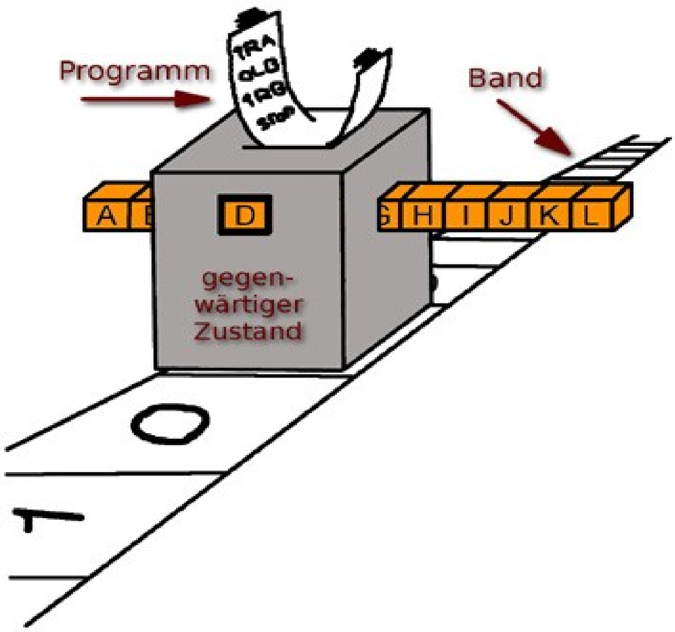
Textauszug:

Das Cambridge Quintett

mit freundlicher Genehmigung von Prof. John L. Casti für das FSG.

»Es ist wirklich sehr einfach«, erwiderte Turing. In meiner Untersuchung über berechenbare Zahlen habe ich eine Art theoretische »Papier-Rechenmaschine« verwendet Manche Leute sind bereits dazu übergegangen, diese eine Turing-Maschine zu nennen«, bemerkte er ruhig, aber mit einer Spur von Stolz. »Sie besteht aus zwei Elementen: einem ***unendlich langen Papierband,*** das in Quadrate unterteilt ist, von denen jedes entweder das Zeichen **0** oder das Zeichen **1** enthalten kann, sowie einem ***Lesekopf,*** der sich vorwärts oder rückwärts auf dem Band entlang bewegen kann, jeweils ein Quadrat abtastend, wobei er das Zeichen auf diesem Quadrat liest und es entweder unverändert lässt oder ein neues Zeichen darauf schreibt. Bei jedem Schritt dieser Operation, nehmen wir weiter an, kann der Lesekopf sich in einer aus einer endlichen Anzahl von Konfigurationen - oder wie wir auch sagen, Zuständen - befinden. Man kann sich die Maschine mit einem Zeiger ausgestattet denken, der zum jeweiligen Moment auf einen der Buchstaben A, B, C und so weiter deutet. Dieser Buchstabe repräsentiert somit den momentanen »Zustand« der Maschine. Ein Teil des Programms sagt der Maschine, wie sie die Ausrichtung des Zeigers ändern soll, und zwar in Abhängigkeit von dem Zustand, in dem sich die Maschine gerade befindet, sowie davon, welches Symbol auf demjenigen Bandquadrat steht, das der Kopf gerade liest.«

Turing griff in seine Jackentasche und zog einen Notizblock hervor, auf den er schnell eine Zeichnung skizzierte, die ein Beispiel einer derartigen »Postamt-Rechenmaschine« zeigte, deren Lesekopf sich in einem von zwölf möglichen Zuständen befinden konnte, die er mit den Buchstaben A bis L bezeichnete.



