

Stephan Weiss

Die Multipliziermaschinen von Eduard Selling

Teil 1: Die Maschine erster Bauart

Die beiden letzten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts sind gekennzeichnet von einer zunehmenden Verbreitung der mechanischen Rechenmaschinen. Die Nachfrage lässt die Produktionszahlen steigen, neue Firmen werden gegründet, Erfinder nehmen sich der Rechenmaschine an und entwerfen neue Funktionsprinzipien oder suchen Verbesserungen an den vorhandenen Systemen. Die Rechenmaschine wird ebenso ein Wirtschaftsfaktor wie ein Objekt der technisch-intellektuellen Auseinandersetzung.

Historische Betrachtungen dieses Zeitabschnitts stellen häufig nur den technischen Fortschritt oder die wirtschaftliche Veränderung in den Vordergrund. Dabei findet keine Beachtung, dass Erfinden, Entwickeln, ebenso wie die Anpassung an die Vorgaben des Marktes stets auch mit erfolglosen Versuchen und Sackgassen verbunden sind.

Aus dem genannten Zeitraum sind uns eine Anzahl von Rechenmaschinen bekannt, die, aus welchen Gründen auch immer, Entwürfe geblieben sind oder nur als Einzelexemplare oder in kleinen Stückzahlen gebaut wurden. Als Beispiele seien die Maschinen von Duschaneck, Büttner oder Selling genannt.

Selling entwarf um die Wende des 19. zum 20. Jahrhundert Rechenmaschinen und liess auch einige Exemplare fertigen. Seine Rechenmaschinen sind heute kaum noch bekannt und werden in Aufzählungen technikhistorischen Inhalts nur selten erwähnt.

Zwei Aufsätze sollen die Rechenmaschinen von Selling für die an historischer Rechentechnik Interessierten wieder bekannt machen, weil wir der Meinung sind, dass diese Maschinen einige bemerkenswerte Eigenschaften besitzen. Es sind Multipliziermaschinen – eine seltene Klasse mechanischer Rechenmaschinen – und sie arbeiten mit einfallsreich durchdachten Mechanismen, welche in späterer Zeit so nie wieder verwendet worden sind. Der Vergleich der Ausführungsvarianten lässt eine Entwicklungsrichtung erkennen. Schliesslich decken das Studium der Originalliteratur ebenso wie das Nachvollziehen von Rechenaufgaben Schwächen der Maschinen auf. Damit werden die Gründe für deren Ablehnung zumindest in Teilen erkennbar.

Betrachtet man alle Entwürfe Sellings zu seinen Rechenmaschinen, dann lassen sich drei deutlich voneinander abgegrenzte Varianten in der Ausführung unterscheiden, die wir die erste, zweite und dritte Bauart nennen. Der vorliegende Aufsatz behandelt nur die erste Bauart, mit der Selling die Arbeiten an seinen Rechenmaschinen auch begonnen hat.

Von der Rechenmaschine erster Bauart wurden etwa dreissig Maschinen¹ im Mathematisch-Mechanischen Institut von Max Ott in München und Würzburg² angefertigt und vertrieben. Die Produktion endete 1898 mit dem Tod von Max Ott³. Von diesen etwa dreissig Maschinen sind nach Kenntnis des Verfassers bis heute nur zwei Exemplare erhalten geblieben. Beide werden als gehütete Schätze im Deutschen Museum München und in der Rechenmaschinensammlung des Braunschweigischen Landesmuseums aufbewahrt und stehen für Untersuchungen oder gar Proberechnungen nicht

¹ Angaben des Deutschen Museums [1].

² Im Bild einer Maschine (Bild 1 oben) ist am vorderen Rahmenteil ein Schild angebracht auf dem zu lesen steht ‚Max Ott, Würzburg, D.R.P. 39634‘.

³ Angaben bei Halkowich [6].

zur Verfügung. Wir sind daher auf historische Beschreibungen und Abbildungen von Maschinen angewiesen.

Die ersten und umfassendsten Beschreibungen finden wir in:

- Deutsches Reichs-Patent 39634 v. 16. April 1886
(E.Selling: Rechenmaschine) [18]
- Selling, E.: Eine neue Rechenmaschine. Berlin 1887 [17]
- Poppe, A.: Sellings Rechenmaschine. 1889 [14]
- US Patent 420667, February 4, 1890
(E. Selling: Calculating-Machine) [21]

Für unsere Erläuterungen haben wir im wesentlichen auf diese Quellen zurückgegriffen.

Nach einem Vergleich der o. a. Quellen stellt sich heraus, dass es im kurzen Zeitraum von nur einigen Jahren mehrere Änderungen in den Entwürfen, mit Sicherheit auch unterschiedliche Ausführungen der hergestellten Maschinen erster Bauart gegeben hat. Zwei Maschinen, die wir vergleichen können – die eine gezeigt in Dingers Polytechnischem Journal⁴ (Bild 1) und der Prototyp im Deutschen Museum (Bild 3) – weisen deutliche Unterschiede auf.

Bei der Ausarbeitung dieses Aufsatzes war daher eine Auswahl zu treffen, die nur das Wesentliche und Charakteristische an dieser Maschine herausarbeitet und dabei ein Überladen mit Details vermeidet.

Wir werden im folgenden die Baugruppen der Maschine und deren Funktionen erläutern, dann einige Rechenbeispiele nachvollziehen und schließlich eine Bewertung unserer gewonnenen Erkenntnisse vornehmen.

⁴ Dieses Bild der Maschine erster Bauart wurde nach einer Fotografie gefertigt und lässt daher, wie schon das Fabrikschild zeigt, Detailtreue erwarten. Die Maschine war 35 cm breit, 40 cm lang und 15 cm hoch. Sie kostete 400 Mark. Das Bild wurde in den folgenden Jahren mit weniger Details immer wieder verwendet, so etwa bei Dyck 1892 [2] (vgl. auch Anhang 3), Meyers Konversations-Lexikon von 1907 [11], Mayer 1908 [10], Halkowich 1911 [6], Galle 1912 [5], Martin 1925 [8]. Die Beschreibungen in den genannten Schriften fassen die Funktion der Maschine nur summarisch zusammen. Die letzte uns bekannte Beschreibung, allerdings nur mit einer Prinzipskizze, gibt Rehbock 1927 [15].

Wer sich intensiver mit Themen befassen will, die im Hauptteil dieses Aufsatzes nur angesprochen werden, findet im Anhang weiteres Material.

Zunächst sollten wir die Frage beantworten, wer Eduard Selling war und warum er vorhatte, eine Rechenmaschine zu entwerfen.

Der Erfinder und sein Vorhaben

Eduard Selling (1834 - 1920) wurde 1860 zum a. o. Professor der Mathematik an der Universität Würzburg ernannt und 1879 Konservator der astronomischen Anstalt. Er lehrte bis 1906 [9]. Zu seinen Arbeiten gehörten u.a. Schriften über Probleme des Versicherungswesens.

Bei seinen Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit des allgemeinen ,Unterstützungsvereines für die Hinterlassenen der bayerischen Staatsdiener und der mit demselben verbundenen Töchterkasse‘ wurden zum ersten Mal Tabellen der ,Überlebensrenten der Kinder über beide Eltern‘ berechnet und benutzt. Die Berechnung der vielen Tabellen dauerte zwei Jahre [14]. Zu diesen Arbeiten verwendete Selling die Rechenmaschine von Thomas⁵, deren Eigenschaften er eingehend kennen lernen konnte.

In seiner Schrift [17] zählt er zunächst alle historischen Rechenmaschinen einschliesslich der von Thomas auf und kritisiert dann : *„Alle diese Rechenmaschinen und die vielen anderen seit zwei Jahrhunderten vorgeschlagenen oder ausgeführten leiden an der Ungleichmässigkeit der Widerstände. Man strebte dieselbe zu mildern, aber man konnte sie nicht beseitigen, so lange man nicht das im Wesentlichen immer gleich gebliebene Prinzip der Bildung der Theilproducte sowohl als der Zehnerübertragung zu verlassen durch Erfindung neuer Principien in Stand*

⁵ Die Maschine von Thomas war die erste industriell in Serie gefertigte Rechenmaschine. Zum besseren Verständnis der Bemerkungen Sellings ist diese Rechenmaschine in Anhang 5 genauer beschrieben.

gesetzt war. Durch den Wechsel und die zweitweise Häufung der Widerstände war feiner Bau und rascher Gang der Maschine ausgeschlossen.“ Er ergänzt *„Bei ihr muss für jede Multiplikatorziffer sooft eine Kurbel umgedreht werden, als die Ziffer angiebt, was Zeit erfordert, den Geist durch mangelnde Beschäftigung zerstreut oder verdummt“* .

Poppe [14] schreibt über Selling: *„Unwillkürlich drängte sich ihm die Frage auf, ob es denn nicht möglich sei, die Construction des Arithmometers mit ihrer intermittirenden, stoßenden und rasselnden Bewegung, durch eine solche von gleichmäßigem, sanftem und geräuschlosem Gange zu ersetzen.“*

Einen weiteren Mangel der bekannten Maschinen sieht Selling im Fehlen der Möglichkeit, während der Berechnungen Einstellungen oder Zwischenergebnisse abdrucken zu können (von ihm *„automatische Copirung“* genannt).

Neben dieser Kritik an technischen Unzulänglichkeiten geht Selling auch von einem Bedarf an Rechenmaschinen aus, der grösser ist als die Anzahl verkaufter Thomas-Maschinen annehmen lässt:

„Es wurden, im Vergleich mit dem Bedürfniss ein klägliches Resultat, in den Jahren 1821 bis 1865 fünfhundert, 1865 bis 1878 tausend Maschinen verkauft (nach Dingers Polytechnisches Journal für 1879). Diese Maschine war zu allgemeiner Verbreitung viel zu theuer und in der späteren Zeit auch weniger sorgfältig gearbeitet.“

Käufer sollen technisch-wissenschaftliche Institutionen oder das Banken- und Versicherungsgewerbe ebenso wie Kaufleute sein:

„Der Verfasser hofft, dass diese Maschine sich als Gehilfe für die Rechnungen nicht nur der großen Geldinstitute, Staatsverwaltungen und wissenschaftlichen Anstalten einführen wird, welche bisher schon die Thomasi-sche oder ähnlichen Maschinen benutzen, sondern auch je in der geeigneten Größe und Anordnung bei der Mehrzahl der Kaufleute, Techniker und größeren Gewerbetreibenden und bei allen Verwaltungsämtern.“

Damit ist das Vorhaben klar definiert: Selling will seine Rechenmaschine zu einem niedrigeren Preis anbieten als die von Thomas und er will vor allem deren Nachteile, wie er sie zu erkennen meint, vermeiden. Aus technischer Sicht soll eine neue universell einsetzbare Rechenmaschine entwickelt werden mit einem Rechengetriebe, das die Teilprodukte beim

Multiplizieren wie auch die Zehnerüberträge in kontinuierlicher Bewegung, ohne Häufung von Widerständen und zudem leise ausführt.

Hinsichtlich des Zehnerübertrags denkt Selling dabei an Additionsmechanismen ähnlich einer Uhr oder vergleichbarer Zählwerke, deren Zeiger sich kontinuierlich und in einem festen Übersetzungsverhältnis zueinander bewegen. Gestärkt wird Selling in seinen Vorstellungen durch eine Bemerkung von Leibnitz, der eine Maschine ohne Rotationsbewegung („*sine rotis*“) für erstrebenswert gehalten hatte.

Selling liess seine Multipliziermaschine erster Bauart im Jahr 1886 in Deutschland patentieren, eine Schrift dazu, aus der wir bereits zitiert haben, veröffentlichte er 1887. Weitere ausländische Patente folgten. Das deutsche Patent und seine Schrift sind vom Inhalt her sehr ähnlich. Erwähnt werden muss, dass Selling darin auch ein neues System der Darstellung von Zahlen vorschlägt. Passend zu diesem System wurde der Prototyp der Multipliziermaschine erster Bauart gebaut. Diesen sehr ungewöhnlichen Vorschlag Sellings und die Maschine hierzu erläutern wir in Anhang 1 und 2.

Bevor wir mit der Beschreibung der Baugruppen und deren Funktion beginnen ist es für ein besseres Verständnis vorteilhaft, zunächst allgemein auf das Multiplizieren mit mechanischen Rechenmaschinen einzugehen.

