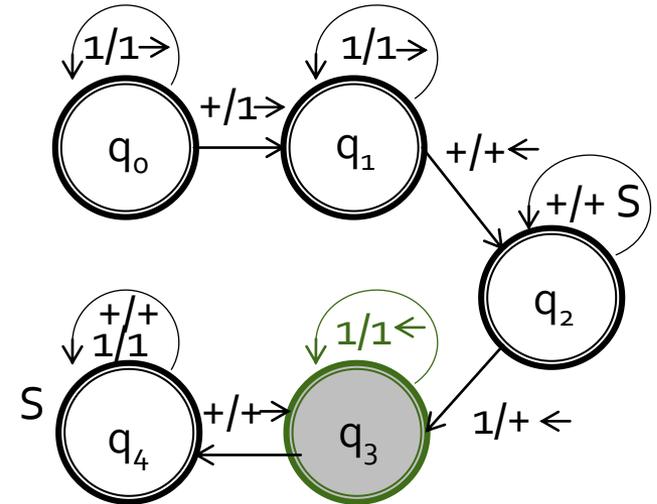
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



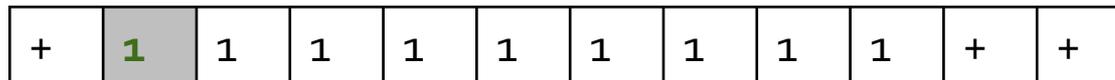
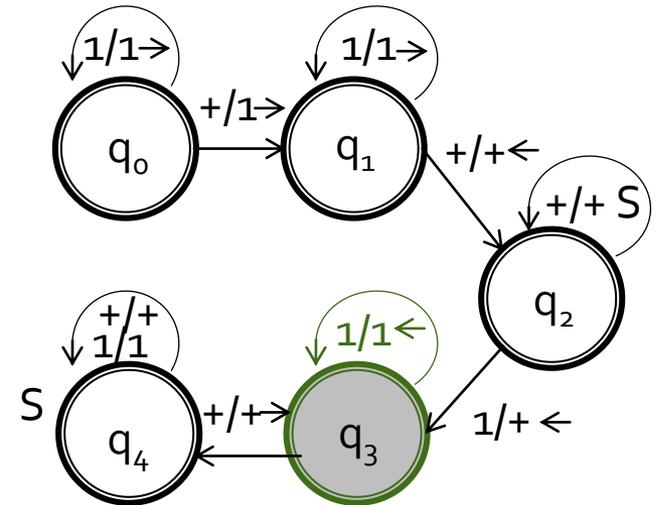
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



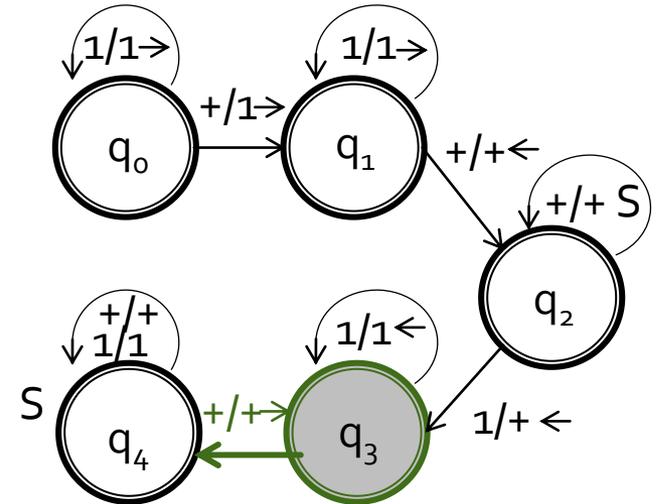
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



