

Stephan Weiss

Die elektro-mechanische Rechenmaschine im französischen Patent FR414790 von 1910

Das Patent

Die industrielle Fertigung mechanischer Vierspezies-Rechenmaschinen¹ beginnt im 19. Jahrhundert, ihre konstruktive Vielfalt erreichen sie etwa im Zeitraum fünfzehn Jahre vor und nach der Jahrhundertwende. Die Maschinen werden zunächst mit einer Handkurbel angetrieben. Nach der Wende zum 20. Jahrhundert verwendet man auch elektrische Energie in Form eines Antriebs mit Elektromotor, der nur die Betätigung der Handkurbel ersetzt. An der Funktion der Maschine ändert sich dabei nichts.

Unter der grossen Zahl an Patenten aus dem oben genannten Zeitraum findet man nur ganz selten solche für elektro-mechanische Rechenmaschinen, die keinen Motor verwenden, sondern im Zusammenwirken von mechanischen mit elektrischen Bauteilen arbeiten. Unbekannt ist, warum es nur so wenige Versuche oder Vorschläge gegeben hat. Die technologischen Möglichkeiten waren ab der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert vorhanden.²

Diese Bauart hat Vorteile. Einzelne Baugruppen können unabhängig voneinander angeordnet und mit elektrischen Leitungen verbunden werden, während bei mechanischen Rechenmaschinen die Kraft- oder Signalübertragung an die begrenzte Reichweite und spezifische Bewegung mecha-

1 Eine Vierspezies-Maschine beherrscht die vier Grundrechenarten Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division.

2 Patent DE88297 für Eduard Selling, Würzburg: Electriche Rechenmaschine. Deutschland 1894.

nischer Bauteile gebunden ist. Zudem kann man annehmen, dass eine solche Bauart kostengünstiger herzustellen wäre als die mechanische Ausführung.

Im Folgenden wird die elektro-mechanische Rechenmaschine mit Patent³ FR414790 vorgestellt. Alle Einzelheiten und Varianten aus der Patentschrift aufzuführen war nicht beabsichtigt. Vielmehr soll gezeigt werden wie sich der Erfinder das Zusammenwirken der Bauteile vorgestellt hat und welche überraschend grosse Ähnlichkeit diese Maschine mit einer mechanischen aufweist. Auf Anwendung und Funktion von Vierspeziesmaschinen wird nicht eingegangen, ihre Kenntnis ist deshalb für das Verständnis der Erläuterungen von Vorteil.

Die Maschine

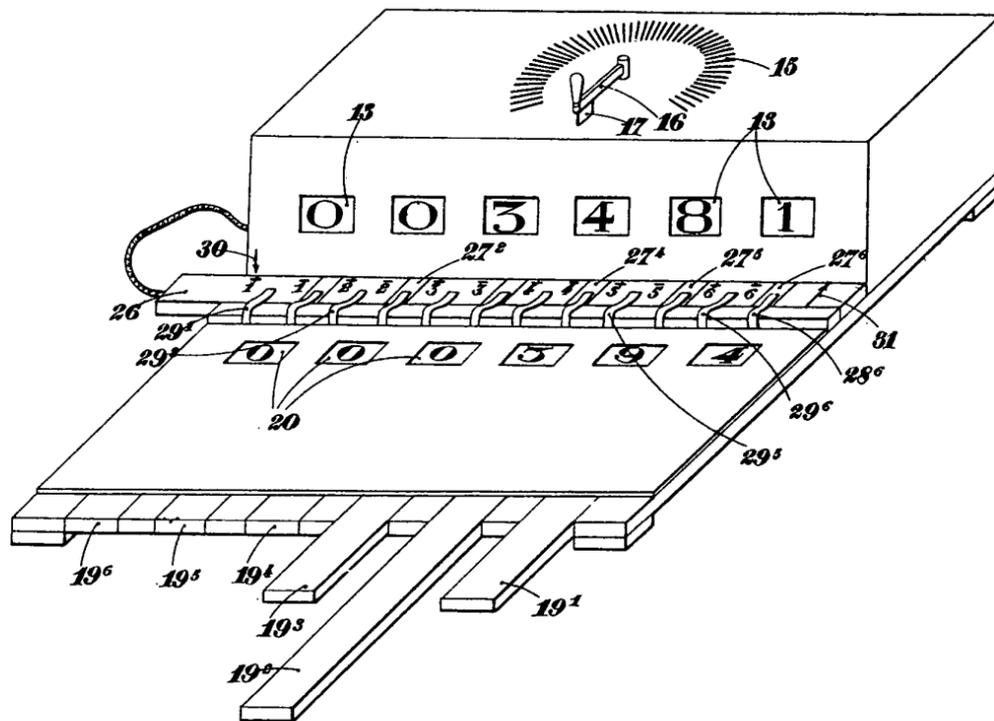
Die Maschine (Fig. 1) besteht im rückwärtigen Teil aus einem Kasten, auf dem oben eine Kurbel *16* angebracht ist. Die Kurbel überstreicht bei einer vollständigen Drehung mehrere Kontakte *15*.⁴ Darin besteht auch ihr einziger Verwendungszweck, nach innen in den Kasten hinein gibt es keine mechanische Verbindung.