Das Multiplizieren mit mechanischen Rechenmaschinen

Die von Selling angesprochene Thomas-Maschine ist sowohl für das Addieren oder Subtrahieren als auch für Multiplikations- und Divisionsaufgaben eingerichtet. Multiplikationen und Divisionen werden als wiederholte Additionen bzw. Subtraktionen ausgeführt. Die Rechenaufgabe 246×13 mit der Maschine entspräche beispielsweise in ihrem Ablauf der Notation

$$\begin{array}{r}
 246 \\
 + 246 \\
 + 246 \\
 + 246 \\
 \hline
 3198
 \end{array}$$

Drei Drehungen an der Kurbel addieren die eingestellte Zahl 246 dreimal in ein Ergebniswerk, welches das Ergebnis anzeigt. Insoweit besteht kein Unterschied zu einer Addiermaschine. Das Ergebniswerk lässt sich jedoch relativ zur eingestellten Zahl seitlich verschieben. Dadurch kann, wie in obigem Bild angedeutet, zusätzlich mit nur einer Kurbeldrehung das Zehnfache von 246 zum bisherigen Ergebnis addiert werden. Alle Rechenmaschinen dieser Bauart, zu ihnen gehört die Thomas-Maschine, sind demnach auch für das Multiplizieren oder Dividieren eingerichtet. Weitergehende Erklärungen zur Thomas-Rechenmaschine gibt der Anhang 5.

Man darf jedoch Rechenmaschinen, die auch für das Multiplizieren eingerichtet sind, nicht mit Multipliziermaschinen, die zuweilen auch *reine* oder *eigentliche* Multipliziermaschinen genannt werden, verwechseln. Diese arbeiten völlig anders. Da auch die Maschinen von Selling zu den Multipliziermaschinen gehören führen wir diese Art des maschinellen Multiplizierens ebenfalls vor.

Im nachfolgenden Bild ist die Berechnung des Produkts 246×3 dargestellt, wie wir diese Aufgabe üblicherweise ohne eine Rechenhilfe lösen würden.

$$\begin{array}{r}
 246 \times 3 \\
 \hline
 18 \\
 12 \\
 6 \\
 \hline
 738
 \end{array}$$

Zunächst werden alle Teilprodukte des einen Produktfaktors (hier 3) mit den Ziffern des zweiten Produktfaktors (hier 246) gebildet und stellenrichtig niedergeschrieben. In unserem Beispiel treten die Teilprodukte

$$3 \times 6 = 18,$$

$$3 \times 4 = 12 \quad \text{und}$$

$$3 \times 2 = 6.$$

auf. Sodann werden, rechts beginnend, alle Ziffern in einer Spalte addiert und das Ergebnis niedergeschrieben. Falls eine der Additionen 10 erreicht oder überschreitet wird nur die Einerziffer des Ergebnisses niedergeschrieben und der Zehner zur nächsten linken Spalte addiert. Dieser zusätzliche Schritt wird Zehnerübertrag genannt. Die Ergebnisse aller Teiladditionen ergeben die gesuchte Zahl.

Soll diese Art des direkten Multiplizierens maschinell nachgebildet werden sind vier Arbeitsschritte notwendig:

1. die Bildung aller notwendigen Teilprodukte,
2. die stellenrichtige Anordnung und
3. die Addition dieser Teilprodukte sowie,
4. falls erforderlich, das Ausführen aller notwendigen Zehnerüberträge.

Die folgenden Abschnitte erläutern wie die Maschine von Selling diese Arbeitsschritte im Zusammenwirken ihrer Baugruppen ausführt.

Die Multipliziereinrichtung

Zum Erzeugen der Teilprodukte verwendet Selling eine Gelenkkette, die auch unter dem Namen *Nürnberger Schere* bekannt ist (vgl. Bild 4, ein kleineres Bild mit roter Markierung zeigt für alle Baugruppen deren Lage in der Maschine an). Sie besteht aus je zwei X - förmig angeordneten Stäben, die in ihrer Mitte gelenkig miteinander und an ihren Stabenden mit anderen Stäben gleicher Anordnung verbunden sind. Solche Gelenkketten

findet man heute noch an Scherengittern und zuweilen bei Hub- oder Arbeitsbühnen⁶.

Wir betrachten im weiteren eine Gelenkkette mit neun rautenförmigen Elementen bzw. zehn Gelenken in der Mitte. Letztere sind von unten nach oben mit 0 bis 9 bezeichnet.

Hält man das Gelenk 0 fest und verlängert die Kette am Gelenk 9 um die Strecke L , dann bleibt das Gelenk 0 in Ruhe⁷, aus ihrer ursprünglichen Position bewegen sich

- das Gelenk 1 um die Strecke $L / 9$,
- das Gelenk 2 um $2 \times L / 9$,
- das Gelenk 3 um $3 \times L / 9$ und so fort.

Allgemein ausgedrückt:

- das Gelenk k bewegt sich um die Strecke⁸ $k \times L / 9$.

Die genannten Verschiebungen der Gelenke ergeben sich aus der Symmetrie der Kette vor und nach der Bewegung.

Multiplizieren kann man mit der beschriebenen Bewegung der Gelenkkette noch nicht. Das wird erst möglich, wenn man, wie in Bild 4 beim Masspfeil zu L angedeutet, die Kette am Gelenk 9 nicht um die ganze Strecke L , sondern nur um Neunteile, also etwa ein Neuntel, zwei Neuntel usw. von L verlängert.

Bei einer Verlängerung des Gelenkes 9 um $n \times L / 9$ (mit $n = 1, 2, \dots, 9$) bewegen sich

- das Gelenk 1 um ein Neuntel von $n \times L / 9$,
- das Gelenk 2 um zwei Neuntel von $n \times L / 9$ und so fort.

Allgemein ausgedrückt:

- das Gelenk k bewegt sich um die Strecke $k \times n \times L / 81$.

Mit anderen Worten: verlängert man die Gelenkkette um n Neuntel von L , dann ist die Verschiebung des Gelenkes k proportional zum Produkt $k \times n$.

⁶ Einen historischen Überblick zur Nürnberger Schere gibt Feldhaus [4].

⁷ Diese Feststellung scheint unnötig zu sein, sie bekommt aber bei der Anwendung der Vorrichtung zum Multiplizieren ihre Bedeutung.

⁸ Für eine andere Anzahl von Elementen gelten diese Angaben, mit anderen Bruchteilen von L , ebenso.

Die Strecke L kann vom Konstrukteur der Maschine in Grenzen frei gewählt werden. Ist sie aber einmal festgelegt, dann müssen ihre Teilungen sowie alle anderen Bauteile, die für das Rechnen von Bedeutung sind, in ihren Abmessungen auf diese Strecke bezogen werden. Andernfalls liefert die Maschine falsche Ergebnisse. Die Strecke L bzw. $L / 81$ ist daher eine maschinenspezifische Konstante. Frei wählbar bleiben die ganzzahligen Zahlenwerte 0 bis 9 für die Gelenknummer k sowie die ganzzahligen Zahlenwerte 1 bis 9 für die Anzahl n der Neunteile von L . Dies bedeutet, dass sich mit den beiden Eingangsgrößen Verlängerung der Gelenkkette und Gelenknummer das Kleine Einmaleins von 0×1 bis 9×9 in der Verschiebung des betrachteten Gelenkes darstellen lässt.

Tragendes Gestell der Rechenmaschine ist ein rechteckiger Rahmen, in dem ein zweiter kleinerer Rahmen nach links und rechts verschoben werden kann. In diesen zweiten Rahmen, auf dessen Zweck wir später eingehen, sind die Gelenkketten eingebaut. An Stelle einer einfachen Gelenkkette werden zwei parallel angeordnete verwendet⁹, die für bessere Stabilität mehrfach in sich gekreuzt sind. Die unbeweglichen Gelenke 0 sind am Rahmen fixiert. Die für das Multiplizieren massgeblichen Gelenke sind mittels Querstäben verbunden. So kann deren Verschiebung leichter abgegriffen werden. Die Funktion der Gelenkketten zum Multiplizieren bleibt mit diesen Änderungen erhalten. Es ist deshalb zulässig von nur einer Gelenkkette zu sprechen.

Über den Querstäben und im rechten Winkel dazu sind mehrere Tastenkörper nebeneinander angebracht. Jeder trägt nur eine Tastenreihe der Ziffern 0 (unten) bis 9 (oben). Alle Tastenkörper zusammen bilden die Tastatur und werden auch *Claviatur* genannt.

Zu Beginn einer Rechnung ist die Gelenkkette im zusammen geschobenen Zustand. Drückt man eine Taste¹⁰ dann fährt ein Stift nach unten aus, verbindet diesen Tastenkörper mit dem entsprechenden darunter liegenden

⁹ Senkrecht eingebaut im Prototyp, waagrecht oder senkrecht im DRP [18] und bei Selling1 [17], waagrecht in DPJ [14] und im US-Pat. [21].

¹⁰ Tasten bei DPJ und im US-Patent, Stifte bzw. Nägel im DRP und bei Selling1. Für die Stifte gibt es einen Hilfsapparat, der das Einsetzen einer vorgegebenen Zahl erleichtern soll.

Querstab und rastet ein. Sollte zuvor schon eine Taste gedrückt gewesen sein wird deren Arretierung gelöst und sie springt wieder nach oben. Diese Einrichtung verhindert dass am selben Tastenkörper zwei Stifte gleichzeitig ausgefahren sind. Andernfalls würde die Maschine bei der nachfolgenden Bewegung blockieren und eventuell beschädigt werden.

Das frei bewegliche Ende der Gelenkkette ist an einem Querstab montiert, der auch den für die Maschine charakteristischen Ring trägt. Schiebt man diesen Ring nach vorn, also vom Bediener der Maschine weg, dann wird die Gelenkkette verlängert und jeder Tastenkörper wird von seinem Querstab, mit dem er verbunden ist, mitgenommen. Bild 2 zeigt einen solchen Zustand. Gleichzeitig schiebt jeder Tastenkörper eine Zahnstange unter das Zählwerk im rückwärtigen Teil der Maschine. Die Querstange des Ringes kann in verschiedenen Stellungen einrasten.

Für die Multiplikation einer mehrstelligen mit einer einstelligen Zahl wird zunächst von rechts nach links jede Ziffer der mehrstelligen Zahl auf einem Tastenkörper eingetippt. Der Benutzer schiebt sodann den Ring zur Verlängerung der Gelenkkette nach vorn und rastet ihn in einer Stellung wieder ein, die dem zweiten einstelligen Produktfaktor¹¹ entspricht. In dieser neuen Stellung ist jede Zahnstange um eine Strecke verschoben worden, die zum Teilprodukt aus der zugehörigen Ziffer mit dem einstelligen Produktfaktor proportional ist.

In diesem Zustand der Maschine sind alle Teilprodukte gebildet und stellenrichtig angeordnet, sie müssen noch zusammen gezählt werden. Diese Aufgabe erledigt das Zählwerk.

¹¹ Fünf Positionen bei Selling1 und im DRP weil diese Maschine wegen der geänderten Zahlendarstellung eine andere Bewegung der Gelenkkette als bisher beschrieben aufweist (vgl. Anhang 2). Neun Stellungen für die einstelligen Produktfaktoren 1 bis 9 werden ebenfalls vorgeschlagen.

Die Maschine in DPJ besitzt nur fünf Stellungen für die Zahlen 1 bis 5. Damit soll eine allzu grosse Baulänge der Maschine und damit verbunden ein langer Verschiebeweg der Gelenkkette vermieden werden. Der Nachteil besteht darin, dass Multiplikationen mit Zahlen über 5 in zwei Operationen auszuführen sind, beispielsweise

$$z \times 8 = z \times 5 + z \times 3 \quad \text{oder} \quad = z \times 4 + z \times 4 \quad \text{oder} \quad = z \times 10 - z \times 2.$$

Die Maschine im US-Pat sieht neun Stellungen für die Zahlen 1 bis 9 vor.

Das Zählwerk

Das Zählwerk ist im rückwärtigen Teil der Maschine angeordnet, direkt über den verschieblichen Zahnstangen (Bild 5).

Auf einer horizontalen Achse sind abwechselnd nebeneinander ein grosses Zahnrad und eine Zahlenscheibe drehbar gelagert. Während einer Rechnung werden die grossen Zahnräder von den Zahnstangen bewegt (in Bild 5 unten im Querschnitt mit Z gekennzeichnet). Jede Zahlenscheibe steht für eine Stelle bzw. Ziffer im Ergebnis. Am Umfang der Zahlenscheiben sind die Zahlenfolgen 0, 1,..., 9 vier mal hintereinander aufgetragen. Jede Zahl steht in einem Feld, das mit einem Querstrich deutlich von den benachbarten Feldern abgesetzt ist.

Die Verbindung zwischen einer Zahlenscheibe und ihrem zugehörigen Zahnrad erfolgt über einen Planetensatz (in Bild 5 unten rot markiert). Diese Konstruktion ist neben der Gelenkkette zum Multiplizieren die zweite herausragende Erfindung Sellings. Die Welle des Planetensatzes ist in einem grossen Zahnrad drehbar gelagert und trägt auf jeder Seite ein kleines Zahnrad. Die letzteren kämmen mit Zahnrädern, die an den Zahlenscheiben fest angebracht sind, im Verhältnis 1:1 (zur rechten Zahlenscheibe) und 1:10 (zur linken Zahlenscheibe). Die Welle des Planetensatzes dreht sich und wird dabei gleichzeitig von ihrem grossen Zahnrad mitgenommen. Die Zahlenscheibe rechts neben der rechten ist durch ein fixiertes kleineres Zahnrad ersetzt¹².

