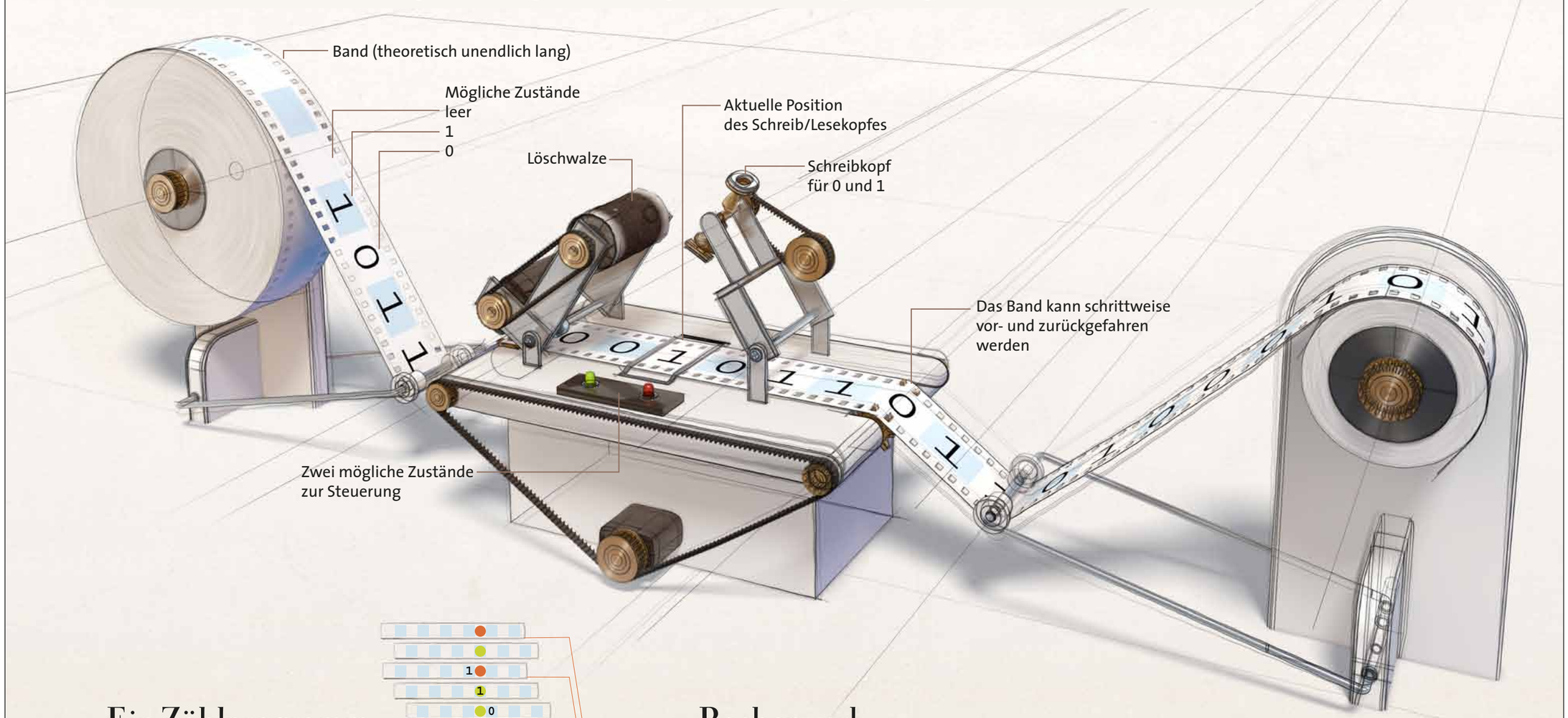
Nº 160

Die Universalmaschine

Am 23. Juni wäre Alan Turing 100 Jahre alt geworden. Seine »Turing-Maschine« war ein reines Gedankenexperiment, aber auch das Vorbild für alle digitalen Computer. Wir zeigen mit einem simplen Programm, wie sie funktioniert



Ein Zählprogramm

Unser Beispielprogramm vollbringt die einfachste mathematische Leistung: Es zählt, und zwar im Binärsystem. Dazu hat es die Symbole 0, 1 und »leer« zur Verfügung, und es hat zwei mögliche Zustände, rot und grün. Für jede Kombination Symbol/Zustand gibt es eine Regel, also insgesamt sechs, die in der Tabelle gezeigt werden.

Die Kombination unten etwa liest sich so: »Wenn der Zustand der Maschine

			●		●	
		←	●	1	→	●
0	0	→	●	1	→	●
1	1	→	●	0	←	●

rot ist und auf dem Band ein Leer-Symbol zu sehen ist, dann behalte das Leer-Symbol, gehe einen Schritt nach links und wechsle in den Zustand grün.«

Die Maschine beginnt mit einem leeren Streifen und im Zustand rot, es kommt also genau diese Regel zur Anwendung. Danach ist der Zustand grün, also wirkt die Regel rechts daneben, die Maschine schreibt eine 1, geht nach rechts, der Zustand ist rot. Und so weiter.

Rechts sehen Sie die ersten Schritte, die die Maschine ausführt. Ein sinnvolles Muster erkennt man, wenn man nur dann hinschaut, wenn der Schreib-Lese-Kopf wieder in seiner Ursprungsposition ist (rechte Spalte): Dann erscheinen nach und nach die Zahlen 0, 1, 2, 3 und so weiter im Binärsystem.

