Stephan Weiss

Ausführungen und Varianten der Schaltorgane in historischen Vierspezies-Maschinen

Inhalt

Zielsetzung	2
Aufbau einer Vierspezies-Maschine	3
Schaltorgane	6
Das Stellsegment	6
Die Stellzahnstange	9
Die Schaltklinke	11
Das Sprossenrad	15
Die Stellzahnwalze	24
Die Schaltscheibe	25
Die Staffelplatte	29
Die Proportionalhebel	30
Die Staffelwalze	32
Bildnachweis	40
Literatur	41

Das Schaltorgan ist das zentrale Bauteil im Rechenwerk mechanischer Rechenmaschinen. Nachfolgend werden die Schaltorgane historischer Vierspezies-Maschinen beschrieben und ihre Varianten, die sich im Laufe der Entwicklung heraus gebildet haben, miteinander verglichen. Der zeitliche Rahmen erstreckt sich vom Beginn des Rechnens mit Maschinen bis etwa 1925.

Zielsetzung

Die Vielfalt historischer Rechenmaschinen kann als Beleg dafür gewertet werden, dass Erfinder und Konstrukteure wiederholt nach Lösungen für Probleme in der Mechanisierung des Zahlenrechnens gesucht haben. Ihre Zielsetzungen waren dabei höchst unterschiedlich – von ersten Versuchen zur Mechanisierung des Rechnens überhaupt über ergonomische Aspekte der Handhabung bis zu einem möglichst schnellen Ablauf der Operationen – um nur einige zu nennen.
Aus naheliegenden Gründen musste man der zentralen Baugruppe Rechenwerk dabei besondere Aufmerksamkeit widmen, sodass unterschiedliche Bauarten und Ausführungen entstanden.

In den nachfolgenden Darstellungen werden die verschiedenenen Schaltorgane im Rechenwerk von Vierspezies-Maschinen beschrieben[1] , ihre Ausführungen miteinander verglichen und sowohl Übereinstimmungen als auch Unterschiede aus konstruktiver Sicht hervorgehoben. Varianten der Schaltorgane hinsichtlich ihrer Ausgestaltung und Anordnung in den Rechenmaschinen stehen dabei im Vordergrund, die historische Abfolge ihres Auftretens spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Der merkantile Erfolg, ob als Einzelstück oder in grosser Zahl gefertigt, bleibt unberücksichtigt.

Die Auswahl beschränkt sich auf ältere Vierspezies-Maschinen aus einem zeitlichen Rahmen wie ihn Martin (Lit. 24) setzt, also von den Anfängen der Vierspezies-Maschinen bis etwa 1925. Mit aufgenommen sind drei bisher wenig bekannte Schaltorgane. Spätere Entwicklungen, z. B. Proportionalräder oder geteilte Staffelwalzen, bleiben unberücksichtigt.

Die Erläuterungen stützen sich hauptsächlich auf Patentschriften und andere Beschreibungen, da originale Maschinen nur in Einzelfällen für Untersuchungen zur Verfügung standen.
Wie die Erfahrung zeigt weichen gebaute Maschinen zuweilen von der Beschreibung in der Patentschrift ab. Eine solche Differenz muss wegen der zuvor genannten Einschränkung hinsichtlich der Verfügbarkeit von Originalen in Kauf genommen werden.
Kenntnisse der historischen Rechenmaschinen und ihrer Anwendung sind für das Verständnis nicht unbedingt erforderlich, aber von Vorteil.

---

1 Anschauliche Beschreibungen von Schaltorganen, reduziert auf ihr Grundprinzip, werden u. a. in Lit. 5, 17 und 35 gegeben.

Aufbau einer Vierspezies-Maschine

Der Namenszusatz „Vierspezies-“ ist in der Literatur üblich und soll zu erkennen geben, dass diese Maschine zur Ausführung der vier Grundrechenarten (Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren und Dividieren) gleichermassen gut geeignet ist.
Zur Einführung sei an Hand von Bild 1 der prinzipielle Aufbau einer solchen Maschine beschrieben.