Mit dem beschriebenen Aufbau besitzt das Zählwerk eine ganz besondere Eigenschaft:

jede Zahlenscheibe addiert zu ihrer bereits vorhandenen Anzeige sowohl das Teilprodukt ihrer Zahnstange als auch ein Zehntel der Addition an der rechts stehenden Zahlenscheibe.

Die Bewegungen erfolgen gleichzeitig und stetig. Das Hinzufügen des Zehntelwertes aus der rechten Zahlenscheibe ist das Äquivalent zum Zehnerübertrag, der hier ohne Unterbrechung und nicht springend wie bei Thomas ausgeführt wird. Man nennt diese Art des Zehnerübertrags daher

¹² Die ausführliche Erklärung des Zählwerks in DPJ ist in Anhang 4 wiedergegeben.

auch *schleichend*. Die Kontinuität der Bewegung war eines von Sellings Zielen.

Der Übertrag von einem Zehntelwert auf die nächste Zahlenscheibe hat notwendigerweise zur Folge, dass an den Zahlenscheiben nicht nur ganzzahlige Werte sondern auch Bruchteile angezeigt werden. Zum Ablesen des Ergebnisses im Zählwerk ist daher ein dünner Indexfaden über den Zahlenscheiben angebracht. Es gilt die Regel,

dass auf einer Zahlenscheibe diejenige Ziffer zu lesen ist, deren Feld vom Indexfaden geschnitten wird oder deren Feld genau oberhalb des Indexfadens liegt.

Bild 5 oben rechts zeigt eine Stellung der Ziffernräder, die als 00738 zu lesen ist.

Die Anzeige von Bruchteilen bringt mit sich, dass die Ziffern des Ergebnisses nicht auf gleicher Höhe stehen.

Poppe sagt hierzu: *„Da das Auge gewöhnt ist, jedes Rechnungsergebnis in einer Reihe geordnet zu sehen, so könnte jene Abweichung aus der Richtung neben einem gewissen Gefühle der Unsicherheit ein ästhetisches Bedenken erregen. Der vorurtheilsfreie Rechner wird sich aber, sobald er die Überzeugung gewonnen hat, daß jene kleine Unregelmäßigkeit auf die richtige Erkenntnis des Resultates keinen Einfluß hat, bald daran gewöhnen. Der Erfinder selbst bezeichnet diese Art der Ablesung sogar als einen Vortheil. Das Bild der Zahl sei in gewisser Weise ein organisches Gefüge, worin kein Theil ohne alle übrigen verändert werden könne. Jede Ziffer sei durch die Stellung des links vorausgehenden Zifferrades controlirt. Nachdem man sich einmal an diese Ablesung gewöhnt habe, würde man sie ungern vermissen, weil sie viel mehr das Gefühl der Sicherheit gebe, als wenn jede Ziffer nur für sich steht.“*

Man hat den Eindruck hier werde von vorne herein eine besondere Eigenart der Maschine verteidigt, die sich später tatsächlich als Mangel herausstellt¹³.

Neben den beiden wichtigsten Baugruppen Gelenkkette und Zählwerk¹⁴ besitzt die Multipliziermaschine noch weitere Einrichtungen, die wir ebenfalls ansprechen müssen.

Weitere Einrichtungen

Links neben dem Zählwerk ist ein zweites Zählwerk gleicher Bauart angebracht (Bild 6). Es wird von nur einer Zahnstange mit ihrem Tastenkörper bewegt. Für diese Einrichtung ist die Gelenkkette um weitere Rauten über die fixierten Gelenke 0 hinaus verlängert. Bewegt man die Gelenkkette zum Multiplizieren an ihrem Griff zum Zählwerk hin dann bewegen sich diese zusätzlichen Elemente vom Zählwerk weg und umgekehrt. Die Versetzung der neuen zusätzlichen Querstange entspricht derjenigen der Querstange zur Ziffer 1, nur in entgegengesetzter Richtung.

Der Tastenkörper trägt zwei oder drei Tasten, die ihn bei Betätigung entweder fixieren, mit dem Querstab der Gelenke 1 oder mit dem Querstab der zusätzlichen Elemente verbinden¹⁵. Damit ist wählbar ob sich die Zahn-

¹³ Das Zusatzpatent DRP49121 [19] hat u.a. eine Einrichtung zum Inhalt, die alle Ziffern der Anzeige auf gleiche Höhe bringen soll. In einer weiteren Bauart der Multipliziermaschine ersetzt Selling das Zählwerk mit Rädern vollständig durch kinematische Elemente, die die Ergebnisziffern in einer Reihe zeigen sollen. Die Umsetzung dieses Entwurfes misslingt.

¹⁴ Es sei darauf hingewiesen, dass die Gelenkkette und das Zählwerk analoge Mechanismen sind, die mit vorgegebenen Raststellungen der Gelenkkette in einer digitalen mechanischen Rechenmaschine verwendet werden.

¹⁵ Verschiedene wahlweise Ausführungen bei Selling1 und im DRP, zwei Tasten (gleichläufig – gegenläufig) in DPJ, drei Tasten (gleichläufig – fixiert – gegenläufig) im US-Pat.

stange in Richtung mit der Multipliziereinrichtung bewegt oder gegenläufig oder ob sie unbeweglich bleibt.

Der Zweck der Einrichtung besteht darin, dass die mit dem Verschieben der Gelenkkette eingebrachten einstelligen Produktfaktoren auf diesem zweiten Zählwerk angezeigt werden und zwar mit positiven Werten, unabhängig von der Verschieberichtung der Gelenkkette selbst.

Das System der Gelenkkette und die beiden Zählwerke sind in einen beweglichen Rahmen eingebaut (in Bild 4 oben rechts ist seine Lage angezeigt). Dieser Rahmen ist an einer Querstange vor dem Benutzer beweglich gelagert und kann sowohl gehoben oder gesenkt, also um diese Querstange gekippt, als auch seitlich verschoben werden.

Durch Heben oder Senken des Rahmens¹⁶ können die Zahnstangen in Eingriff mit den Zahnrädern des Zählwerks gebracht oder von diesen gelöst werden. Das seitliche Verschieben des Rahmens ist natürlich nur möglich wenn die Zahnstangen ausser Eingriff sind. Definierte Stellungen des Rahmens¹⁷ geben vor, welche Zahnstangen welche Ziffernräder des Zählwerks beeinflussen.

Beide Zählwerke tragen aussen Löscheinrichtungen, damit deren Anzeige wieder auf Null gestellt werden kann. Auf diese Löscheinrichtungen im einzelnen einzugehen halten wir für nicht erforderlich.

Eine weitere Einrichtung an den Zählwerken verhindert ein Drehen der Zahnräder, wenn sie mit den Zahnstangen nicht in Eingriff sind. Selling verwendet hierzu keine Federn weil er, wie schon erläutert, generell Bewegungswiderstände im Rechenwerk zu vermeiden sucht.

Am Umfang der Ziffernräder sind die Zahlenfolgen 0, 1, 2,..., 9 viermal hintereinander erhaben angebracht. Mit dieser Anordnung lassen sich Anzeigen des Ergebnisses, die nach vorn zum Benutzer zeigen, von hinten her

¹⁶ Der Rahmen wird von unten mit einer Feder gehoben, der Benutzer muss auf den Rahmen drücken, um ihn zu senken (Selling1) oder er wird mit Hilfe des Betätigungsringes (DRP), durch Drehen eines links angebrachten Knopfes (DPJ) oder durch Betätigen eines seitlich angebrachten Hebels (US-Pat.) gehoben und gesenkt

¹⁷ In DPJ zeigt eine quer liegende Skala die richtigen Positionen und / oder Federn rasten in Einschnitten der Querstange ein.

auch abdrucken. Die Druckeinrichtung ist eine wahlweise Ausstattung der Maschine. Das in Bild 1 links unten liegende runde Stück mit Handgriff gehört zur Druckeinrichtung. Sein Zweck bleibt unklar. Wegen technischer Schwierigkeiten wurde die Druckeinrichtung später weggelassen¹⁸.

Selling macht in seinen Beschreibungen zahlreiche zusätzliche Vorschläge, wie man ein konstruktives Problem an den Baugruppen noch auf anderen Wegen lösen könnte. Wir gehen auf diese Varianten nicht ein.

Neben der Bauart einer Rechenmaschine ist deren Kapazität eine weitere wichtige Eigenschaft. Man versteht unter der Kapazität die maximale Stellenzahl der Zahlen in der Eingabe sowie im Ergebnis. Selling macht hierzu keine Angaben, er weist vielmehr darauf hin, dass die Kapazität nach Wünschen des Kunden eingerichtet werden kann. Bilder geben Aufschluss über die Kapazität gebauter Maschinen.

Der Prototyp hat neun Tastenkörper, zwölf Stellen im Ergebnis und acht Stellen im zweiten Zählwerk, sodass der verschiebbliche Rahmen sieben oder acht Positionen besitzen muss. Für die Maschine in Bild 1 oben werden neun Tastenkörper, sieben Positionen des Rahmens und dreizehn Stellen im Ergebnis genannt. Das US-Patent macht keine Angaben, auf der Zeichnung sind neun Tastenkörper, sieben Stellen im zweiten Zählwerk und zwölf Stellen im Ergebnis zu sehen.

Mit den Kenntnissen über den Aufbau der Multipliziermaschine und das Zusammenwirken der Baugruppen können wir nun Rechenbeispiele ausführen. Sie werden zu einem noch besseren Verständnis der Maschine beitragen.

¹⁸ Die Druckeinrichtung ist beschrieben bei Selling¹ und im DRP. Sie ist vorhanden, aber nicht ausführlich beschrieben in DPJ. Im US-Pat. fehlt die Druckeinrichtung. Das Zusatzpatent DRP 49121 hat auch eine Einrichtung zum Inhalt, mit der die eingestellte Zahl ebenfalls kopiert oder zumindest kontrolliert werden kann.

Rechenbeispiele

Eine richtige Multipliziermaschine der ersten Bauart steht uns nicht zur Verfügung, das schriftliche Nachvollziehen ihrer Funktion kann sie jedoch ersetzen. Hierzu hat sich eine Notation in Tabellenform bewährt, die bei der ersten Multiplikationsaufgabe vorgestellt wird.

Multiplikation

Für die erste Multiplikationsaufgabe verwenden wir wieder das Beispiel 246×3 . Die Berechnung läuft an der Maschine in folgenden Schritten ab:

1. Löschen, d.h. auf Null Stellen, der Zählwerke,
2. Verschieben des beweglichen Rahmens ganz nach rechts,
3. Eintasten der Ziffer 6 im rechten Tastenkörper, dann der 4 und der 2 in die nächsten linken Tastenkörper,
4. Einstellen des zweiten Zählmechanismus an der linken Seite auf gleichläufig durch Betätigen der entsprechenden Taste,
5. Anheben des beweglichen Rahmens, damit die Zahnstangen in Eingriff mit dem Zählwerk kommen,
6. Verschieben der Gelenkkette bis zur Position der 3,
7. Absenken des beweglichen Rahmens,
8. Zurückführen der Gelenkkette in die Ausgangsposition.

An den Tastenkörpern sehen wir den eingetasteten ersten Produktfaktor 246, das zweite Zählwerk zeigt eine 3, das ist der zweite Produktfaktor.

Das Erzeugen aller Teilprodukte durch Eingeben einer Zahl und Verschieben der Gelenkkette ist leicht verständlich, eine Nachrechnung für dieses Bauteil daher entbehrlich, sodass nur das Simulieren des Zählwerks wünschenswert bleibt. Für die Vorgänge im Zählwerk benutzen wir die nachfolgend gezeigte Tabelle.

Die Tabelle besitzt für jede Stelle im Zählwerk eine Spalte. In einer weiteren Spalte rechts sind zur besseren Übersicht die Berechnungen als Notiz

eingetragen. Die oberste Zeile der Tabelle bezeichnet die Stellen in der Anzeige, diese Zeile kann nach einiger Übung auch entfallen. Alle nach unten folgenden Zeilen stehen für jeweils ein Teilprodukt in der Rechnung. Unser Rechenbeispiel führt zu dieser Tabelle:

ZT	T	H	Z	E	
0,0018	0,018	0,18	1,8	18	246 x 3
0,0120	0,120	1,20	12,0		
0,0600	0,600	6,00			
0,0738	0,738	7,38	3,8	8	Anzeige

Das Teilprodukt $6 \times 3 = 18$ wird in die Einerstelle des Zählwerks eingebracht. Da jede Bewegung eines Ziffernrades mit einem Zehntel in die höheren Stellen weiter gegeben wird, sind in der gleichen Zeile nach links die Zehntel 1,8...0,18 usw. eingetragen.