# Beispiel: Addition unärer Zahlen

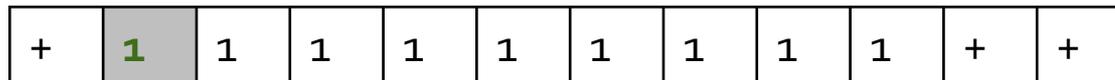
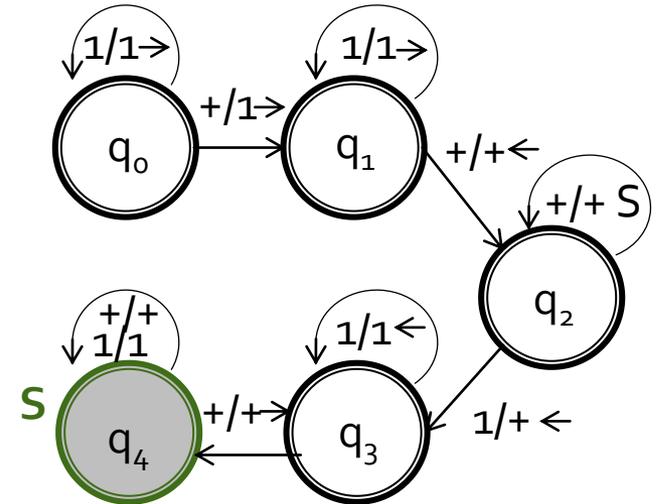
	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

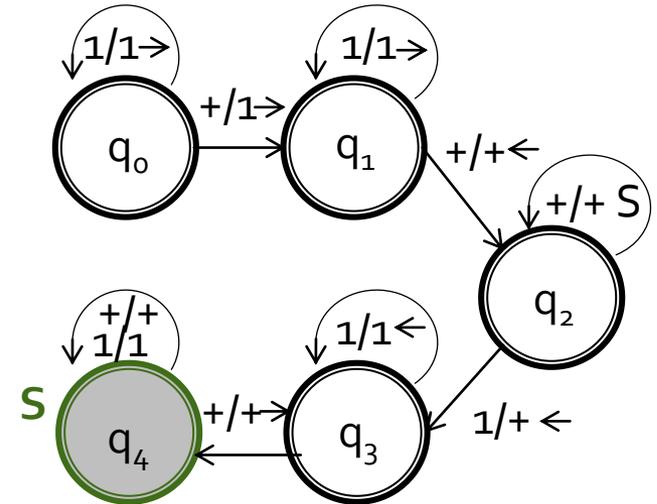
# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



# Beispiel: Addition unärer Zahlen

	Symbole	
Zustand	1	+
$q_0$	$(q_0, 1, R)$	$(q_1, 1, R)$
$q_1$	$(q_1, 1, R)$	$(q_2, +, L)$
$q_2$	$(q_3, +, L)$	$(q_2, +, S)$
$q_3$	$(q_3, 1, L)$	$(q_4, +, R)$
$q_4$	$(q_4, 1, S)$	$(q_4, +, S)$



Ergebnis = 9

$y =$ 

+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

# Das „Busy-Beaver“-Problem

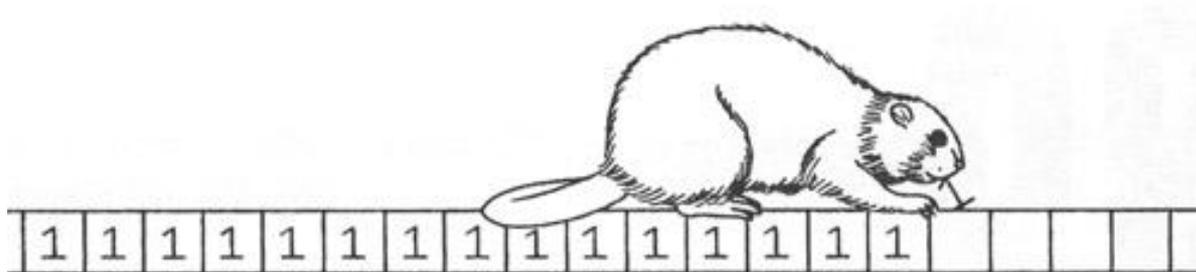
# Das „Busy-Beaver“-Problem

## Gegeben:

- leeres Turingband
- zweielementiges Bandalphabet  $\Sigma = \{+, 1\}$
- Turingmaschine mit  $n$  Zuständen

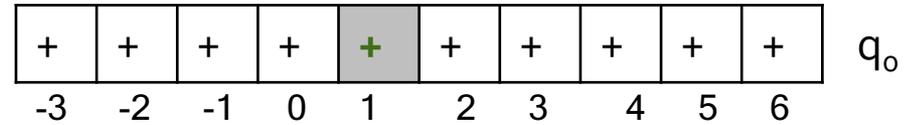
## Gesucht:

- größtmögliche Anzahl von „1“en, die eine Turingmaschine auf das Band schreibt, bevor sie hält