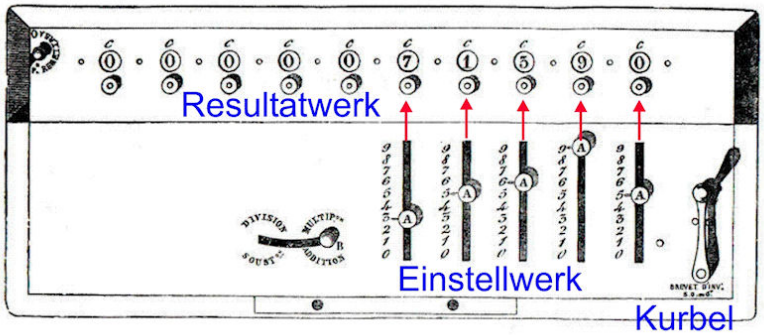


Bild 1: Eine Vierspeziesmaschine in linearer Bauart

Der Benutzer stellt eine Zahl im Einstellwerk ein. Mit Betätigen der Antriebskurbel wird diese Zahl Stelle[2] für Stelle, d. h. Ziffer für Ziffer zu der Zahl im Resultatwerk, manchmal auch Hauptzählwerk genannt, addiert oder von dieser subtrahiert. Auf die Ausführung von Rechnungen wird weiter unten eingegangen.

Zusätzlich zum Resultatwerk können in einer Rechenmaschine noch weitere Zählwerke eingebaut sein, beispielsweise ein Summierwerk, ein zweites Resultatwerk oder ein Umdrehungszählwerk, das die Anzahl der Umdrehungen der Kurbel zählt.[3]

Neben Rechenmaschinen mit linearer Anordnung der Stellen in Einstell- und Resultatwerk gibt es auch solche mit kreisförmiger Anordnung der Werke (Bild 2).

2 Der Begriff „Stelle“ wird im Folgenden im Sinne des Stellenwertsystems, also als Position einer Ziffer, gebraucht.

3 Bild 1 zeigt ein Arithmometer von Thomas aus dem Jahr 1852, als man in diese Maschinen noch kein Umdrehungszählwerk eingebaut hat.

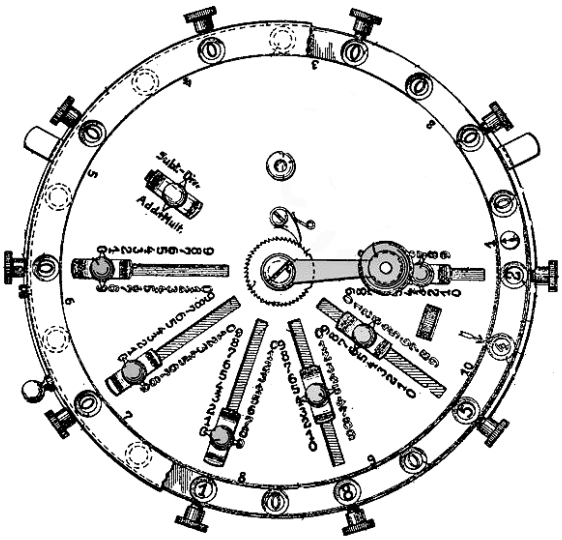


Bild 2: Eine Vierspeziesmaschine in runder Bauart

Das Resultatwerk zeigt das Ergebnis der Rechnung. An jeder seiner Stellen sind Rollen oder Scheiben eingebaut, die im Kreis angeordnet nacheinander und in gleichen Abständen die Zahlen 0 bis 9 tragen (Bild 3).