Das Teilprodukt $4 \times 3 = 12$ wird in die Zehnerstelle des Zählwerks eingebracht. Jeweils ein Zehntel des Wertes eines Ziffernrades wird an das nächste Ziffernrad links weiter gegeben.

Das Teilprodukt $2 \times 3 = 6$ schliesslich wird in die Hunderter-Stelle des Zählwerks eingebracht. Auch hier werden Zehntel an die nächsten Ziffernräder links weitergegeben.

Gleiche Stellenzahl hinter dem Komma beim Eintragen der Werte vereinfacht ihre Addition.

Zuletzt müssen alle eingetragenen Werte in einer Spalte, d.h. einer Stelle im Ergebnis, zusammengezählt werden. Die Summen stehen in der Zeile ganz unten. Genauigkeiten der Summen bis zu drei oder mehr Stellen hinter dem Komma sind theoretische Werte, die in der Praxis nicht erzielt werden können und auch nicht notwendig sind.

Beim Zusammenzählen ist zu beachten, dass es Zehner im Ergebnis einer Spalte nicht geben kann. Ein Beispiel hierzu: in der Spalte der Einerstelle steht das Teilprodukt 18. Auf den Ziffernrädern sind die Ziffernfolgen 0, 1,..., 9 vier mal hintereinander angebracht. Der Wert 18 bewirkt, dass das Ziffernrad sich über die 9 der ersten Zahlenfolge hinaus bewegt und bei der 8 der zweiten Ziffernfolge stehen bleibt. Der Zehner von 18 wird also nie

angezeigt, wohl aber als Zehnerübertrag an das nächste Ziffernrad weitergegeben.

Der gleiche Fall ereignet sich in der Spalte der Zehnerstelle. Der tatsächliche Wert 13,8 wird in der Tabelle durch 3,8 ersetzt.

Die Additionen in allen Spalten sind nur hier, bedingt durch die Art der Notation, ein notwendiger zusätzlicher Schritt. Tatsächlich kann das Zählwerk, wie schon beschrieben, alle Teilprodukte und internen Überträge gleichzeitig addieren.

Die letzte Zeile unten in der Tabelle stellt die Anzeigen der Ziffernräder am Ende der Rechnung dar. Wie diese Anzeige tatsächlich aussieht ist in Bild 5 oben rechts wiedergegeben. Auf die Besonderheit, dass die Ziffern im Ergebnis nicht auf gleicher Höhe stehen, wurde bereits im Abschnitt über das Zählwerk eingegangen. Da beim Ablesen des Ergebnisses auf jedem Ziffernrad nur die ganzzahligen Anteile gelten (sie sind in der Tabelle rot markiert), erhält man als Ergebnis die Zahl 00738.

Multiplikationen mit einem mehrstelligen zweiten Produktfaktor erfordern nur wenige zusätzliche Arbeitsschritte an der Maschine. Als nächstes berechnen wir 246×13 .

Nachdem die Gelenkkette bis zur 3 verlängert und dann mit gesenktem Rahmen wieder zurückgezogen wurde, verschiebt man den beweglichen Rahmen um eine Stelle nach links, hebt ihn wieder an, verlängert die Gelenkkette bis zur 1, senkt den Rahmen ab und bewegt die Gelenkkette zurück.

Mit dem Verschieben des Rahmens nach links wird das Zehnfache des Produkts, das im nächsten Schritt gebildet wird, zum Zählwerk hinzu gezählt. Das Zehnfache entsteht, weil alle Zahnstangen die Ziffernräder der nächst höheren Stellen beeinflussen. Die Nachrechnung sieht wie folgt aus:

0,00018	0,0018	0,018	0,18	1,8	18	246 x 3
0,00120	0,0120	0,120	1,20	12,0		
0,00600	0,0600	0,600	6,00			
0,00060	0,0060	0,060	0,60	6,0		2460 x 1
0,00400	0,0400	0,400	4,00			
0,02000	0,2000	2,000				
0,03198	0,3198	3,198	1,98	9,8	8	Anzeige

Zum Produkt 246×3 wird nun das Produkt 2460×1 mit den Teilprodukten 6 an der zweiten Stelle, 4 an der dritten Stelle und 2 an der vierten Stelle hinzu addiert. Das Endergebnis ist wieder in der letzten Zeile der Tabelle enthalten und lautet 003198.

Das zweite Zählwerk zeigt am Ende dieser Rechnung 13, weil dessen Zahnstange nach Verschieben des Rahmens nach links in die nächst linke Stelle dieses Zählwerks eingreift.

Das letzte Beispiel zeigt nochmals und deutlich einen Mangel des Zählwerks: der Wert 1.98 an der Hunderterstelle kann für sich allein nicht abgelesen werden, zwei Hundertstel zum Trennstrich zwischen 1 und 2 sind zu klein um sofort erkannt zu werden. Die Entscheidung, welche Ziffer an der Hunderterstelle gilt, 1 oder 2, kann nur unter Beachtung der vorhergehenden Ziffernscheibe getroffen werden.

Am Prototyp der Maschine sieht man, dass die Ziffern auf den Ziffernscheiben klein ausgeführt sind. Dadurch wird das Ablesen des Ergebnisses zusätzlich erschwert.

Division

Mit einer Multipliziermaschine Divisionen ausführen ist nicht so einfach wie man zunächst vermuten würde. Der Grund lässt sich an dem sehr einfachen Beispiel $48 / 12 = ?$ zeigen. Die Multipliziermaschine setzt uns in

die Lage, in einem Arbeitsgang den Divisor¹⁹ 12 mit 1, 2, 3 usw. multipliziert vom Dividenden 48 abzuziehen. Aber genau dieser Multiplikator zu 12 (in unserem Beispiel 4) ist das gesuchte Ergebnis.

Ein Verfahren, das dieses Problem umgeht, besteht darin, das Produkt 1×12 wiederholt so lange abzuziehen, bis der Vorgang zum Ende kommt²⁰. In unserer Rechnung träte dieser Fall ein, wenn im Zählwerk 0 steht. Dann wurde 4 mal abgezogen und das ist der gesuchte Quotient. Diese Vorgehensweise wird auch für die Multipliziermaschine von Selling vorgeschlagen.

In Umkehrung einer unserer Aufgaben zum Multiplizieren berechnen wir $3198 / 246 = ?$.

Die Arbeitsschritte an der Rechenmaschine sind:

1. den Rahmen ganz nach links verschieben,
2. Zählwerk löschen,
3. von links beginnend die Zahl 3198 eintasten,
4. diese mit 1 multipliziert in das Zählwerk übertragen (d.h. Zahnstangen in Eingriff bringen, Gelenkkette auf 1 verlängern, Zahnstangen ausser Eingriff bringen, Gelenkkette zurückfahren),
5. zweites Zählwerk löschen,
6. Zahnstange des zweiten Zählwerks auf gegenläufig stellen,
7. Eintasten der Zahl 246, ebenfalls von links beginnend. Damit haben wir, schematisch und ohne die Bruchteile in der Anzeige dargestellt, die Stellung

3198000

246000

geschaffen.

8. Gelenkkette ohne Eingriff der Zahnstangen ganz nach hinten verlängern,
9. Zahnstangen in Eingriff bringen,
10. die Gelenkkette Position für Position zurückschieben bis im Zählwerk über 246 eine Zahl kleiner als diese oder 000 erscheint. In unserer Auf-

¹⁹ Dividend / Divisor = Quotient.

²⁰ Die Multipliziermaschine Millionär zieht nur einmal ab und stellt Hilfstabellen zur Abschätzung der Quotientenziffer zur Verfügung.

gabe ist dies bereits mit der nächsten Position erreicht. Schematisch dargestellt sieht der Zustand der Maschine so aus:

0738000

246000

Das zweite Zählwerk zeigt eine 1, das ist die erste Ziffer im gesuchten Ergebnis.

11. Zahnstangen ausser Eingriff bringen,

12. Verschieben des Rahmens um eine Position nach rechts, das ergibt die Stellung

0738000

0246000 .

Die weiteren Schritte der Rechnung sind Wiederholungen im Ablauf.

13. Gelenkkette ohne Eingriff der Zahnstangen bis nach hinten verlängern,

14. die Zahnstangen in Eingriff bringen,

15. die Gelenkkette Position für Position zurückschieben, bis über der 246 eine Zahl kleiner als diese oder 000 erscheint. Dieser Fall tritt in der dritten Stellung des Rahmens ein:

0000000

0246000 .

Das zweite Zählwerk zeigt rechts neben der 1 eine 3.

Das Ergebnis lautet somit $3198 : 246 = 13$ ohne Rest.

Das Zurückschieben der Gelenkkette von Position zu Position mit den Zahnstangen in Eingriff zieht jedes Mal die eingestellte Zahl 246 vom Zählwerk ab. Die Division wird also als fortgesetzte Subtraktion ausgeführt.

Addition und Subtraktion

Die Addition von Summanden wird ausgeführt, indem man jeden Summanden in der Tastatur eingibt und mit 1 multipliziert. Das Zählwerk wird zwischen den Multiplikationen nicht auf Null gestellt und zeigt die Summe an. Das zweite Zählwerk, auf gleichläufig gestellt, zeigt gleichzeitig die Anzahl der Summanden.

Rechnen wir die Addition $634 + 19 = 653$ nach:

0,0004	0,004	0,04	0,4	4	634 x 1
0,0030	0,030	0,30	3,0		
0,0600	0,600	6,00			
0,0009	0,009	0,09	0,9	9	19 x 1
0,0010	0,010	0,10	1,0		
0,0653	0,653	6,53	5,3	3	Anzeige

Subtraktionen werden ähnlich den Additionen ausgeführt. Die Zahl, von der abgezogen wird, muss bereits im Zählwerk stehen. Die Zahl, die abgezogen wird, wird mit 1 multipliziert vom Zählwerk subtrahiert.

Bewertung

Mit seiner Konstruktion hat Selling die gesetzten Ziele technischer Natur erreicht. Zahlen lassen sich mittels Tasten eingeben²¹, ungleiche Bewegungswiderstände sind weitgehend vermieden, das Rechnen erfordert auch bei unterschiedlich grossen Produktfaktoren immer nur eine einmalige Betätigung der Maschine. In der Multipliziermaschine sind Ideen von hohem Einfallsreichtum verwirklicht.

Die Maschine wird von verschiedenen Seiten gelobt, anlässlich der Weltausstellung Chicago 1893 wird sie prämiert, aber es gibt auch Kritik. Hartmann [7] schreibt: „*Leider ist das ganze Werk in constructiver Hinsicht wenig durchgebildet...Im Allgemeinen kann man nämlich sagen, dass die Fehlerquellen in kinematischer Hinsicht sich vergrössern mit der Anzahl der zur Verwendung kommenden Elementenpaare; es würde demnach*

²¹ Diese Tatsache wird in DPJ als Vorteil herausgestellt. Man sieht wohl das Einstellen einer Zahl mittels Schieber wie bei der Thomas-Maschine als nicht vorteilhaft an.

zweckmässig sein, die Nürnberger Scheeren in ihrer einfachsten Gestalt zu verwenden... Auch dürfte es zweckmässig erscheinen, die Parallelführung der Verbindungsschienen der Scheeren durch einen besonderen Mechanismus zu sichern.“

Die Frage, ob es im Betrieb der Maschine tatsächlich Probleme gegeben hat, deren mögliche Ursachen oben angedeutet sind, lässt sich nicht mehr beantworten.

Etwa dreissig gebaute Exemplare sind kein grosser Erfolg für eine Rechenmaschine, die die Maschine von Thomas ersetzen soll. Die Frage nach den Ursachen stellt sich. Eine qualifizierte feinmechanische Werkstatt wie Ott hatte mit der Herstellung sicher keine Probleme. Die Gründe für die geringe Verbreitung müssen an anderer Stelle liegen.

Wir sehen einen Grund darin, dass in Sellings Arbeiten ganz klar eine Tendenz zu erkennen ist, die seinem Interesse an der Maschine den Vorzug gibt und den Benutzer so gut wie unbeachtet lässt.

Allein schon der Vorschlag, eine neue Schreibweise für Zahlen einzuführen, zeigt, dass Selling wie selbstverständlich beim Benutzer einen sehr hohen Ausbildungsstand voraussetzt, damit diese Idee realisiert werden kann. Der damit verbundene Mehraufwand an intellektueller Arbeit bleibt unberücksichtigt, obwohl die Rechenmaschine gerade diese Arbeit vermindern soll. Selling übersieht aus seiner Sicht des Mathematikers und Theoretikers völlig, dass Zahlzeichen, Zahlwörter, der Umgang mit Zahlen generell zum primären Kulturgut gehören, das bereits in der Kindheit eingeübt wird und sich nur schwer umstellen lässt.