An der Front des Kastens sind nebeneinander Schauöffnungen *13* angebracht. Sie zeigen jeweils nur eine Ziffer auf einer dahinter angebrachten Rolle. Die Schauöffnungen dienen zur Anzeige des maximal sechsstelligen Ergebnisses einer Rechnung.

Im vorderen Teil der Maschine sind flache Stäbe *19¹* bis *19⁶* gelagert. Sie können unabhängig voneinander nach vorn heraus gezogen werden und zehn Stellungen 0 bis 9 annehmen, deren Werte auch in Schauöffnungen *20* angezeigt werden. Mit diesen Stäben wird eine Zahl Ziffer für Ziffer eingestellt. Die Stäbe entsprechen dem Einstellwerk an mechanischen Rechenmaschinen.

3 Patent FR414790 für François-Georges Volmerange, France (Seine): Machine à calculer. Frankreich 1910

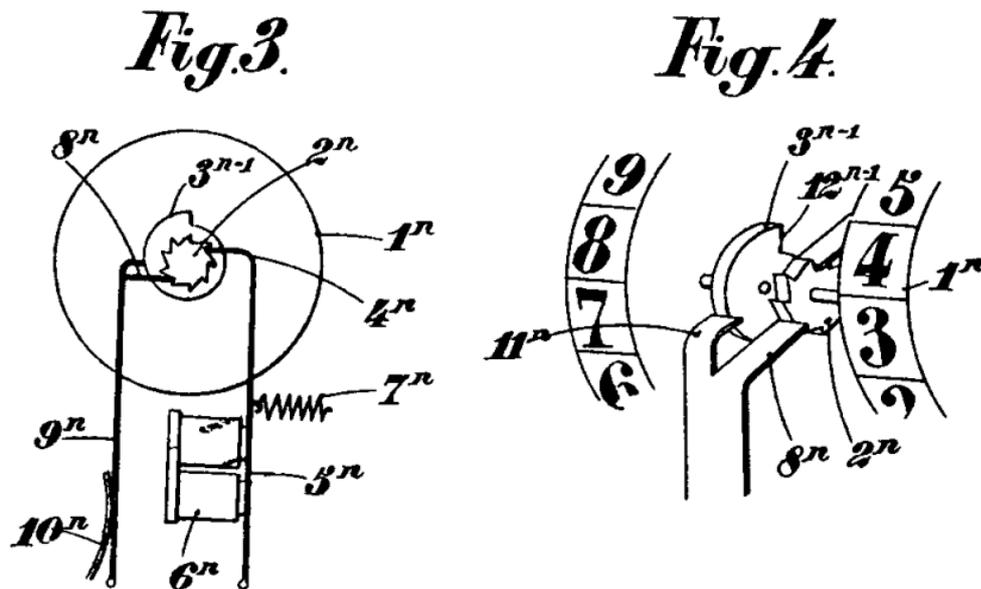
4 Die hier verwendeten Nummern als Bezeichnungen für Teile entsprechen den Nummern in der Patentschrift. Hochgestellte Indizes kennzeichnen an welchen Stellen der Zahlen die Bauteile verwendet werden: 1 für die Einerstelle, 2 für die Zehnerstelle usw. Der hochgestellte Index *n* weist darauf hin, dass diese Bauteile an allen Stellen ($n = 1$ bis $n = 6$) identisch vorkommen.