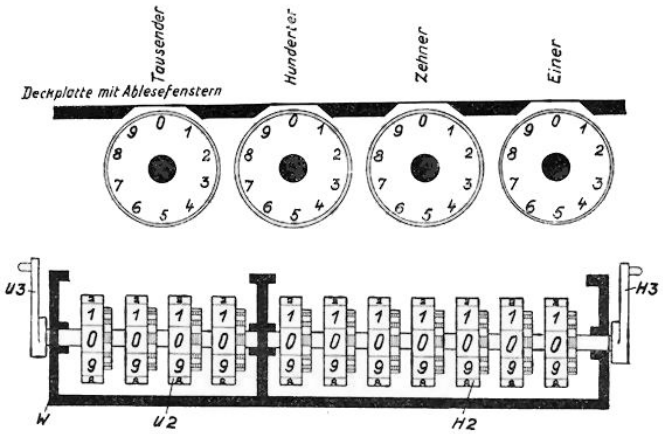


Bild 3: Scheibenzählwerk (oben) und Rollenzählwerk (unten)

Sie zählen die Ziffern an dieser Stelle je nach Drehrichtung additiv in der Folge 0-1-2-...-8-9-0 oder subtraktiv in der Folge 9-8-7-...-1-0-9 weiter. Nach 9 folgt wieder 0.
Im Weiteren wird vereinfacht statt von Scheiben oder Rollen nur noch von Zählrädern gesprochen.

Die Verbindung zwischen Einstellwerk und Resultatwerk stellt das Rechenwerk her. Es übernimmt die eingestellte Zahl und addiert diese zur der Zahl im

Resultatwerk oder zieht sie von dieser ab, wobei ein eventueller Zehnerübertrag in der Operation ebenfalls berücksichtigt werden muss. Er wird immer dann notwendig, wenn an irgend einer Stelle des Resultatwerks die Ziffer von 9 auf 0 oder von 0 auf 9 wechselt. Tritt dieser Fall ein muss an der nächsten höheren Stelle eine 1 hinzu addiert bzw. abgezogen werden. Beispiele hierfür sind die Rechnungen
`09 + 02 = 11` oder `23 - 04 = 19`.

Zählräder besitzen zwischen ihren aufgetragenen Ziffern eine Zehnerteilung, die auch an ihren Antriebszahnrädern vorhanden sein muss. Dies erfordert, dass für die Weiterbewegung des Zählrads um die vorgegebene Anzahl von Teilungen das Antriebszahnrad oder ein Zwischenrad um die gleiche Anzahl von Teilungen weiter gedreht werden muss. Diese Aufgabe übernimmt das Schaltorgan im Rechenwerk. Es muss in der Lage sein, während seiner vollständigen Bewegung das zugehörige Zählrad um keine oder eine Zifferntteilung, um zwei Teilungen usw. bis zu neun Teilungen weiter zu drehen, abhängig von der Ziffer 0 bis 9, die der Benutzer an dieser Stelle eingestellt hat. Die Ziffer 0 ist hier absichtlich mit aufgezählt, weil das Schaltorgan trotz seiner Bewegung für die Ziffer 0 keinen Einfluss auf das Zählrad haben darf.
An Stelle des Antriebszahnrades für ein Zählrad oder eines Zwischenrades kann man, je nach Ausführung und Betrachtungsweise, auch von einem Abtastrad des Schaltorgans sprechen.

Es gibt Maschinen, die bei Subtraktion die Drehrichtung der Zählräder im Resultatwerk umkehren und solche, die nur eine additive Drehrichtung der Zählräder kennen und dafür Subtraktionen mit Additionen der Komplementzahlen ersetzen.[4] Sofern ein Schaltorgan selbst den Wechsel zwischen Addition und Subtraktion übernimmt wird auf die zusätzlichen baulichen Einrichtungen hierfür eingegangen.

Ein lineares Resultatwerk lässt sich relativ zum Einstellwerk horizontal versetzen, bei einem kreisförmigen Resultatwerk ist ein Verdrehen zwischen Resultat- und Einstellwerk möglich. Einrichtungen dieser Art machen Multiplikationen als fortgesetzte Additionen unter Ausnutzung des Stellensystems möglich. Wittke (Lit. 35) nennt diesen Typ von Rechenmaschinen daher treffend auch „Addiermultiplikatoren“, in der Encyklopädie d. Math. Wiss. werden sie als „erweiterte Additionsmaschinen“ bezeichnet (Lit. 16, 1 F 17).
Ein Rechenbeispiel verdeutlicht den Rechengang:

---

4 Ausführliche Beispiele zu diesem Verfahren geben u. a. Bölter (Lit. 11), Weiss (Lit. 32) sowie Hamann in den Patentschriften DE209817 und DE210661. In DE210661 geht Hamann zusätzlich auf die richtige Funktion der Zehnerwarnung ein.