# Das „Busy-Beaver“-Problem

	Symbol	
Zustand	+	1
$q_0$	$(q_1, 1, R)$	$(q_1, 1, L)$
$q_1$	$(q_0, 1, L)$	$(q_1, 1, S)$



# Das „Busy-Beaver“-Problem

	Symbol	
Zustand	+	1
$q_0$	$(q_1, 1, R)$	$(q_1, 1, L)$
$q_1$	$(q_0, 1, L)$	$(q_1, 1, S)$

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

# Das „Busy-Beaver“-Problem

	Symbol	
Zustand	+	1
$q_0$	$(q_1, 1, R)$	$(q_1, 1, L)$
$q_1$	$(q_0, 1, L)$	$(q_1, 1, S)$

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
+	+	+	+	1	1	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

# Das „Busy-Beaver“-Problem

	Symbol	
Zustand	+	1
$q_0$	$(q_1, 1, R)$	$(q_1, 1, L)$
$q_1$	$(q_0, 1, L)$	$(q_1, 1, S)$

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	+	1	1	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	+	1	1	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

# Das „Busy-Beaver“-Problem

	Symbol	
Zustand	+	1
$q_0$	$(q_1, 1, R)$	$(q_1, 1, L)$
$q_1$	$(q_0, 1, L)$	$(q_1, 1, S)$

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

$q_0$

+	+	+	+	1	+	+	+	+	+
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

$q_1$

+	+	+	+	1	1	+	+	+	+
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

$q_0$

+	+	+	+	1	1	+	+	+	+
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

$q_1$

+	+	+	1	1	1	+	+	+	+
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

$q_0$

# Das „Busy-Beaver“-Problem

	Symbol	
Zustand	+	1
$q_0$	$(q_1, 1, R)$	$(q_1, 1, L)$
$q_1$	$(q_0, 1, L)$	$(q_1, 1, S)$

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	+	1	1	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	+	1	1	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	+	1	1	1	+	+	+	+	$q_0$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

+	+	1	1	1	1	+	+	+	+	$q_1$
-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	

# Das „Busy-Beaver“-Problem

- Nicht allgemein algorithmisch lösbar

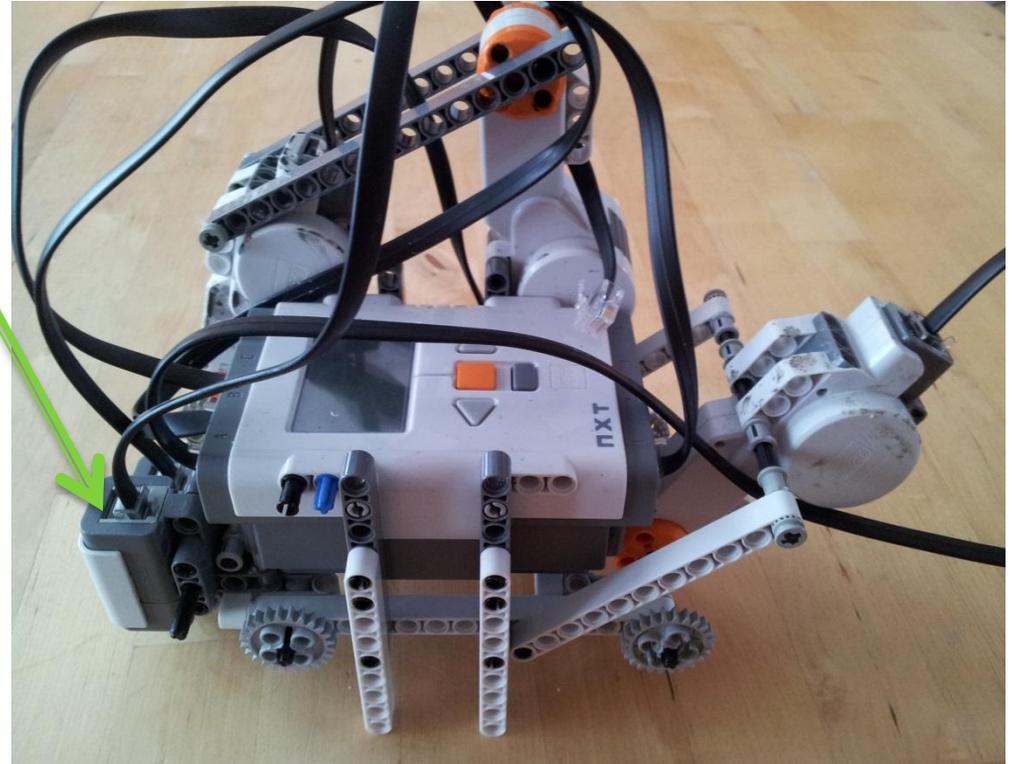
$\Sigma(n)$	$S(n)$
$\Sigma(1) = 1$	1
$\Sigma(2) = 4$	6
$\Sigma(3) = 6$	21
$\Sigma(4) = 13$	107
$\Sigma(5) \geq 4.098$	$\geq 47.176.870$
$\Sigma(6) \geq 95.524.079$	$\geq 3 \cdot 10^{1730}$