Fig.1.

Zwischen dem vorderen flachen Teil der Maschine und dem Kasten dahinter ist ein Schieber 26 angebracht, der Kontakte trägt und waagrecht verschoben werden kann. Auf den Zweck dieses Schiebers wird weiter unten eingegangen.

Das Zählwerk (Fig. 3) hinter den Schauöffnungen 13 ist aus nebeneinander angeordneten Rollen 1 zusammengesetzt. Die Ziffernrollen oder einfach Rollen tragen auf ihrem Umfang die Ziffern 0 bis 9. Wenn der unterhalb angebrachte Elektromagnet 6 bei Stromdurchfluss eine Feder anzieht und diese in ein Zackenrad 2 eingreift dreht sich die Rolle bis zur Anzeige der nächsten Ziffer weiter. Soll sich die Rolle eine bestimmte Anzahl von Ziffern weiter drehen sind ebensoviele elektrische Impulse am Elektromagneten erforderlich. Weil dieses Zählwerk das Resultat einer Rechnung anzeigt kann man es auch Resultatwerk nennen.

Für Zählwerke dieser Bauart ist ein automatischer Zehnerübertrag zwischen den Rollen erforderlich. Er wird wirksam wenn eine Rolle von der Anzeige 9 auf die Anzeige 0 wechselt, weil in diesem neuen Zustand ein Zehner auf der nächsten linken Rolle in der Anzeige hinzukommen muss.

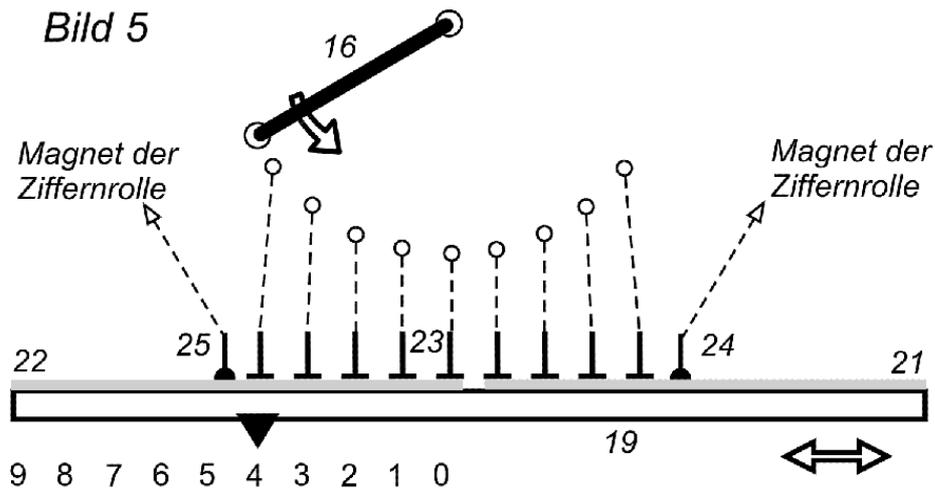


Der Zehnerübertrag wird mechanisch ausgeführt. Seine Teile zeigt Fig. 4 als Ansicht von hinten auf das Zählerk. Während der Drehung einer Rolle zur Ziffer 9 hin biegt ein Nockenrad an dieser Rolle eine Feder weiter nach aussen, die beim Übergang von 9 auf 0 von der Form der Nocke losgelassen zurückschnellt und über ein Zackenrad die nächste linke Rolle um eine Stelle weiter dreht. Mit dieser Konstruktion wird auch ein gleichzeitiger Zehnerübertrag über mehrere Stellen hinweg gewährleistet, wie er beispielsweise bei der Rechnung $999 + 1 = 1000$ auftritt.