Für eine Multiplikation

```
 386 x 234 = 90324
----------
   386
   386
   386
+  386 (4 mal
  386
  386
+ 386  (3 mal
 386
+386   (2 mal
----------
 90324
```

Eine Division wird sinngemäss ausgeführt:

```
 5404 / 386 = 14
-386    (1 mal, Rest 154
-----
 154(4
 -386
 -386
 -386
 -386   (4 mal, Rest 0
-----
    0
```

Schaltorgane

- Eine erste Unterscheidung der Schaltorgane lässt sich im Vorgriff auf ihre Beschreibungen schon an dieser Stelle treffen, nämlich hinsichtlich ihrer Systeme. Sie unterscheiden sich darin markant, sodass man sie in Gruppen einteilen und diese mit einem charakteristischen Namen belegen kann.

► Das Stellsegment

Der Ingenieur und Technik-Enzyklopädist Jakob Leupold (1674-1727) entwirft eine Rechenmaschine mit kreisförmiger Anordnung von Einstell- und Resultatwerk (Lit. 22). Die Stellen des Resultatwerks sind in einem äusseren Ring feststehend angebracht, während sich der innere Teil mit dem Einstellwerk und der zentrisch angebrachten Kurbel verdrehen lässt.

Für die Ansteuerung der Stellen im Resultatwerk sieht er ein *Stellsegment,* manchmal auch *Zahnsegment* genannt, vor. Diese Bezeichnungen stammen aus späterer Zeit, Leupold nennt das Bauteil einfach ein „gezahntes Blech“. Es ist in Bild 4 gelb[5] markiert. Gelagert ist das Stellsegment nur an einem Ende bei **w**. Die Farbe türkis markiert im Bild einen der Stellhebel **n**, der an jeder Stelle im Einstellwerk vorhanden ist und von den Einstellungen dort gesteuert wird. Mit dem Einstellen einer Ziffer im Einstellwerk wird auch ein schraubenförmiges Element (in Bild 4 oben links als Fig. V dargestellt) verdreht, das den Stellhebel **n** in eine Höhe abhängig von der eingestellten Zahl bringt. Auf dem Stellsegment sitzt ein gestuftes Blech (Fig. IV im Bild oben rechts), das der Stellhebel **n** zusammen mit dem Stellsegment nach aussen stösst. Mit diesem Mechanismus soll erreicht werden, dass eine vorgegebene Anzahl von Zähnen des Stellsegments zur Wirkung kommt. Vor und nach dieserAktion hält eine Feder das Stellsegment zurück.