4

# Bau und Implementierung

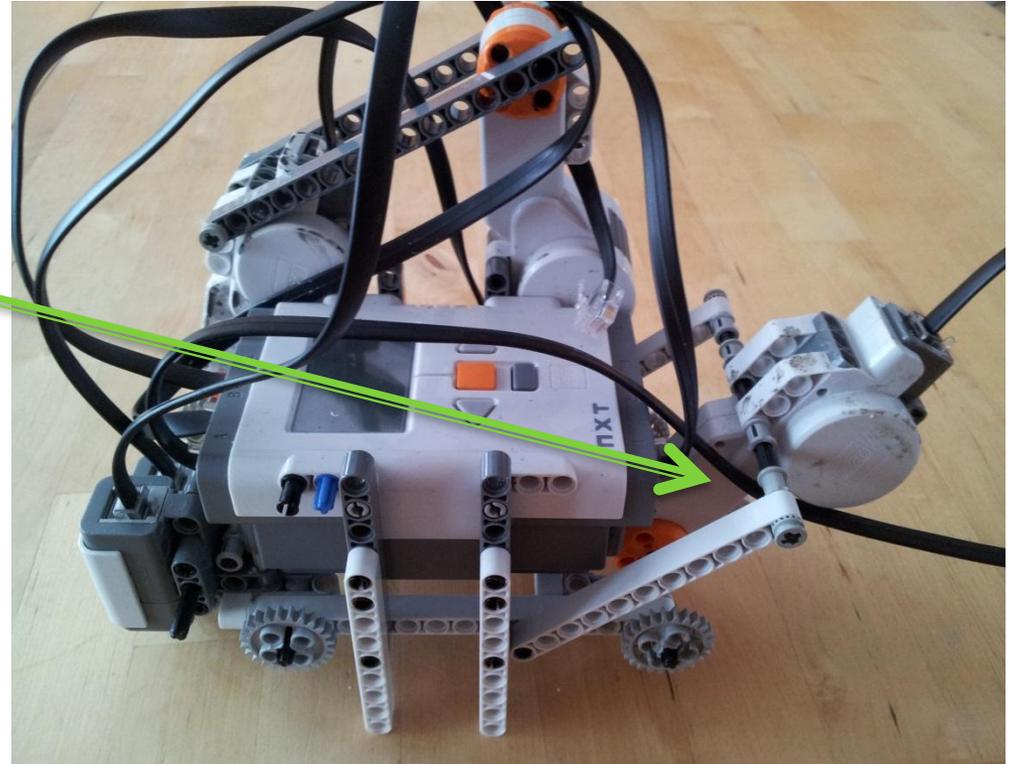
# Aufbau unseres Modells

- Lichtsensor = Lesekopf
- Antrieb
- Motor zum Bewegen des Schreibkopfes
- Schreibkopf
- Touchsensor