Eine weitere Baugruppe die hier besprochen werden muss ist das Einstellwerk mit den verschieblichen Stäben 19^1 bis 19^6 . Bild 5 zeigt eine schematische Darstellung für eine Stelle im Einstellwerk. Die Stäbe tragen auf ihrer Oberseite zwei den Strom leitende Schichten 21 und 22, welche in der Mitte des Stabes keine Verbindung haben. Weiterhin berühren neun Schleifkontakte 23 sowie die beiden Schleifkontakte 24 und 25 diese leitenden Schichten. Bei einer Umdrehung des Hebels 16 überfährt dieser neun Kontakte, die mit den neun Schleifkontakten 23 verbunden sind. Beide Schleifkontakte 24 und 25 führen zum Elektromagneten der Ziffernrolle dieser Stelle, jedoch von einem Umschalter gesteuert immer nur einer und niemals beide zusammen.

Der Hebel 16 ist Teil eines Stromkreises und steht stets unter Spannung. Der Stromkreis führt von einer Batterie über den Hebel und die Schleifkontakte auf den leitenden Schichten zum Magneten der Ziffernrolle an dieser Stelle und von dort zurück zur Batterie. Wird der Hebel in einer Kreisbe-

wegung über die neun Kontakte geführt, erhält in einer Stellung wie in Bild 5 dargestellt der Schleifkontakt 25 fünf elektrische Impulse und der Schleifkontakt 24 vier Impulse. Nimmt man an, dass nur der Schleifkontakt 24 mit dem Magneten der Ziffernrolle verbunden ist, dann dreht sich diese Rolle vier Ziffern weiter. Die Anzahl vier ist identisch mit der Anzeige des Stabes in der Schauöffnung 20.