»Das Verhalten einer dieser theoretischen Maschinen ist durch ihr Programm festgelegt, bei dem es sich um eine Liste von Anweisungen handelt, die der Maschine sagen, was sie unter einer jeglichen Konfiguration von Umständen, in der sie: sich befinden könnte, jeweils zu tun hat. Da der Lesekopf in jedem Stadium der Operation über zweierlei Informationen verfügt das Zeichen, das er gerade vom Band liest, und seinen gegenwärtigen Zustand -, würde eine typische Anweisung etwa folgendermaßen lauten: »Wenn du im Zustand A bist und das Zeichen 0 liest, rücke nun ein Quadrat nach rechts und begib dich, sagen wir, in den Zustand B.«

Bei dieser Konstellation sind die möglichen Aktionen, die der Lesekopf unternehmen kann:

1. Ein Quadrat nach rechts gehen.

2. Ein Quadrat nach links gehen.

3. Das auf dem gegenwärtigen Quadrat Stehende durch eine 1 ersetzen.

4. Das auf dem gegenwärtigen Quadrat Stehende durch eine 0 ersetzen.

5. Den gegenwärtigen Zustand beibehalten.

6. Vom gegenwärtigen Zustand in einen anderen überwechseln.

7. STOP.

»Alles sehr interessant«, unterbrach ihn Haldane, »aber könnten Sie uns zeigen, wie dieser Aufbau genutzt werden kann, um wirkliche Berechnungen anzustellen?«

»Selbstverständlich. Was würden Sie denn gern berechnen?«

»Wie wäre es, wenn Sie uns zeigten, wie dieses Gerät 1 und 2 addieren würde, um auf 3 zu kommen?« antwortete Snow. »Wir möchten nur einen Gesamteindruck von seiner Arbeitsweise bei einem einfachen Problem gewinnen.« Turing ging nun die einzelnen Schritte durch, wie man diese Art Maschine anstelle von Suppentellern und Löffeln benutzen würde, um zwei Zahlen zusammenzuzählen. »Die Maschine startet mit einem Band, dessen Quadrate allesamt das Zeichen 0 tragen«, erläuterte er. »Wie zuvor nehmen wir an, wir wollten 1 und 2 addieren. Wir beginnen, indem wir eine einzelne 1 und eine Sequenz von zwei Einsen auf das Band eintragen, beide getrennt durch eine 0, um anzuzeigen, dass sie separate Zahlen sind.« Daraufhin skizzierte er auf seinen Notizblock das Programm für eine Maschine mit drei Zuständen, um diese Addition auszuführen."[1]

	gelesenes Zeichen	
Zustand	***1***	***0***
A	***1,R,A***	***1,R,B***
B	***1,R,B***	***0, L,C***
C	***0,STOP***	***STOP***

1 **Die Einträge in dieser Tabelle sind folgendermaßen zu verstehen: Befindet sich der Lesekopf im Zustand A und liest er vom Band das Zeichen 1, dann sagt ihm das Programm, daß er in dieser Situation die Schritte (1, R, A) zu tun hat. Dies ist die Turing-Maschinen-Kurzschrift, in welcher der Lesekopf gesagt bekommt: »Ersetze das Zeichen auf dem gegenwärtigen Quadrat durch eine 1, rücke ein Quadrat nach rechts (R) und gehe in den Zustand A. Die anderen Anweisungen des Programms werden in entsprechender Weise verstanden.**