Das Ablesen der Ergebnisziffern, klein und auf unterschiedlicher Höhe, erfordert durchgehend hohe Konzentration und ist mit Sicherheit auch nach Einübung fehleranfälliger als das Ablesen von Ergebnisziffern ohne Bruchteile. Selbst nach Kritik der Kunden hält Selling an der Ausführung dieser Baugruppe fest. Er schreibt im Zusatzpatent [19]: *„Der Erfinder hält es zwar auch jetzt noch für einen Vorzug seiner Maschine, dass der Indexfaden im allgemeinen nicht bei den Theilstrichen der Zifferräder selbst liegt... Es wollen jedoch zahlreiche Besteller mit Rücksicht namentlich auf weniger intelligente Hülfсарbeiter auch die Möglichkeit haben, die resultierenden Zahlen bei der Ablesung oder wenigstens in der*

automatischen Copie in der Form der gewöhnlichen Schrift mit in gleicher Höhe stehenden Ziffern zu erhalten.“

In diesem Zitat ist noch ein weiterer Vorschlag Sellings angesprochen, den er schon von Anfang an macht: ‚einfachere‘ Arbeiten wie etwa das Eingeben der Zahlen könnten von Hilfspersonen ausgeführt werden. Wenn ‚weniger intelligente Hilfsarbeiter‘ Schwierigkeiten mit der Ablesung haben dann zeigt diese Formulierung, wie Selling die Benutzer seiner Maschine einschätzt.

Gleichermassen setzt die Bedienung der Maschine ständige Konzentration voraus. Das Bewegen der Gelenkkette erfordert gleichzeitig die Umsetzung und Überwachung dreier Parameter: die Richtung der Bewegung, die Strecke der Verschiebung und das Heben oder Senken des Rahmens. Dass die Bedienung der Maschine keinesfalls einfach ist sieht auch Poppe: *„Daß die Einübung auf den Dienst der Selling’schen Rechenmaschine mehr Zeit als die Erlernung der Handhabung des Arithmometers erfordert, ist nicht in Abrede zu stellen. Hat man aber einmal eine gewisse Fertigkeit in den Handgriffen und Sicherheit in ihrer Aufeinanderfolge erlangt, so führt sie rascher zum Ziele, als der Arithmometer.“*

Letztendlich mag ein weiterer Grund darin gelegen haben, dass die Rechenmaschine nie ihren Charakter des Provisoriums, als eine Art unfertiges Laborgerät, abgelegt hat. Wie man sich leicht selbst überzeugen kann erscheint sie dem Betrachter zu filigran für andauernden Gebrauch. Wir können mit einiger Berechtigung annehmen, dass dadurch der eine oder andere potenzielle Käufer abgehalten wurde.

Sellings Überlegungen und Ziele sind einseitig auf die Umsetzung seiner Ideen in der Maschine selbst und nicht auf deren Akzeptanz beim Käufer ausgerichtet. Er stellt zu hohe Ansprüche an die Benutzer und verhindert dadurch die angestrebte weite Verbreitung der Maschinen.

Völlig zufrieden ist Selling mit seiner Rechenmaschine noch nicht. Er nimmt sich nochmals des Zählwerks an und entwirft eine neue Bauart, die ganz ohne Räder auskommt.

Anhang 1: Sellings Vorschlag für ein neues Zahlensystem

Diesen Vorschlag erläutert Selling sowohl in seiner Schrift über die Maschine erster Bauart als auch in der Patentschrift.

Er besteht darin, dass für die Darstellung einer Zahl nicht nur Ziffern mit positiven Werten sondern auch Ziffern mit negativen Werten verwendet werden. Selling verweist auf das Lateinische und andere Sprachen, welche Rückzählungen kennen. So ist etwa lat. *IIIX* gleichbedeutend mit $10 - 2 = 8$.

Man könnte also beispielsweise schreiben

$234 = 2 \times 100 + 3 \times 10 + 4$ wie bisher, aber auch

$4n3 = 4 \times 100 - n \times 10 + 3$

wobei n hier zunächst allgemein für eine Ziffer mit negativem Wert stehen soll.

Selling will die Ziffern 1 bis 5 sowohl mit positiven als auch mit negativen Werten belegen. Da in unserem Dezimalsystem negative Ziffern in Zahlen nicht vorkommen braucht Selling hierfür sowohl neue Zahlzeichen als auch neue Zahlwörter. Die folgende Tabelle fasst Sellings aussergewöhnlichen Ideen hierzu zusammen:

①	②	③	④	⑤
$\bar{1}$	l	snie	missein	abein
$\bar{2}$	z	jes	mizwei	abzwei
$\bar{3}$	ε	jerd	midrei	abdrei
$\bar{4}$	tv	reff	mivier	abvier
$\bar{5}$	ſ	niff	mifünf	abfünf

Er markiert die negativen Ziffern anfangs mit einem Strich darüber (Spalte 1), hält dann aber die alten Zahlzeichen um 180° gedreht für besser (Spalte 2).

Als neue Zahlwörter möchte er zunächst die gebräuchlichen verkehrt herum lesen (Spalte 3), hat aber Bedenken und verwendet die alten Zahlwörter mit den Vorsilben *mi(s)* oder *ab* um damit das Subtraktive auszudrücken (Spalten 4 und 5). Er schreibt:

„Ich dachte daran, mit dem Bewußtsein damit das Entsetzen jedes Sprachforschers hervorzurufen, entsprechend den Ziffern auch die Worte eins, zwei,.. umzukehren... Ich glaube jedoch, dass sich der Genius der Sprache solcher Willkür nicht unterwirft und beschränke mich darauf, dem Begriff minus durch eine Vorsilbe auszudrücken, welche in den mir bekannten lebenden Sprachen gleiche Bedeutung hat...“

Selling gibt Regeln für das Schreiben, Aussprechen und Umrechnen der neuen Zahlen, die der Benutzer der Rechenmaschine natürlich fehlerfrei beherrschen muss. Ein Beispiel aus vielen möge genügen:

„Statt 478 würde ich schreiben 5(-2)(-2) und sagen fünf hundert mizwanzig mizwei...“²²

Warum Selling den Vorschlag für ein neues Zahlensystem macht lässt sich aus einer Kapitelüberschrift ableiten. Sie lautet

„Von einer zweiten bei der Maschine nicht nothwendigen aber bei ihr und bei anderen Gelegenheiten nützlichen Darstellungsweise der Zahlen.“

Er hält diese Darstellungsweise für nützlich, weil das Kleine Einmaleins nicht wie bisher die Produkte bis 9x9 sondern nur bis 5x5 umfasst und Kinder sich dieses verkürzte Einmaleins leichter einprägen. An der Rechenmaschine liessen sich die Verschiebewege der Gelenke der Gelenkette verkleinern.

Andererseits räumt Selling einige Seiten weiter ein:

„Es ist nicht ausgeschlossen, untermischt mit dieser Schreibweise doch auch gelegentlich 6, 7, 8, 9 zu gebrauchen, besonders links am Anfang einer Zahl, wo dadurch eine Vermehrung der Stellen vermieden wird“.

²² $4 \times 100 + 7 \times 10 + 8 = 5 \times 100 - 2 \times 10 - 2$.

Wegen typografischer Schwierigkeiten mit gedrehten Zahlzeichen sind hier die neuen Ziffern mit Vorzeichen versehen in Klammern gesetzt. Selling verwendet diese Schreibweise nicht.

Mindestens eine Multipliziermaschine, die mit dem vorgeschlagenen neuen Zahlensystem arbeitet, wurde auch gebaut. Es ist dies der Prototyp im Deutschen Museum.

Anhang 2: Der Prototyp im Deutschen Museum

Die Multipliziermaschine erster Bauart im Deutschen Museum (Bild 3) ist für das Rechnen mit der neuen Zahlendarstellung, wie von Selling vorgeschlagen, eingerichtet. Die Gelenkketten stehen senkrecht links und rechts an der Maschine und sind über elf Querstäbe verbunden. Der mittlere Querstab ist fixiert, sodass sich bei einer Bewegung der Gelenkketten gleichzeitig alle Querstäbe von dieser Mitte weg bewegen (vgl. Bild 7, links der Zustand zusammengeschoben, rechts geöffnet.). Zu den Querstäben gehören die Ziffern (-5), (-4),..., 0, 1, 2,...5.

Mit der Verlängerung der Gelenkkette um einen Betrag, der dem zweiten einstelligen Produktfaktor entspricht, beeinflussen die Querstäbe mit positiven Ziffern das Zählwerk additiv, die Querstäbe mit negativen Ziffern das Zählwerk subtraktiv. Die Grösse ihrer Verschiebung entspricht dem Teilprodukt aus der zugehörigen Ziffer und dem zweiten Produktfaktor. Die Richtung ihrer Verschiebung gibt das Vorzeichen des Teilprodukts an. Die Verschiebung der Gelenkketten lässt nur zweite Produktfaktoren mit den Werten von 1 bis 5 zu. Grössere Produktfaktoren müssen zusammengesetzt werden.

Unser bewährtes Rechenbeispiel 246×3 muss für diese Maschine geschrieben werden als $25(-4) \times 3$, weil keine Ziffer grösser als 5 vorkommen kann. Es gilt

$$2 \times 100 + 4 \times 10 + 6 = 2 \times 100 + 5 \times 10 - 4$$

Die Zahl 25(-4) wird an der Maschine eingestellt, indem von rechts nach links die Zahnstangen mit den Querstäben -4, 5 und 2 verbunden werden. Nach dem Heben des beweglichen Rahmens werden die Gelenkketten um der Betrag 3 verschoben.

Die Nachrechnung des Zählwerks ergibt diese Tabelle:

-0,0012	-0,012	-0,12	-1,2	-12	$(-4) \times 3$
0,0150	0,150	1,50	15,0		5×3
0,0600	0,600	6,00			2×3
0,0738	0,738	7,38	3,8	8	Anzeige

Die abgelesene Zahl 00738 ist, wie schon bei der gleichen Rechnung zuvor, das gesuchte Ergebnis. Das Zählwerk gibt das Ergebnis nicht in Sellings neuer Schreibweise sondern in der üblichen dezimalen Darstellung und mit gebrochenen Werten aus.

Bei der Ergebnisanzeige in der Einer-Spalte der Tabelle ist folgendes zu berücksichtigen: das Ziffernrad bewegt sich 12 Einheiten rückwärts. Es läuft über eine vollständige Ziffernfolge 0, 9, 8,...bis 0 und dann nochmals 2 Einheiten zurück bis zur 8. Deshalb steht an dieser Stelle eine 8 im Ergebnis.

Die Kurzbeschreibung der Maschine im Ausstellungskatalog des Deutschen Museums [1] spricht die besondere Ausführung dieser Maschine an, sie könnte aber zu Missverständnissen führen. Es heisst dort, die Multiplikandenziffern müssten in einer vom Dezimalsystem abweichenden Darstellung eingegeben werden, z.B. 18 als 20-2. Gemeint ist natürlich die Darstellung der Zahl 18 als 2(-2) und nicht etwa eine abgekürzte Multiplikation²³.

²³ Von abgekürzter Multiplikation spricht man, wenn auf einer Rechenmaschine mit verschieblichem Ergebniswerk die Anzahl der Kurbeldrehungen vermindert wird. Man könnte beispielsweise rechnen (z sei eine beliebige Zahl)
 $z \times 18$ als $z \times 20 - z \times 2$,
 was fünf Kurbelumdrehungen einspart.

Anhang 3: Kurzbeschreibung der Multipliziermaschine erster Bauart

Anlässlich der Versammlung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung im Herbst 1892 in Nürnberg wurde eine Ausstellung mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente veranstaltet. Der Katalog dieser Ausstellung erschien als Buch [2].

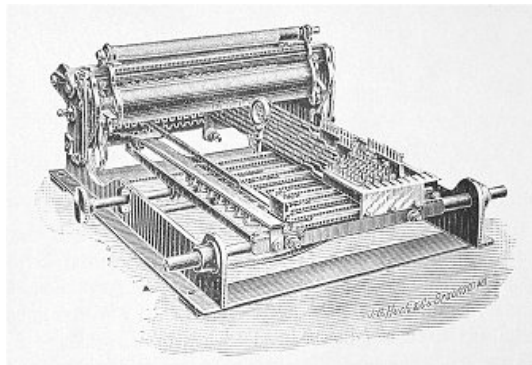
Für die ausgestellte Multipliziermaschine erster Bauart verfasste Max Ott, der Hersteller, eine Beschreibung, die hier mit Bild vollständig wiedergegeben ist:

„Rechenmaschine nach Prof. **Selling**, Univ. Würzburg, construiert von **Max Ott**, Werkstätte für Präzisionsmechanik in München.

Die Maschine verdankt ihre Entstehung der Absicht, die Mängel der Thomas'schen Rechenmaschine, – das einförmige Kurbeldrehen und die stossweise Zehnerübertragung – zu umgehen und weicht sowohl in der Theorie als auch der Construction von allen bis jetzt vorhandenen Rechenmaschinen wesentlich ab.