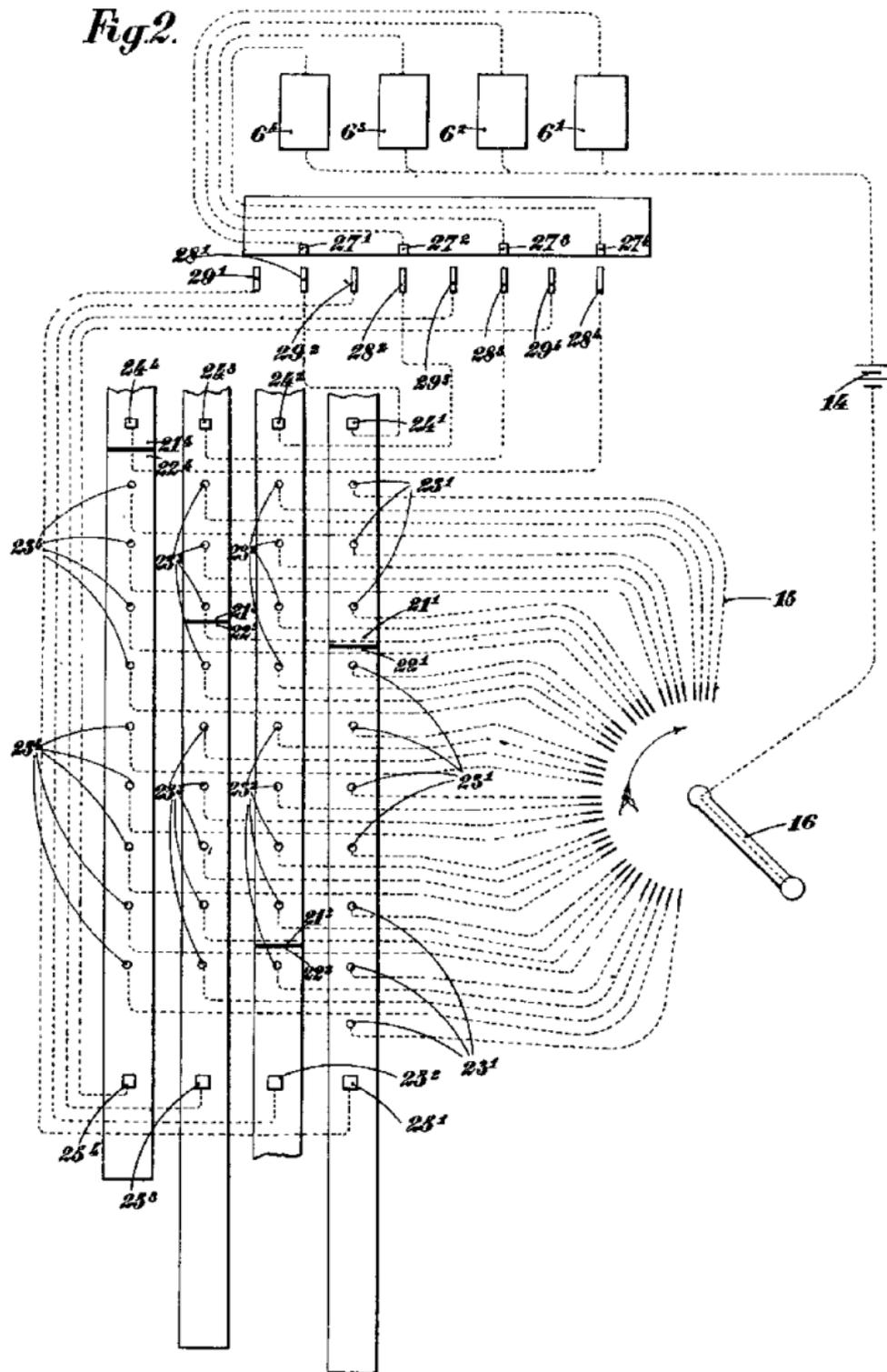


Durch Verschieben des Stabes lässt sich bewirken, dass der Schleifkontakt 24 bei einer Kurbeldrehung 0 bis 9 Impulse weitergibt. Bezeichnet man diese Zahl der weitergegebenen Impulse mit n , dann erhält der Schleifkontakt 25 während einer Kurbeldrehung $(9 - n)$ Impulse.

Mit Ausnahme des Stabes für die Einer sind alle Stäbe wie beschrieben aufgebaut. Über dem Einerstab sind zehn Schleifkontakte 23 angebracht. Für diesen Stab gilt, dass bei n Impulsen am Schleifkontakt 24 der Kontakt 25 $(10 - n)$ Impulse weiter gibt.

Das Entstehen von n Impulsen am Kontakt 24 und $(9 - n)$ bzw. $(10 - n)$ Impulsen am Kontakt 25 dient der gleichzeitigen Bildung von Ziffer und Komplementziffer. Bei der Subtraktion wird der Nutzen dieser Einrichtung erklärt.

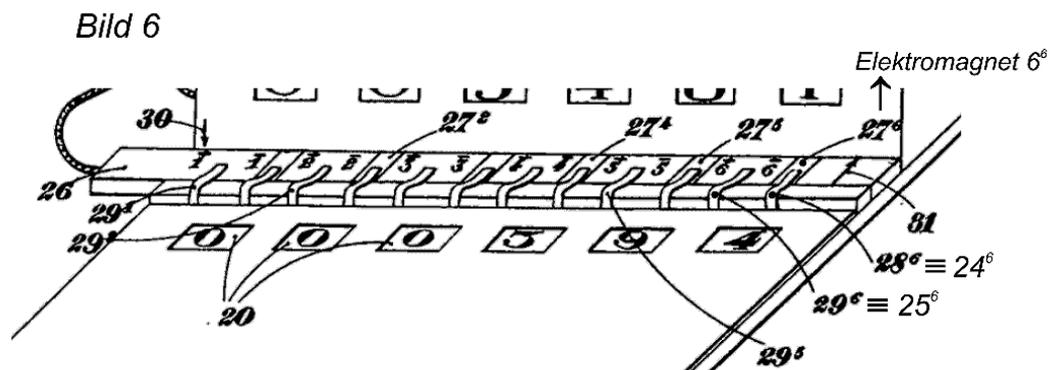
Für jede Stelle ist ein solches System aus verschieblichem Stab und zugehöriger Rolle eingebaut. Die Kurbel muss daher bei einer vollständigen Umdrehung alle vorhandenen Schleifkontakte 23 unabhängig voneinander schalten. Fig. 2 zeigt die Verdrahtung für vier Stellen bzw. Stäbe.