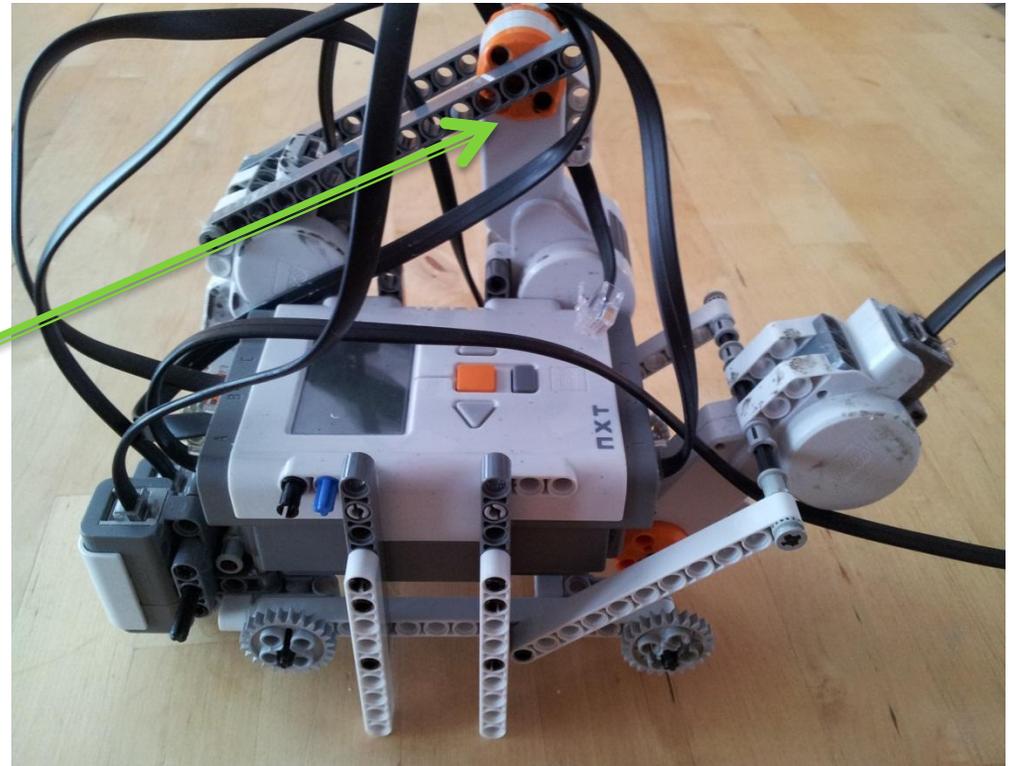
# Aufbau unseres Modells

- Lichtsensor = Lesekopf
- Antrieb
- Motor zum Bewegen des Schreibkopfes
- Schreibkopf
- Touchsensor



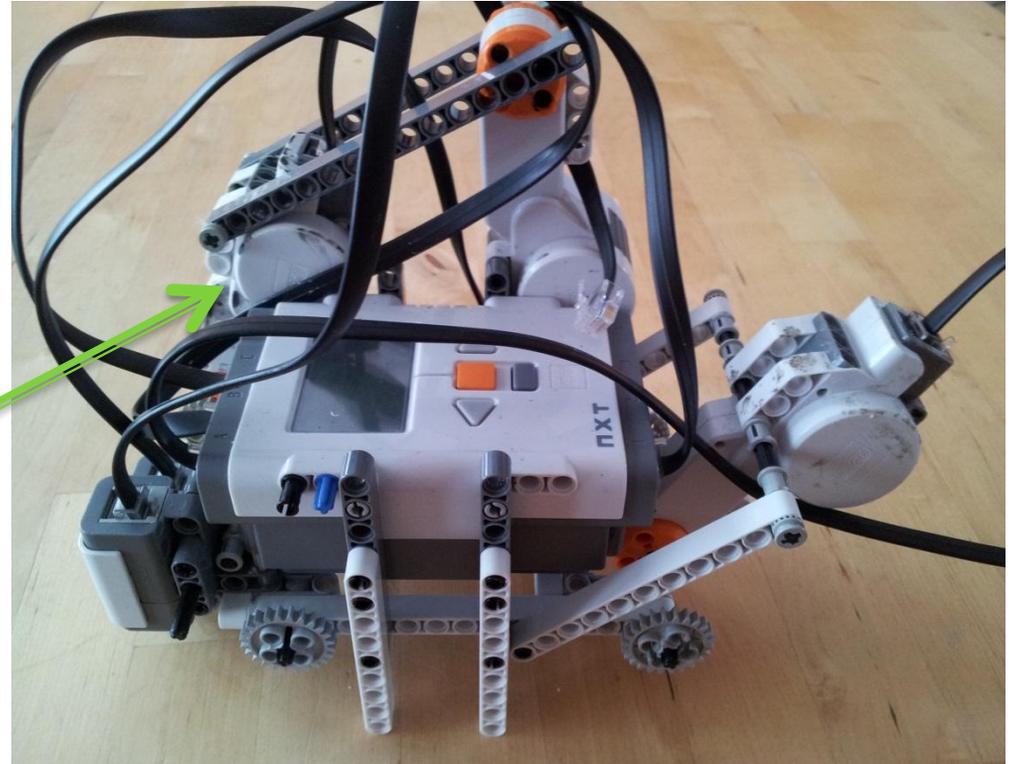
# Aufbau unseres Modells

- Lichtsensor = Lesekopf
- Antrieb
- Motor zum Bewegen des Schreibkopfes
- Schreibkopf
- Touchsensor