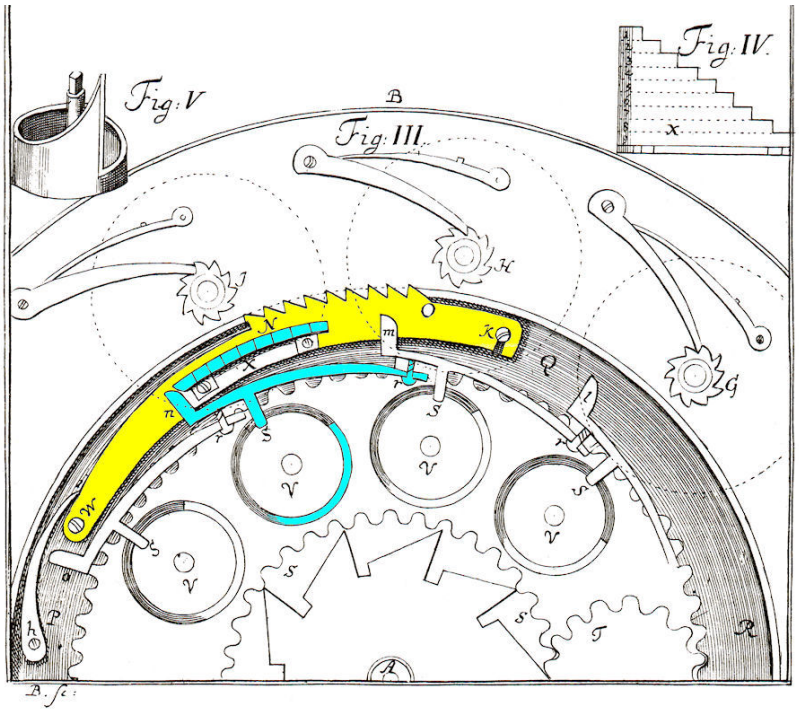


Bild 4: Das Stellsegment bei Leupold

Leupold verwendet nur ein einzelnes Stellsegment. Es läuft mit der Kurbel auf einem Ring gegen den Uhrzeigersinn um und beaufschlagt nacheinander alle Zählräder. Die Drehrichtung des Stellsegments muss stets gleich bleiben, weshalb Leupold für die Subtraktion mit Komplementzahlen arbeitet. Wie dies an der Maschine geschehen soll geht aus seiner Erklärung nicht eindeutig hervor.

5 Zur besseren Unterscheidung sind in den Zeichnungen die Schaltorgane in gelb, die Bauteile zur Ansteuerung in tükis und andere wesentliche Teile in hellgrau dargestellt.

Es gibt keinen Anhaltspunkt dafür, dass Leupold seine Maschine tatsächlich gebaut hat.[6]

Die Ansteuerung des Stellsegments ist bei Leupold aufwendig und nicht unbedingt betriebssicher realisiert. Eine der einfacheren Ausführungen zeigt Bild 5, es ist der Patentschrift DE393953 entnommen. Darin wird das betreffende Bauteil sehr genau als „radial verschiebbares und gezahntes Antriebsglied“ oder einfach nur „gezahnter Schieber“ bezeichnet. Das Stellsegment, rechts im Bild dargestellt, wird während einer Kurbeldrehung gedreht und gleichzeitig vom Rand einer Kurvenscheibe geführt radial nach aussen und wieder zurück verschoben bis die vorgegebene Anzahl von Zähnen in Eingriff mit dem Abtastrad gekommen ist. Das Bild zeigt zwei mögliche Ausführungsformen der Führungen für das Stellsegment. Die Kurvenscheibe wird mit dem Einstellen der Ziffer verdreht. Sie besitzt daher einen länglichen Anfasser, der nach aussen ragt.
Für jedes Zählrad ist ein Paar aus Stellsegment und Kurvenscheibe vorgesehen. Für Addition und Subtraktion lässt es sich mittels der Kurbel vorwärts und rückwärts drehen.
Verwendung findet das gezeigte System in den späteren Rechenmaschinen der Fa. Marchant.