»Dieses Programm«, fuhr er fort, »wird nun die Maschine bei einer Sequenz von drei aufeinanderfolgenden Einsen auf einem Band, das im übrigen nur Nullen enthält, zum Anhalten veranlassen. Ich erkläre Ihnen, weshalb. Normalerweise gehen wir davon aus, dass die Maschine im Zustand A startet und das erste Nicht-Null-Symbol auf der Linken liest. Weil dieses Symbol zwingend eine 1 sein muss, sagt das Programm der Maschine, die 1 in diesem Quadrat neu zu schreiben, ein Quadrat nach rechts vorzurücken und im Zustand A zu bleiben. Da die Maschine immer noch im Zustand A ist und das jetzige Zeichen erneut eine 1 ist, wiederholt die Maschine den vorigen Schritt und rückt ein Quadrat nach rechts weiter. Jetzt aber liest der Lesekopf eine 0. Das Programm sagt ihm dazu, dass die Maschine in diesem Fall eine 1 drucken, nach rechts weiter rücken und in den Zustand B übergehen solle. Wenn der Lesekopf die restlichen Schritte des Programms ausgeführt hat, bleibt er schließlich stehen; das Band sieht genauso aus wie das Input-Band - nur dass die 0, welche die Sequenz von Einsen getrennt hatte, die für die Zahlen 1 und 2 standen, jetzt verschwunden ist. Auf dem Band stehen somit, wie ich's gesagt habe, drei Einsen in einer Reihe hintereinander, womit wir das Ergebnis der Addition der beiden ursprünglich auf dem Band stehenden Zahlen haben. Und Sie sehen selbstverständlich, dass es mit den Zahlen 1 und 2 nichts Besonderes auf sich hat. Genau dasselbe Programm könnte dazu benutzt werden, beliebige zwei Zahlen zu addieren.«
Erneut unterbrach ihn Schrödinger und beschwerte sich: »Beim Addieren von kleinen Zahlen wie 1 und 2 macht diese Rechenmaschine einen guten, Eindruck, aber als praktisches Hilfsmittel, um umfangreichere Berechnungen anzustellen, wie man sie etwa in der Physik unternimmt, sieht sie nicht gerade viel versprechend aus. Um beispielsweise 1.234.567.890 und 9.876.543.210 zu addieren oder die Quadratwurzel von Pi zu ziehen, würde man auf diese Weise wohl sehr viel Zeit brauchen. Man brauchte ein mehrere hundert Meter langes Band, um alleine diese Zahlen auf Ihrem Input-Band einzutragen.«
»Es hängt alles davon ab, was Sie unter praktisch verstehen«, entgegnete Turing. »Wenn man die Operationen manuell ausführen muss, wie ich es hier getan habe, um Ihnen zu zeigen, wie 1 und 2 addiert werden, dann ist es in der Tat eine ganz schön langsame Angelegenheit, und ich würde Ihnen beipflichten, dass es so nicht besonders praktisch erscheint. Wenn man aber elektromechanische Geräte einsetzen kann, um etwa die Fortbewegung des Lesekopfs entlang des Bands und die einzelnen Programmschritte auszuführen, mit Geschwindigkeiten, die weit schneller sind als alles, wozu ein Mensch fähig ist, dann eröffnen wir für solche Maschinen völlig neue Möglichkeiten, Berechnungen durchzuführen, die kein Mensch je zuwege brächte.«
Hier hielt Turing für einen Moment inne und dachte an seinen alten Studienkollegen David Champernowne, der einmal auch solch eine

Frage wie Schrödinger über das Rechnen mit großen Zahlen gestellt hatte. Champernowne hatte sich sogar die spezielle Zahl 1-234.567.891.011.121.314... ausgedacht, die er durch das Aufschreiben der natürlichen ganzen Zahlen in Folge gebildet hatte - als eine Art Testfall für das. was sich auf Turings Maschine berechnen ließ. Turing lächelte in sich hinein, als er daran dachte, wie sie diese Zahl Champernowne zu Ehren »Den Champion aller Zeiten« genannt haften. Seine Aufmerksamkeit wurde plötzlich wieder auf die Gegenwart zurückgelenkt, als Snow fragte: »Meinten Sie mit Ihrer vorhergehenden Äußerung, dass ein solches primitiv aussehendes Gerät zu jeder Art Berechnung fällig sei, die sich nur denken ließe?«

»Genau das. Mein Aufsatz von 1936 zeigte, dass es für eine solche Rechenmaschine zwar einer großen Anzahl von Schritten oder eines sehr langen Bands bedürfte, um Berechnungen jener Art durchzuführen, von denen Schrödinger spricht, dass aber ausnahmslos alles, was als Endresultat der Befolgung eines Regelsatzes gedacht werden kann - jede mögliche Art von numerischer Berechnung eingeschlossen -, von einer Maschine dieser Art in einem vergleichbaren Schritt–für-Schritt-Verfahren berechnet werden kann. Die einzigen Bedingungen sind, dass man genug Zeit hat, alle einzelnen Schritte der Berechnung zu vollziehen, und dass man ein ausreichend langes Band hat, um alle Zwischenergebnisse darauf zu speichern. Genau genommen muss meine theoretische Rechenmaschine eine unbegrenzte Anzahl von Quadraten auf dem Band - oder von *Postfächern* - zur Verfügung haben.«