Die Verbindung zwischen den Schleifkontakten 24 und 25 und den Elektromagneten der Zifferrollen stellt die quer verschiebliche Leiste 26 her. Die Kontakte 27 sind auf der Leiste fest montiert, sie stehen in Verbindung mit den Elektromagneten der Zifferrollen. Am Gehäuse fest montiert sind die

Kontakte 28 und 29, die wiederum mit den Schleifkontakten 24 und 25 in Verbindung stehen.

Solche Beschreibungen mögen den Erfordernissen eines Patents genügen, dem leichten Verständnis sind sie nicht dienlich. Erschwerend kommt hinzu, dass auf der Leiste die Reihenfolge der Kontakte umgekehrt ist, d. h. die Kontakte der Einerstellen liegen links, nach rechts folgen die der Zehnerstellen usw. Warum die Anordnung so gewählt wurde bleibt unverständlich. In Bild 6 sind die Zusammenhänge für die rechte Stelle $n = 6$ mittels Ergänzungen in der Originalzeichnung verdeutlicht.



Die Leiste 26 hat zwei Funktionen.

1. Bei einer gewählten Zuordnung zwischen den Stäben und den zugehörigen Ziffernrollen ermöglicht sie die Umschaltung zwischen Addition und Subtraktion der Zahl, die an den Stäben eingestellt ist. Die Subtraktion wird mit Hilfe der Addition des Komplements einer eingestellten Zahl ausgeführt. Dazu wird die Verbindung 27 zum Elektromagneten der Rolle mit einer kleinen Bewegung der Leiste seitwärts vom Schleifkontakt 24 auf den Schleifkontakt 25 umgeschaltet. Die Subtraktion mittels Komplementzahlen ist im Anhang beschrieben,
2. sie ermöglicht weiterhin durch seitliches Herausziehen eine Verschiebung um jeweils eine Stelle in den Zuordnungen zwischen Stäben und den Ziffernrollen. Damit ist es möglich, Einer-, Zehner- und Hunderterziffern im Einstellwerk zu den Einer-, Zehner- und Hunderterziffern des Zählwerk oder zu den Zehner-, Hunderter- und Tausenderziffern des Zählwerk oder zu den Hunderter-, Tausender- und Zehntausenderziffern des Zählwerks usw. zu addieren. In Bild 7 ist diese Zuordnung für eine dreistellige Zahl im Einstellwerk schematisch dargestellt. Ein solches Verfahren erlaubt die vereinfachte Ausführung von Multiplikations- und Divisionsaufgaben.

Markierungen an der Leiste erleichtern die Wahl der richtigen Position.

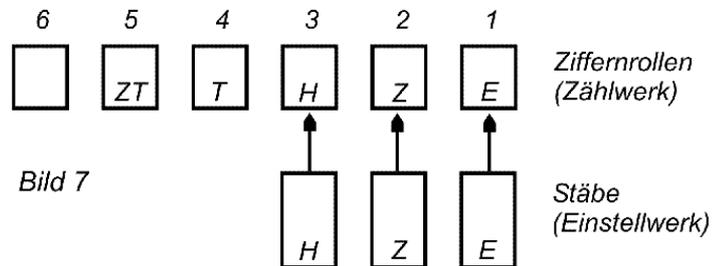
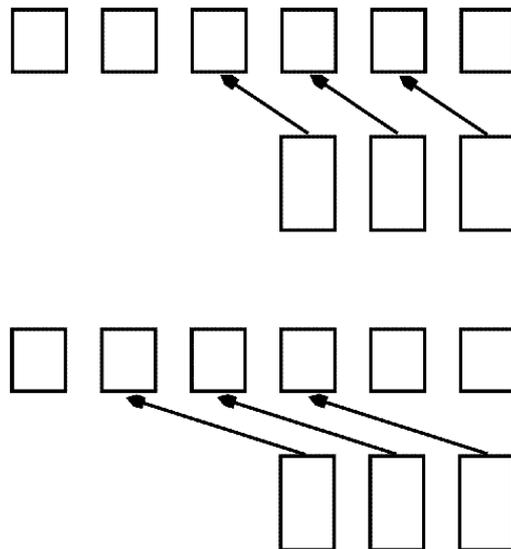