Sie besteht aus zwei getrennten Mechanismen, welche während des Rechnens abwechselnd mit einander in Verbindung gebracht werden, und zwar dem „Scherensystem mit Claviatur und Zahnstangen“ und dem „Zahnradsystem mit den Zifferrädern“.

Zur Herstellung der Teilproducte ist die Nürnberger Schere benützt, deren Kreuzungspunkte ihren Abstand bekanntlich proportional verändern.



Durch den Weg, welche diese Kreuzungspunkte (Multiplikand) zurücklegen, wenn die Schere um einen gewissen Abstand geöffnet oder geschlossen wird (Multiplier) werden die Teilproducte gebildet und durch die, jene Bewegung aufnehmenden Zahnstangen auf die Radsysteme übertragen. Zur Verbindung der Zahnstangen mit den betreffenden Kreuzungspunkten (Schienen), d.h. zum Einstellen des Multiplikanden, genügt ein Druck auf die Tasten der Claviatur.

Die Radsysteme, welche die Längsbewegung der Zahnstangen aufnehmen und in eine rotirende verwandeln, bestehen aus je einem zusammengehörigen Zahn- und Zahlenrad und sind sämtlich unter sich durch sog. Planetenräder (Elemente von doppelter Bewegung) mit einander verbunden, welche letztere die Zehnerübertragung vermitteln.

Entsprechend dieser continuirlichen Zehnerübertragung stehen die einzelnen Ziffern beim Ablesen nicht genau am Indexstrich, sondern sind bereits um so viele Zehntel vorgeückt, als die nächstfolgende Ziffer Einheiten hat. Durch Hochheben eines Ringes wird die Nullstellung der Räder vor Beginn der Rechnung bewirkt.

Durch die Vermeidung von Federn und Hebeln ist ein fehlerhaftes Functioniren der Maschine ausgeschlossen.“

(M. Ott.)

Anhang 4: Erklärung des Zählwerks

In DPJ wird eine ausführliche Erklärung des Zählwerks gegeben, die sich auf die Darstellung in Bild 5 bezieht. Der Text ist hier vollständig zitiert und wurde nur an den Stellen abgeändert, die im Original Verweise auf andere Abbildungen nennen.

„Angenommen nun, die Zahnstange (**Z**) ertheile dem Rade r_1 eine vollständige Umdrehung in der Pfeilrichtung, so hat sich während dieser das Planetenrad b genau einmal um a gewälzt, also mit dem Triebe c eine Umdrehung um seine Achse vollendet. Während dieser muß daher vermöge des Verhältnisses der Zähnezahle des Triebes c zu der des Rades d das Zifferrad n_1 eine rückläufige Bewegung von $1/10$ Drehung gemacht haben. Nun wird aber gleichzeitig die Achse des Räderpaares b, c vom Rade r_1 mitgenommen, eine Bewegung, welche durch das jetzt als Mitnehmer wirkende Trieb c auf das Einerrad n_1 übertragen wird. Die aus diesen beiden Bewegungen resultirende Drehung des letzteren nach der Pfeilrichtung ist also $9/10$ der Drehung von r_1 . Die Abstände der (**Raststellungen der Gelenkkette**) sind so geregelt, daß, wenn die Zahnstange (**Z**) mit dem Querstabe 1 verbunden ist, die Bewegung der Schere aus ihrer Nullstellung nach den Einschnitten I, II, III... die Ziffern 1, 2, 3,... des Einerrades genau an die Stelle der Null bringt. Das Einerrad theilt seine Drehung durch Vermittelung des Räderwerkes e, f, g, h , dessen Dimensionen denen des Räderwerkes a, b, c, d vollkommen gleich sind, auf $1/10$ reducirt, dem Zehnerade n_2 mit, und dieses wieder seine Drehung, auf gleiche Weise reducirt, dem Hunderterade n_3 u.s.w.“

Anhang 5: Die Rechenmaschine von Thomas

Im Jahr 1820 stellte der Elsässer Charles Xavier Thomas, Leiter zweier Pariser Versicherungsgesellschaften, erstmals eine von ihm entworfene Rechenmaschine vor. Diese auch *arithmomètre* (dt. *das Arithmometer*)²⁴ genannte Maschine wurde in seiner Werkstatt zunächst nur in einzelnen Exemplaren, dann aber bis zur Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert mit steigenden Stückzahlen gebaut. Sie ist die erste in Serie gefertigte Rechenmaschine.

Bis etwa 1880 blieb Thomas im wesentlichen der einzige Hersteller, der dem stetig steigenden Bedarf an Rechenmaschinen im Banken- und Versicherungsgewerbe, im Vermessungswesen und in der Wissenschaft nachkam. 1878 begann Arthur Burkhardt in Glashütte mit der Produktion von Thomas-Maschinen, die er Zug um Zug verbesserte. Weitere Firmen folgten, etwa 1895 die Firma Saxonia und 1904 die Firma Archimedes, um nur einige zu nennen. Beide stellten ebenfalls Rechenmaschinen der Bauart Thomas her.

Abgesehen von Unterschieden im Detail sind alle Thomas-Maschinen gleich aufgebaut (vgl. Bild 8). In einer horizontalen, später auch schräg montierten Bedienplatte lassen sich Einstellschieber in Schlitten bewegen, wodurch Ziffer neben Ziffer eine Zahl eingestellt wird. Oberhalb der Bedienplatte ist ein Wagen oder Lineal montiert, das seitlich verschoben werden kann und das Ergebniswerk trägt. Unter Schaulöchern des Ergebniswerkes sind Ziffernscheiben mit den Anzeigen 0, 1, usw. bis 9 drehbar angebracht. So wird das Ergebnis einer Rechnung sichtbar gemacht. Die Ziffernscheiben werden in definierten Stellungen von Federn leicht fixiert, damit sie eine Ziffer stets zentriert anzeigen.

In der Bedienplatte ist rechts eine Kurbel gelagert. Einmal Drehen an dieser Kurbel addiert die zuvor eingestellte Zahl zu der, die schon im Ergebniswerk steht. Das Übertragen der eingestellten Zahl geschieht u.a. mit Hilfe

²⁴ bairisch *der A.*, zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern *arithmos* (Zahl) und *metron* (Mass). Später hat man auch Rechenmaschinen mit anderen Rechengetrieben als Arithmometer bezeichnet.

sogenannter Staffelwalzen, die unter den Einstellschlitten drehbar gelagert sind (vgl. Bild 9). Eine Staffelwalze ist ein zylindrischer Körper, der aussen parallel zu seiner Drehachse treppenartig verschieden lange Zähne trägt. Aus technischen Gründen, die wir hier übergehen, sind die Staffelwalzen gegeneinander verdreht eingebaut.

Je nach Stellung des Einstellschiebers wird ein mit diesem verbundenes kleines Zahnrad durch eine vorgegebene Zahl von Zähnen der Staffelwalze erfasst. Die Drehung dieses kleinen Zahnrades überträgt sich auf die Ziffernscheiben im Ergebniswerk.

Weil Staffelwalzen als Rechengetriebe verwendet werden nennt man diese Art von Rechenmaschine manchmal auch *Staffelwalzenmaschine*.

Mit dem Umstellhebel links in der Bedienplatte lässt sich festlegen, ob die eingestellte Zahl zur Zahl im Ergebniswerk addiert oder von dieser subtrahiert wird.

Weitere Einrichtungen an der Maschine sind das Umdrehungszählwerk unterhalb der Schaulöcher des Ergebniswerkes, welches die Anzahl der Umdrehungen der Kurbel in jeder Stellung des Lineals zählt. Schliesslich gibt es Löscheinrichtungen, die das Ergebniswerk und das Umdrehungszählwerk löschen, d.h. auf Null stellen.

Führen wir eine einfache Rechnung mit der Maschine aus (Bild 10 links). Eingestellt sei die Zahl 246. Der Umstellhebel ist auf Addition gestellt. Nach dreimaligem Drehen an der Kurbel zeigt das Ergebniswerk die Zahl 738. Diese Zahl entspricht dem Produkt 3×246 weil 246 drei mal in das zuvor hoffentlich auf Null gestellte Ergebniswerk hinein addiert wurde. Zusätzlich zeigt das Umdrehungszählwerk für diese Stellung des Lineals eine 3, weil dreimal gekurbelt wurde. Bild 10 links soll diese fortgesetzte Addition verdeutlichen, indem wie bei einer schriftlichen Addition die Summanden dreimal untereinander angeschrieben sind.

In Bild 10 rechts ist eine mögliche Fortsetzung der Rechnung angedeutet: verschiebt man das Lineal mit dem Ergebniswerk um eine Stelle nach rechts und dreht nochmals an der Kurbel, dann wird das Zehnfache von 246 in das Ergebniswerk hinein addiert. Das Zehnfache entsteht von selbst weil die eingestellte Zahl relativ zum Ergebniswerk um eine Stelle nach links versetzt ist. Das angezeigte Ergebnis entspräche dann dem Produkt 246×13 und im Umdrehungszählwerk stünde 13.

Wie das vorgeführte Rechenbeispiel zeigt, führt eine Thomas-Maschine Rechnungen additiv bzw. subtraktiv aus. Die eingestellte Zahl wird zur Zahl im Ergebniswerk addiert oder von dieser subtrahiert. Das seitliche Verschieben des Ergebniswerkes ermöglicht die einfache Ausführung von Multiplikationen und Divisionen, da jede Verschiebung einer Multiplikation mit 10 oder Division durch 10 gleich kommt. Man spricht daher auch von *Vierspeziesmaschinen* und meint damit, dass sich mit Rechenmaschinen, die ein verschiebbares Ergebniswerk besitzen, die vier Grundrechnungsarten (Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division) gleich gut ausführen lassen.

Wer eine gewisse Übung erreicht hat kann mit einer Thomas-Maschine relativ schnell rechnen: die linke Hand liegt am Wagen und hebt und verschiebt diesen bei Bedarf, die Augen beobachten, je nach Art der Rechnung, das Umdrehungszählwerk oder die Ergebnisanzeige und mit der rechten Hand wird gekurbelt.

Mit dem Drehen an der Kurbel müssen alle Kräfte aufgebracht werden, die für die Bewegung der inneren Teile der Maschine erforderlich sind. Neben den unvermeidlichen Reibungswiderständen gibt es noch andere Ursachen für Bewegungswiderstände.

Während einer Kurbelbewegung ändert sich immer wieder die Zahl aller Zähne auf allen Staffelwalzen, die gleichzeitig in Eingriff sind. Jede Drehung einer Zifferscheibe im Ergebniswerk muss zunächst den Widerstand ihrer Haltefeder überwinden²⁵. Zusätzlich kann sich an jeder Zifferscheibe im Ergebniswerk ein Zehnerübertrag ereignen. Er tritt auf und wird vorbereitet, wenn sich eine Zifferscheibe von 9 auf 0 weiter dreht. Die Ausführung des Zehnerübertrags selbst kommt aus Gründen des kontrollierten Bewegungsablaufs etwas später. Ein Zehnerübertrag erfordert zweimal einen zusätzlichen Kraftaufwand an der Kurbel, der um so höher wird je mehr Zehnerüberträge sich kurz hintereinander ereignen, wie das z.B. bei der Rechnung $999 + 1$ der Fall ist, bei der vier Zehnerüberträge auftreten. Unter ungünstigen Umständen kann eine Häufung von Widerständen sogar dazu führen dass die Maschine blockiert.

²⁵ Das ist einer der Gründe warum Selling in seiner Maschine im Zählwerk keine Federn eingebaut hat.

Die Bewegungen in der Maschine verursachen einen ungleichmässigen Drehwiderstand an der Kurbel. Selbstverständlich ist jede Rechnung mit der Maschine ein auf logischen Entscheidungen aufgebauter Ablauf, der sich bis zur Bewegung jedes einzelnen Teils hin nachvollziehen liesse. Der Benutzer ist aber nur am Ergebnis seiner Rechnung interessiert, für ihn treten die Änderungen des Drehwiderstands unvorhergesehen auf. Neuere Konstruktionen in den folgenden Jahren konnten diesen Effekt etwas mildern, an älteren Thomas-Maschinen ist er deutlich zu spüren.

Mit diesem Punkt seiner Kritik spricht Selling tatsächlich einen Nachteil der Thomas-Maschine an. Selling hat auch recht, wenn er sagt, Thomas-Maschinen seien laut. Versuche mit Maschinen bestätigen dies.