Rechenwerk

Alan Turing hatte eigentlich keine Rechenmaschine im Kopf, als er die nach ihm benannte Maschine ersann. Der Mathematiker wollte ein Problem lösen, das seine Disziplin seit 36 Jahren umtrieb: Lassen sich alle mathematischen Fragen entscheiden, indem man sie stumpfsinnig ausrechnet? So hieß denn auch seine bahnbrechende Arbeit von 1936 *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem.*

Die Maschine – inzwischen sind konkrete Exemplare gebaut worden – besteht aus wenigen mechanischen Elementen: einem theoretisch endlosen Papierstreifen und einem Schreib-, Lese- und Löschkopf, der auf diesem Streifen Symbole manipulieren kann. Außerdem gibt es einen Transportmechanismus, der das Band um jeweils einen Schritt nach links oder rechts bewegen kann.

In Turings ursprünglicher Arbeit sind es menschliche *computers,* also »Rechner«, die diese Maschine bedienen. Sie handeln entsprechend dem »Programm«, das nichts weiter ist als ein Satz von Regeln: Die Maschine kann eine gewisse Zahl von »Zuständen« haben, und für jeden dieser Zustände und jedes Symbol aus dem »Alphabet« der Maschine gibt es eine Verhaltensregel. Zum Beispiel: »Ist die Maschine im Zustand A und steht im aktuellen Feld das Symbol 1, dann ersetze es durch das Symbol 0, gehe einen Schritt nach rechts und wechsle in Zustand B.«

Eine Turing-Maschine kann beliebig viele Zustände haben und ein beliebig großes Alphabet. Wir verwenden eine minimale Maschine mit zwei Zuständen und drei Symbolen, die auf den Mathematiker Stephen Wolfram zurückgeht. Sie ist zwar klein, aber universell – das heißt, sie kann im Prinzip alles das, was auch die größten Computer der Welt können. Sie ist nur ein bisschen langsamer.

Die Weiterentwicklung

Turing lieferte die Theorie, doch wer baute den ersten Computer? Die Ehre gebührt wohl Konrad Zuse. Der Erfinder konstruierte als Erster ein Gerät, welches das entscheidende Kriterium der »Turing-Vollständigkeit« erfüllte: Der Rechner verfügte über alles, was Turing einst erdacht hatte – bis auf den unbegrenzten Speicherplatz. Rasch folgten weitere Modelle

1 1941 Zuse Z3
Konrad Zuse baute mit der Z3 die erste programmierbare und Turing-vollständige Maschine auf der Basis von elektrischen Relais

2 1945 Colossus
Mit Rechnern dieses Typs entzifferte der britische Geheimdienst die Codes der Lorenz-Schlüsselmaschine. Die diente dem deutschen Militär im Zweiten Weltkrieg zur Chiffrierung von Nachrichten

3 1946 Eniac
Der 27 Tonnen schwere Rechner wurde vom US-Militär genutzt. Anders als in der Z3 wurden im Eniac Röhren anstelle von Relais verwendet. Daher sehen manche Informatiker diesen Rechner als ersten echten Computer an

4 1951 Ferranti Mark 1
Erster in Serie hergestellter und kommerziell verkäuflicher Rechner

5 1951 Univac
Mit einem dieser Computer wurde die korrekte Prognose für die US-Wahl im Jahr 1952 berechnet

6 1952 IBM 701
IBM bot für diesen Rechner eine Menge Zubehör an, neben Lochkartenlesern und -druckern etwa auch Magnetbandlaufwerke, die Vorläufer der heutigen Festplatten

7 1969 Cray CDC 7600
Die Entwicklung von Transistoren und integrierten Schaltkreisen brachte eine weitere Steigerung der Rechenleistung

8 1973 Xerox Alto
Der erste Computer mit einer grafischen Benutzeroberfläche wurde vor allem in Forschungseinrichtungen genutzt

9 1975 Altair 8800
Einer der ersten Heimcomputer, der als Bausatz für Hobbyelektroniker auf den Markt kam

10 1981 IBM-PC
Lange Zeit der Standard im Personal-Computer-Bereich, mit dem Betriebssystem MS-DOS betrieben. Der kommerzielle Erfolg des IBM-PCs begründete die Vormachtstellung von Microsoft

11 1982 Commodore C64
Mit mehr als zehn Millionen verkauften Exemplaren eroberte der »Brotkasten« unter anderem als Spielkonsole die Kinderzimmer

12 1984 Apple Macintosh
Apple übernahm viele Ideen des Xerox Alto und entwickelte sie weiter. So gab es beispielsweise erstmals eine Maus

13 2007 I-Phone
Die Grenzen zwischen Telefon und Rechner lösen sich auf. Smartphones werden zu einem Lifestyle-Produkt

THEMA: COMPUTER

Die Themen der letzten Grafiken:
159 Rennrad
158 Fischfang
157 Tierpenisse

Weitere Grafiken im Internet:
www.zeit.de/grafik

Illustration: Franziska Lorenz, Jochen Stuhrmann

Recherche: Christoph Drösser

Quellen: Wolfram Alpha, Wikipedia

Unsere Maschine wurde inspiriert durch das tatsächlich funktionierende Exemplar, das der Tüftler Mike Davey gebaut hat: aturingmachine.com