Bild 7



Die Anwendung der Maschine

Nach der Beschreibung der Maschine soll kurz die Ausführung der vier Grundrechnungsarten angesprochen werden. Sie unterscheidet sich nur unwesentlich von der bei mechanischen Maschinen.

Eine Addition wird ausgeführt, indem man eine Zahl an den Stäben eingibt, die Leiste oberhalb des Einstellwerks auf Addition stellt und einmal an der Kurbel dreht. Die eingestellte Zahl wird zu der im Zählwerk addiert.

Ebenso geht man bei der Subtraktion vor. Die Leiste oberhalb des Einstellwerks muss dabei auf Subtraktion stehen. Die eingestellte Zahl wird von

der im Zählwerk abgezogen. Das Nullstellen des Zählwerks erfolgt auf die gleiche Weise: man zieht die Zahl im Zählwerk vom Zählwerk ab.

Multiplikationen werden als fortgesetzte Additionen ausgeführt. Das Fehlen eines Umdrehungszählwerks für die Anzahl der Drehungen der Kurbel stellt dabei eine erhebliche Erschwernis dar.

Das Versetzen des Einstellwerks zum Zählwerk ermöglicht eine Ausführung der Multiplikation Stelle für Stelle.

Ein Beispiel hierfür ist die Rechnung

381 x 234 in der Abfolge

$$\begin{array}{r}
 381 \\
 +381 \quad (2 \text{ mal addiert}) \\
 \quad 381 \\
 \quad 381 \\
 +381 \quad (3 \text{ mal addiert}) \\
 \quad 381 \\
 \quad 381 \\
 \quad 381 \\
 +381 \quad (4 \text{ mal addiert}) \\
 \quad \quad \quad \equiv (381 \times 200) + (381 \times 30) + (381 \times 4)
 \end{array}$$

Divisionsaufgaben werden analog der Multiplikation ausgeführt. Vom Dividenden⁵ zieht man den Divisor Stelle für Stelle ab.

Ein Beispiel hierfür ist die Rechnung

89154 / 381 = 234 in der Reihenfolge

$$\begin{array}{r}
 89154 \\
 -381 \\
 -381 \quad (2 \text{ mal abgezogen}) \\
 =129 \mid 5 \\
 \quad -381 \\
 \quad -381 \\
 -381 \quad (3 \text{ mal abgezogen}) \\
 =152 \mid 4 \\
 \quad -381 \\
 \quad -381 \\
 \quad -381 \\
 -381 \quad (4 \text{ mal abgezogen}) \\
 = \quad 0
 \end{array}$$

5 Dividend / Divisor = Quotient

Das Fehlen eines Umdrehungszählwerks erweist sich hier ebenfalls als nachteilig.

Zusammenfassung und Bewertung

Die Rechenmaschine weist ohne Zweifel Unzulänglichkeiten auf. Aus dem Fehlen eines Umdrehungszählwerks entsteht ein Nachteil, der auch dem Erfinder bekannt gewesen sein muss. Er schlägt deshalb eine zusätzliche Einrichtung vor, die die Anzahl der Kurbeldrehungen für jede Stellung der Leiste 26 zählt. Zudem führt er Varianten in Ausgestaltung und Anwendung der Kurbel sowie weitere mögliche Änderungen auf.

Von einer Bewertung der äusseren Form der Maschine sei abgesehen. Patentschriften stellen nur jene Einzelheiten dar, auf die sich der Patentanspruch bezieht, und nicht die Ausgestaltung.