Abbildungen

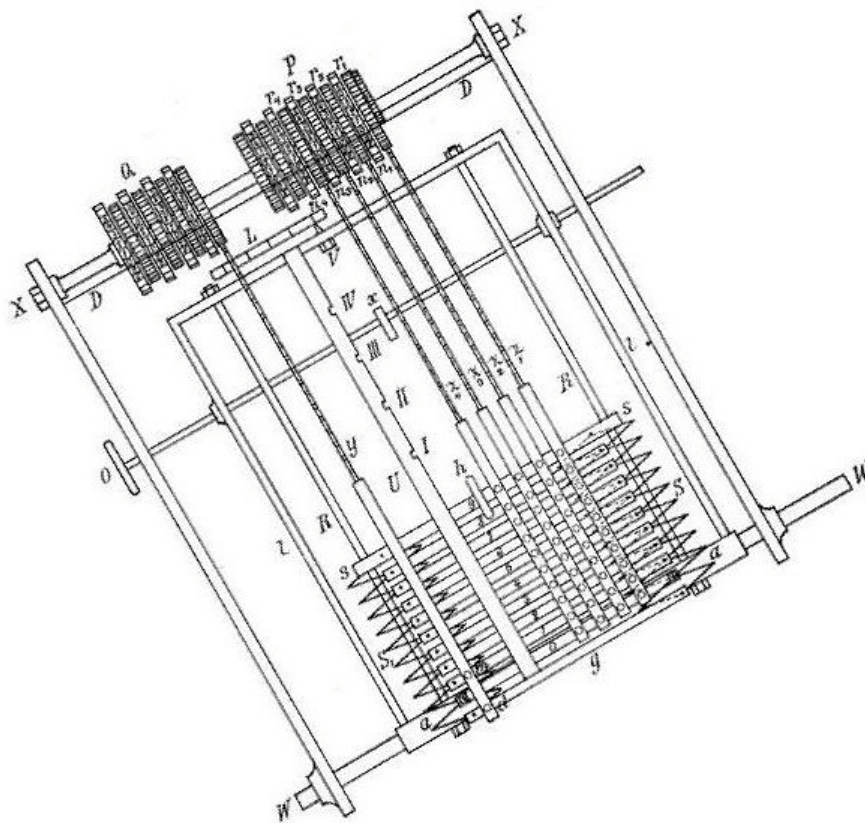
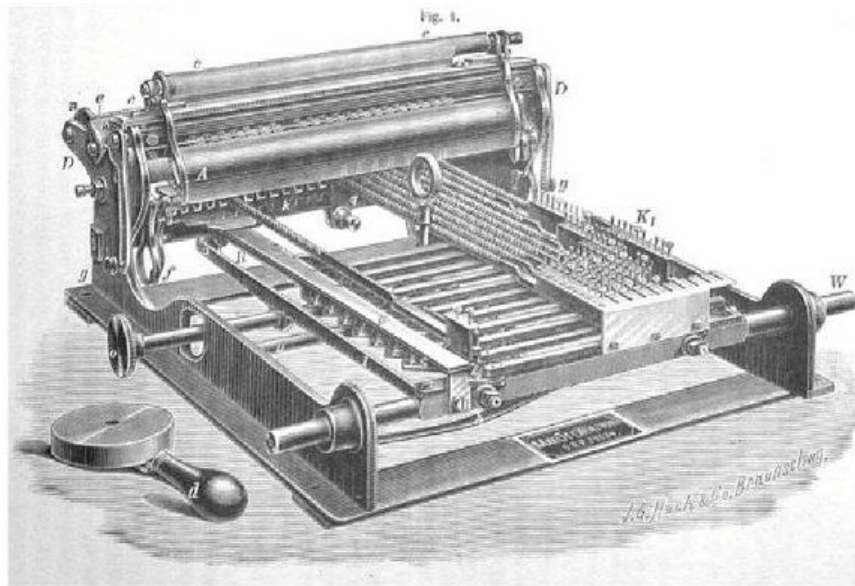


Bild 1:

Zwei Darstellungen der Multipliziermaschine in DPJ

Das untere Bild ist keine genaue Draufsicht der oberen Darstellung, es wurde hier nachträglich zur besseren Orientierung gedreht eingesetzt

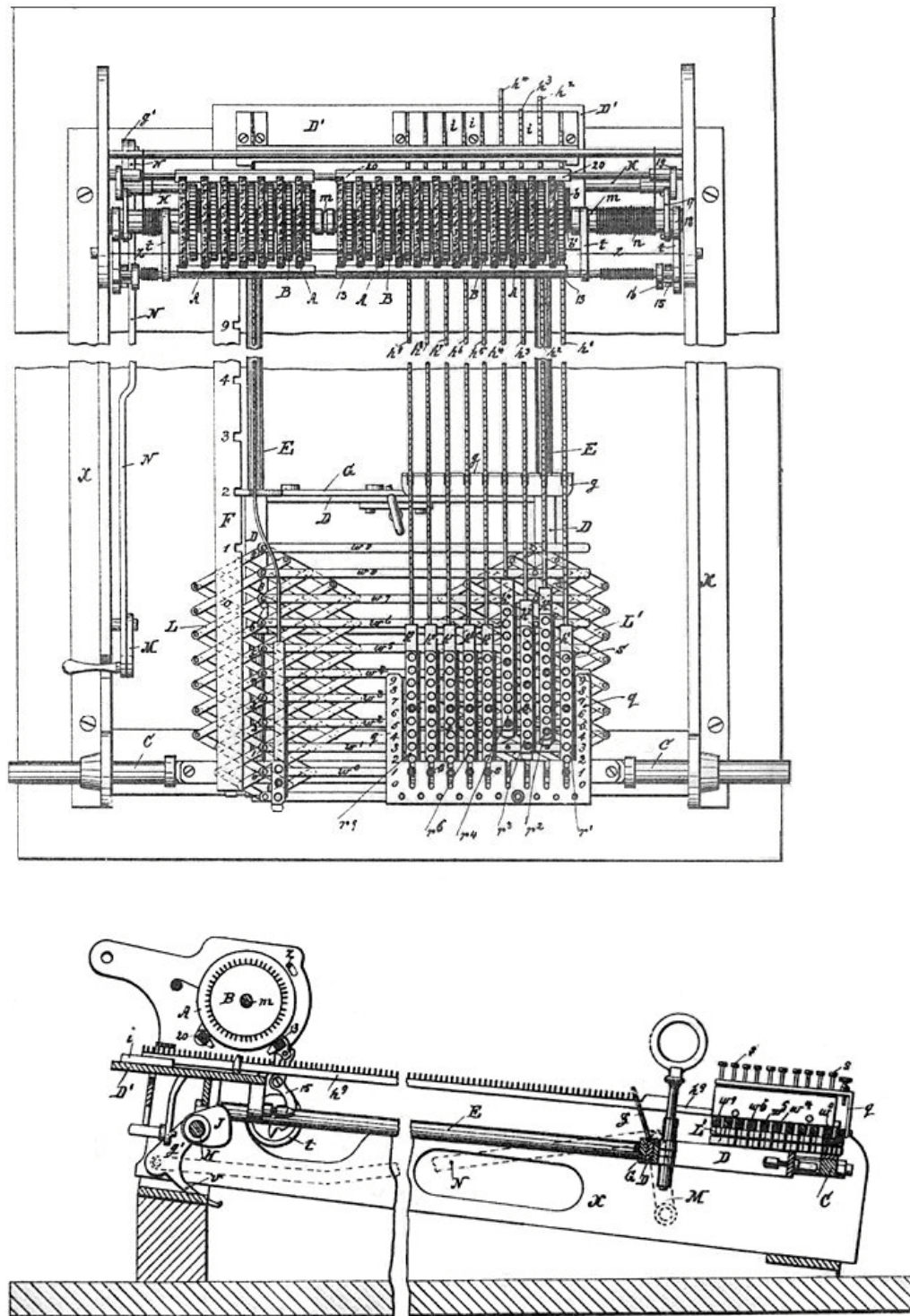


Bild 2:
Darstellungen der Multipliziermaschine im US-Patent

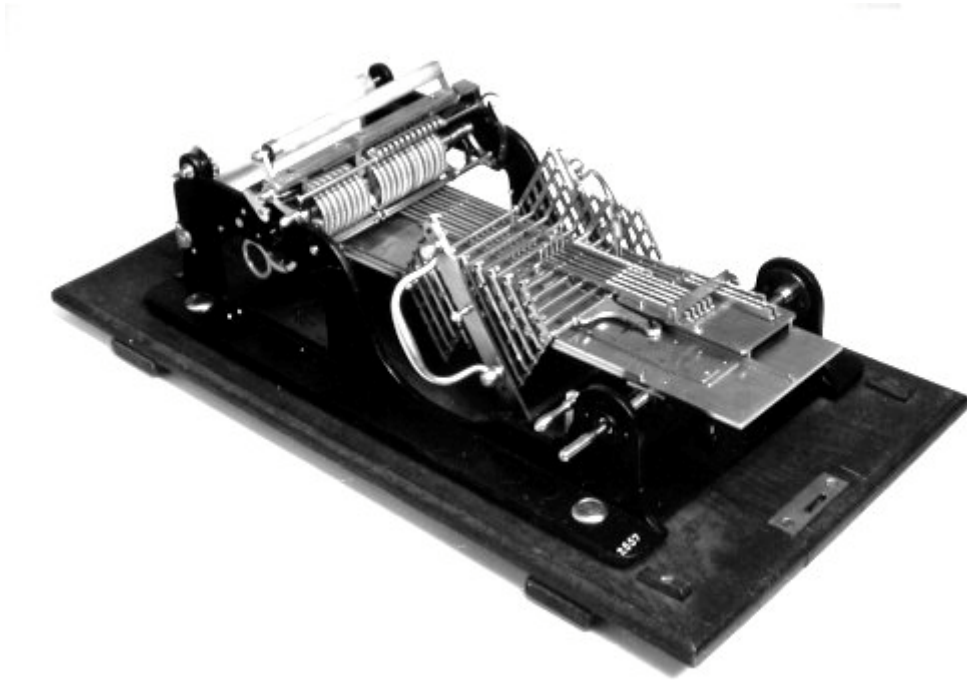


Bild 3:
Prototyp der Multipliziermaschine erster Bauart im Deutschen Museum
München

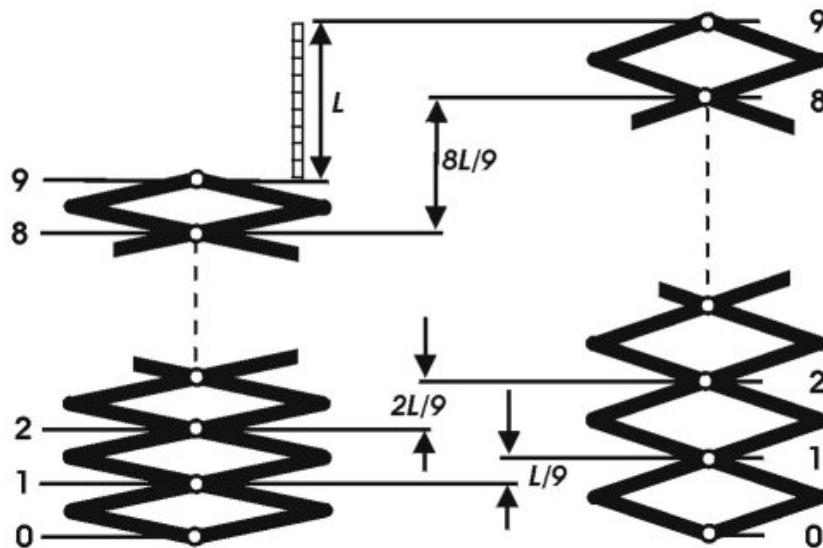
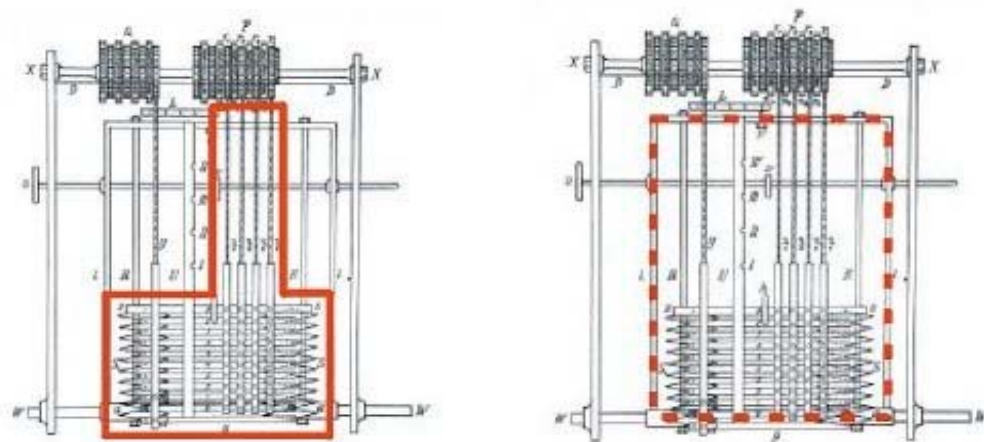


Bild 4:
Die Baugruppe Multipliziereinrichtung.
Oben rechts ist der verschiebbliche Rahmen markiert.