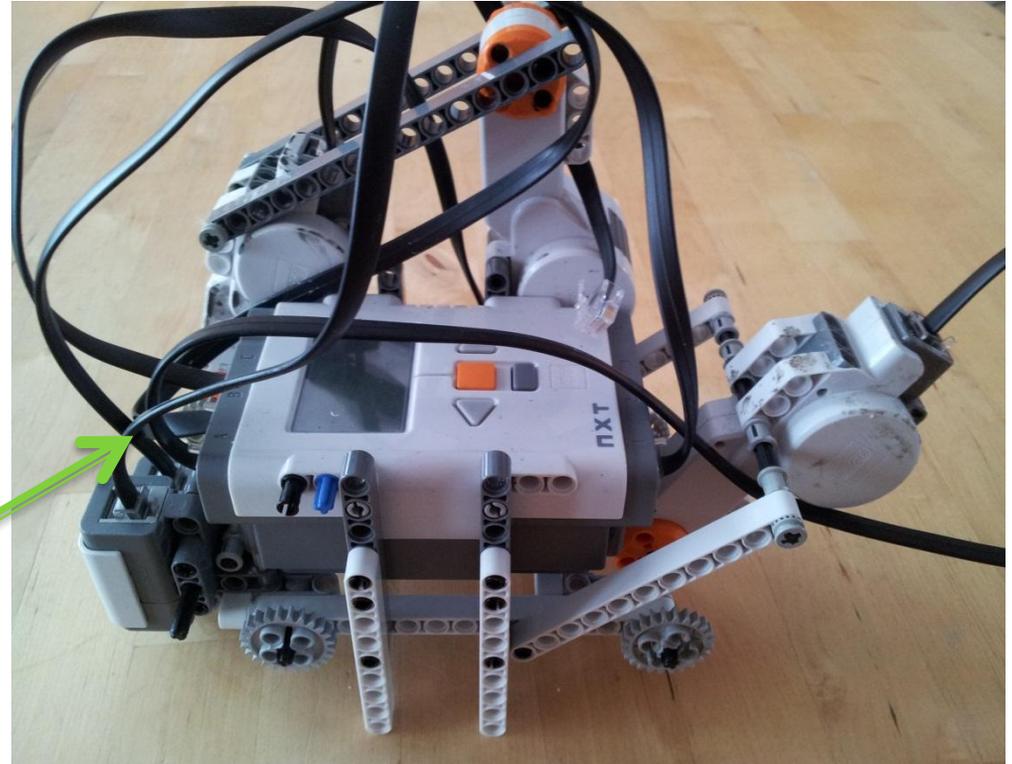
# Aufbau unseres Modells

- Lichtsensor = Lesekopf
- Antrieb
- Motor zum Bewegen des Schreibkopfes
- Schreibkopf
- Touchsensor



# Aufbau unseres Modells

- Lichtsensor = Lesekopf
- Antrieb
- Motor zum Bewegen des Schreibkopfes
- Schreibkopf
- Touchsensor



# Quellenverzeichnis

---

# Literaturverzeichnis

- **„Der Turing Omnibus“**  
A.K. Dewdney  
The University of Western Ontario  
Canada  
Springer, 1995
- **„Einführung in die Automatentheorie,  
Formale Sprachen und Komplexitätstheorie“**  
John E. Hopcroft, Rajeev Motwani, Jeffrey D. Ullman  
Addison-Wesley  
Pearson Studium, 2002

# Abbildungsverzeichnis

- Foto von Alan Turing:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Turing](http://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing)
- Automaten-Abbildung (Folie 11) und  
Biber-Abbildung (Folie 43):  
**„Der Turing Omnibus“**  
A.K. Dewdney  
The University of Western Ontario  
Canada  
Springer, 1995