Bleiben wir beim Grundkonzept der Maschine. Auffallend ist die grosse Ähnlichkeit mit den Funktionen einer mechanischen Vierspezies-Maschine. So rechnet die Maschine auf jeder Stelle mit Impulsen, die im Zählwerk addiert werden. Die Anzahl der Impulse hängt von den Einstellungen im Einstellwerk ab. Ebenso arbeiten Maschinen mit den Schaltorganen Staffelwalze, Sprossenrad oder Zahnstange. Die Positionen der Einstellstäbe werden in geschickter Weise gleichzeitig für das Generieren einer Komplementzahl verwendet. Eine derartige Kombination lässt sich vergleichen mit dem Schaltorgan auf der Schaltscheibe der Gauss bzw. Mercedes-Gauss und auch mit der sehr viel späteren Curta.

Das Erzeugen der Impulse und ihr Übertragen in das Zählwerk erfolgt mittels einer Kurbel. Diese Lösung mag konstruktiv naheliegend und einfach ausführbar sein, sie erinnert dennoch am stärksten an eine mechanische Rechenmaschine.

Die verschiebbliche Leiste zwischen Einstellwerk und Zählwerk entspricht in ihrem Zweck genau dem Versetzen des Wagens bei mechanischen Maschinen, denn hier wie dort wird die Zuordnung zwischen den Stellen im Einstellwerk und im Zählwerk verändert. Die Leiste ersetzt das Verschieben von Einstellwerk und Zählwerk relativ zueinander.

Im Ganzen betrachtet hat diese Rechenmaschine in ihrer Funktion eine weitgehende Ähnlichkeit mit den zur gleichen Zeit verwendeten Vierspezies-Maschinen. Man ist geneigt anzunehmen, der Erfinder habe die mechanischen Maschinen als Vorlage herangezogen und kopiert.

Soweit bisher bekannt ist diese oder eine ihr ähnliche Maschine niemals im Handel angeboten worden. Auch ein Prototyp ist bis heute unbekannt geblieben.



Anhang: Subtraktion durch Addition des Komplements

Die Maschine verwendet ein Verfahren, mit dessen Hilfe man eine Subtraktion durch eine Addition ersetzen kann. Dazu muss der Subtrahend⁶ zuvor in eine Komplementzahl umgewandelt werden.

Das nachfolgende Beispiel erläutert den Vorgang. Zu beachten ist dabei, dass beim Schreiben einer Zahl im Stellenwertsystem führende Nullen keine Bedeutung besitzen. An einer Rechenmaschine hingegen müssen sie wegen ihrer begrenzten Stellenzahl berücksichtigt werden. Die Rechenmaschine für unser Beispiel soll 6 Stellen in der Anzeige haben.

Wir möchten die Subtraktion

$$\begin{array}{r} 000653 \\ - 000428 \\ \hline 000225 \end{array}$$

ersetzen und bestimmen zunächst das Komplement (die Ergänzung) von 000428. Hierfür wird statt jeder Ziffer ihre Ergänzung zu 9, bei den Einern ihre Ergänzung zu 10 niedergeschrieben (von rechts beginnend $8 + 2 = 10$, $2 + 7 = 9$ usw.).

$$\begin{array}{r} \text{Komplement auf} \\ 9\ 9\ 9\ 9\ 9\ 10 \\ 0\ 0\ 0\ 4\ 2\ 8 \\ \hline 9\ 9\ 9\ 5\ 7\ 2 \end{array}$$

Dieses Komplement 999572 wird nun zum Minuenden addiert.

$$\begin{array}{r} 000653 \\ + 999572 \\ \hline \neq 000225 \end{array}$$

Man erhält ein Ergebnis, das um eine Stelle grösser ist als die Stellenzahl der Anzeige. Diese 1 steht im Beispiel an der 7. Stelle und kann an der Maschine nicht mehr angezeigt werden, sodass das richtige Ergebnis in der Anzeige erscheint.

⁶ Minuend – Subtrahend = Differenz.

Bildnachweis

Fig. 1, 2, 3, 4 aus der Patentschrift

Bild 5, 7 vom Verfasser erstellt

Bild 6 aus der Patentschrift, vom Verfasser ergänzt

11/2007