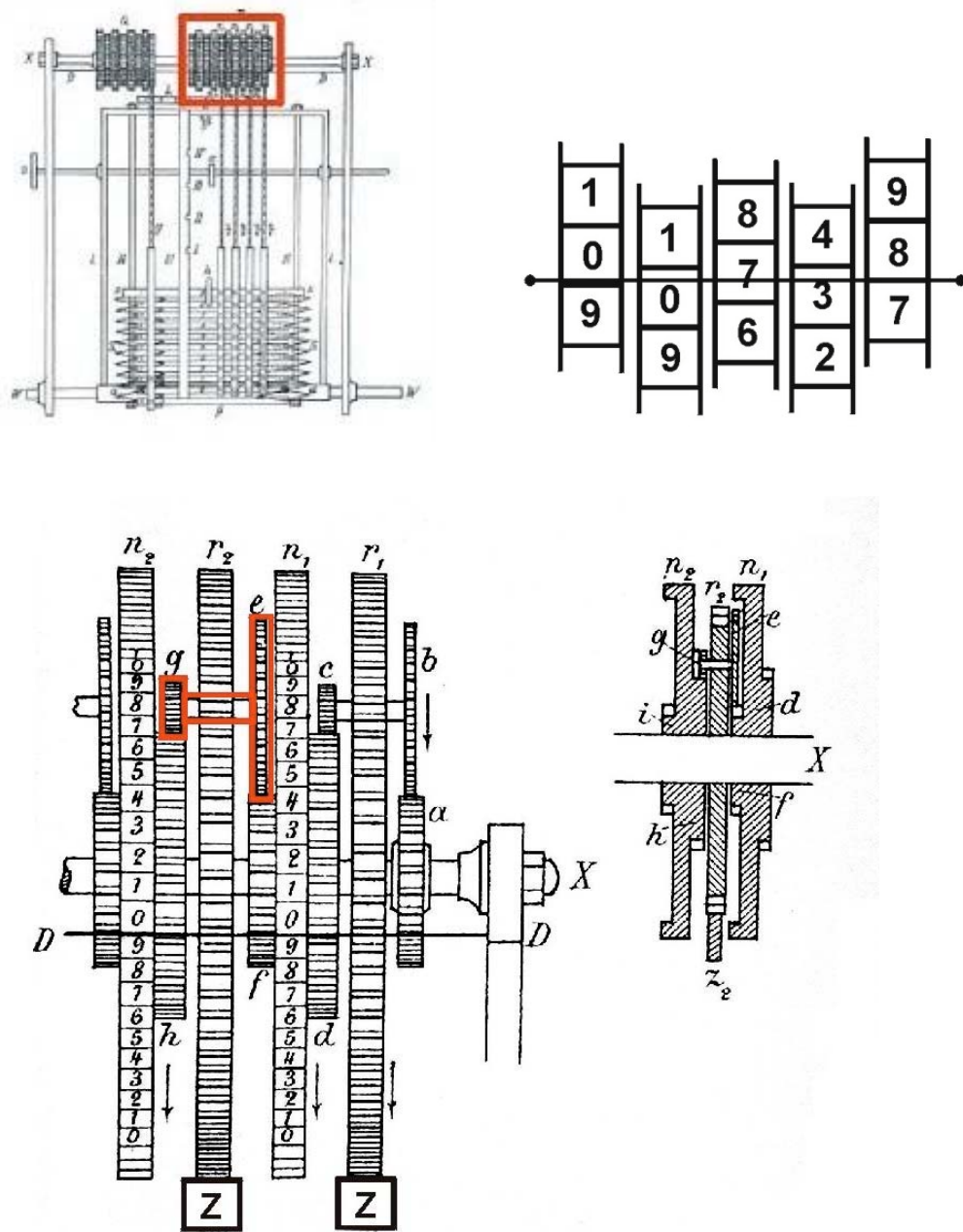


Bild 5:
Die Baugruppe Zählwerk,
oben rechts das Ablesebeispiel für 00738

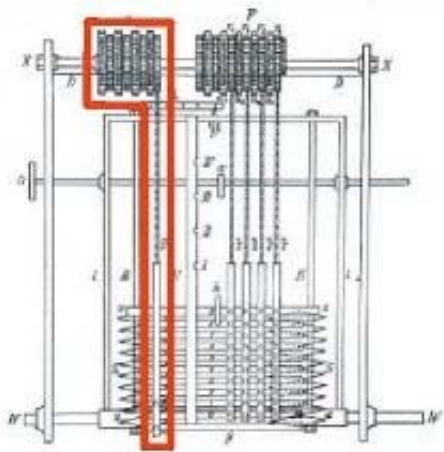


Bild 6: Die Lage des zweiten Zählwerks

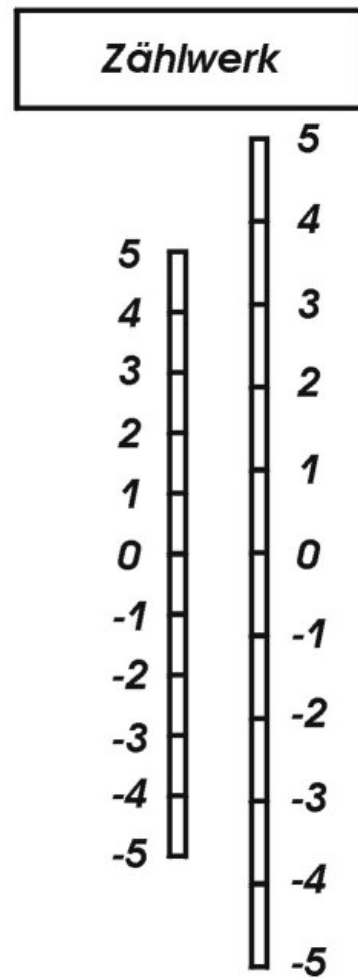


Bild 7: schematische Darstellung der Bewegungen der Gelenkketten in einer Multipliziermaschine für das neue Zahlensystem

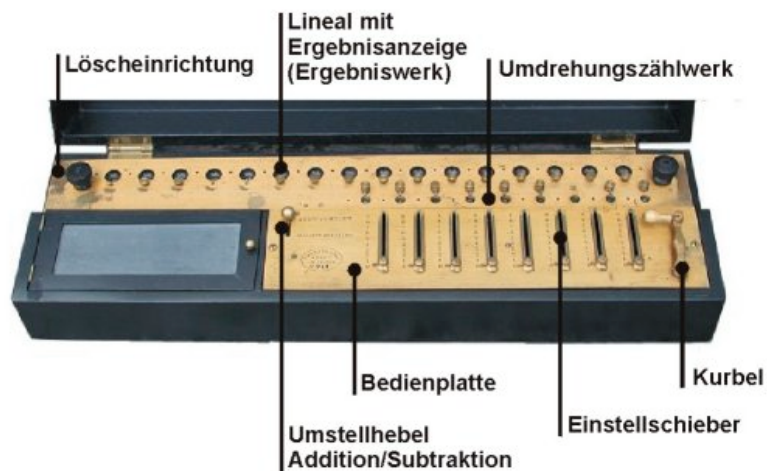


Bild 8:
Eine Rechenmaschine von Thomas, gebaut um 1870,
mit Benennung der wichtigsten Baugruppen und Bedienelemente

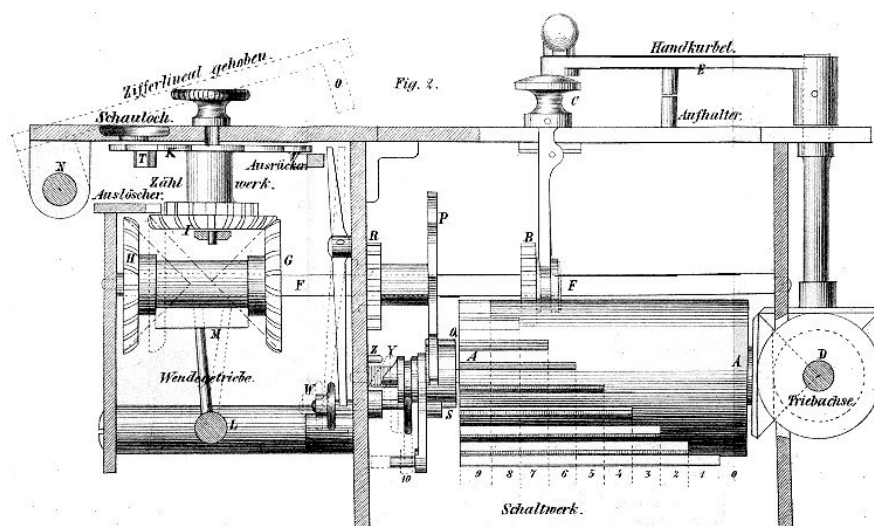


Bild 9:
Schnitt durch eine Thomas-Rechenmaschine

0	0	7	3	8
		2	4	6
		2	4	6
		2	4	6
				+

0	0	7	3	8
		2	4	6
				+

Bild 10:
Schematische Darstellung der Rechnung 246×13 ,
ausgeführt an einer Thomas-Rechenmaschine

Literatur

- [1] Deutsches Museum München: Führer durch die Ausstellung Informatik und Automatik. Neuauflage München 1996
- [2] Dyck, W. (Hrsg.): Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1892
- [3] Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, 1. Bd.: Arithmetik und Algebra, 2. Tl. Leipzig 1900 – 1904 (hier Kap. 1F: Numerisches Rechnen, Abschn. 17: Erweiterte Additionsmaschinen)
- [4] Feldhaus, F.M.: Die Technik. Wiesbaden 1914, Sonderausgabe München 1970
- [5] Galle, A.: Mathematische Instrumente. Leipzig u. Berlin 1912
- [6] Halkowich, A.: Neuere Rechenmaschinen. In: Werkstattstechnik, V. Jg., August 1911
- [7] Hartmann: Besprechung von Selling: Eine neue Rechenmaschine. In: Zeitschrift f. Instrumentenkunde, Dez. 1887, S. 403 - 405
- [8] Martin, E.: Die Rechenmaschinen und ihre Entwicklungsgeschichte, 1. Bd., 1925
- [9] Mathematisches Institut der Universität Würzburg
<http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/History/index.html>
- [10] Mayer, J. E.: Das Rechnen in der Technik und seine Hilfsmittel. Leipzig 1908 (Sammlung Göschen)
- [11] Meyers Grosses Konversations-Lexikon, 6. Aufl., 16. Bd., 1907, hier Schlagwort Rechenmaschine
- [12] Petzold, H.: Moderne Rechenkünstler. München 1992 (umgearbeitete Fassung von [13])
- [13] Petzold, H.: Rechnende Maschinen. VDI-Verlag 1985
- [14] Poppe, A.: Sellings Rechenmaschine. In: Dinglers Polytechnisches Journal, 271. Bd., 1889, S. 193 - 205

- [15] Rehbock, F.: Rechenmaschinen. In: Die Naturwissenschaften, 15. Jg. H. 33, 19. Aug. 1927
 - [16] Reuleaux, F.: Die Thomas'sche Rechenmaschine. In: Dingers Polytechnisches Journal, 165. Bd., 1862
 - [17] Selling, E.: Eine neue Rechenmaschine. Berlin 1887
- Selling1

Patente

- [18] Deutsches Reichs-Patent 39634 v. 16. April 1886
DRP (E.Selling: Rechenmaschine)
- [19] Deutsches Reichs-Patent 49121 v. 29. November 1888
(E.Selling: Rechenmaschine, Zusatz zum Patent 39634)
- [20] Inhaltsangabe zu DRP 39634. In: Zeitschrift f. Instrumentenkunde, Dez. 1887, S.443
- [21] US Patent 420667, February 4, 1890
US-Pat (E. Selling: Calculating-Machine)

Weitere Patente:

Belgien 74104 v. 04. Aug. 1886
England 8912 v. 08.Jul.1886
Frankreich 175412 v. 12.Apr.1886
Italien 20326 v. 30. Sep. 1886
Österreich-Ungarn 31289 v. 02. Aug. 1886
(Aufstellung aus [21])

Bildnachweis

1 oben	Dinglers Polytechnisches Journal, im Text
1 unten	dergl., Tafel 10
2 oben und unten	US-Patent 420667
3 oben und unten	Deutsches Museum München
4 oben links, oben rechts	vom Verfasser erstellt unter Verwendung e. Bildes aus DPJ
4 unten	vom Verfasser erstellt
5 oben links	vom Verfasser erstellt unter Verwendung e. Bildes aus DPJ
5 oben rechts	vom Verfasser erstellt
5 unten	aus DPJ, vom Verfasser ergänzt
6	vom Verfasser erstellt unter Verwendung e. Bildes aus DPJ
7	vom Verfasser erstellt
8	vom Verfasser erstellt
9	aus Reuleaux, F. [16]
10	vom Verfasser erstellt