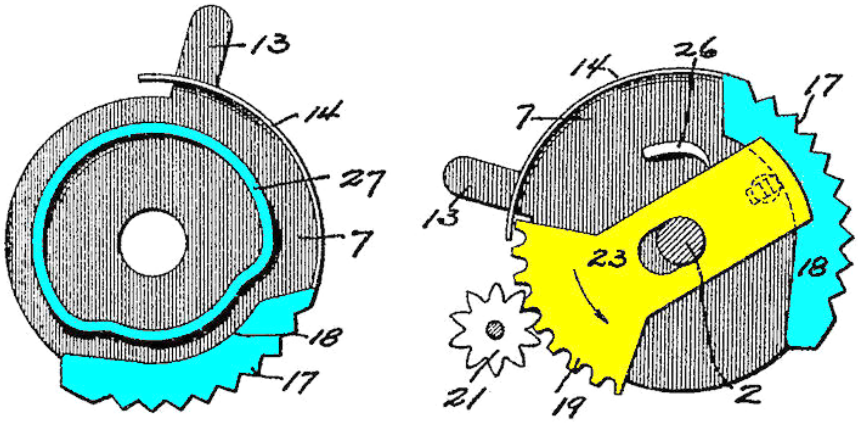


Bild 5: Stellsegment aus der Patentschrift DE393953

Eine andere Ausführungsform des Stellsegments ist in der Rechenmaschine Demos eingebaut. Hier wird an jeder Stelle im Einstellwerk ein gezahntes Segment verwendet, das nur rotiert. An Stelle der radialen Bewegung der Stellsegmente schwenken Zahnräder für den Antrieb der Zählräder vor und zurück, sodass ebenfalls nur die vorgegebene Anzahl von Zähnen zum Eingriff kommt (Bild 6 aus Patentschrift DE405510).

---

6 Antonius Braun (1674-1727) und Philippe Vayringe (1684-1746) bauen in den Jahren 1727 bis etwa 1735 eine Rechenmaschine, die Modifikationen des Entwurfs von Leupold aufweist. Sie wird im Deutschen Museum München aufbewahrt (Lit. 7)

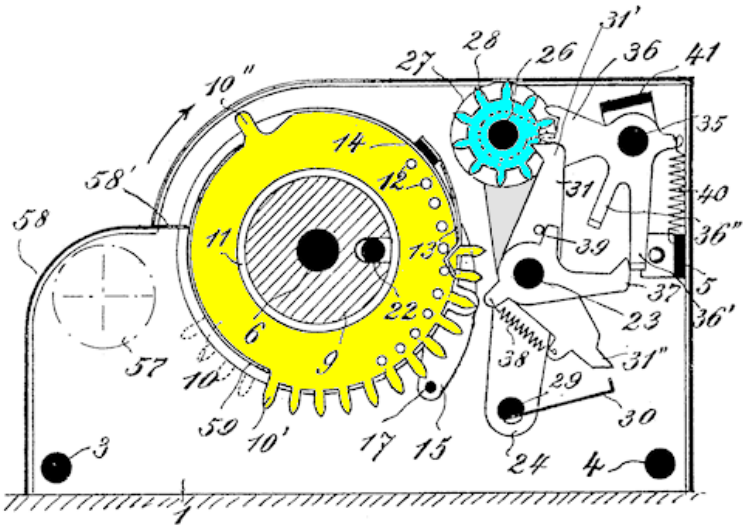


Bild 6: Zahnsegment mit Schwenkrädern

Der Vorteil der Stellsegmente besteht darin, dass sie einfach und deshalb mit geringen Kosten herzustellen sind. Weiterhin vereinfachen sie wegen der geringen umlaufenden Massen den Antrieb mit Elektromotor – eine Eigenschaft, auf die in einigen Patenten hingewiesen wird.

- Wir können an dieser Stelle eine zweite Unterscheidung der Schaltorgane treffen hinsichtlich ihrer Anzahl. Entweder ist jeder Stelle im Resultatwerk ein Schaltorgan zugeordnet oder es gibt nur eines, das nacheinander auf alle Stellen des Resultatwerks einwirkt.

► Die Stellzahnstange

Mit den Stellsegmenten eng verwandt ist das System der *Stellzahnstangen.*

Hierbei gehört zu jeder Stelle im Einstellwerk eine Zahnstange, die beim additiven Drehen der Kurbel nach vorn läuft, mit dem Zählrad in Eingriff kommt, sich absenkt und wieder zurückkehrt (Bild 7 oben). Wieviel Zähne kämmen bestimmt der Benutzer durch Verschieben des Einstellknopfes, der wiederum die Zahnstange in eine vorgegebene Ausgangsposition **A** mehr oder weniger weit nach vorn bringt (Bild 7 oben). Das System ist wendeläufig, durch Umkehren der Drehrichtung der Kurbel wird subtrahiert, weil sich dann auch der vollständige Bewegungsablauf der Zahnstangen umkehrt.

Verwendet werden Stellzahnstangen in Versuchsmustern von Rechenmaschinen ohne Bezeichnung von C. O. Büttner aus dem Jahr 1888, die in wenigen Exemplaren erhalten geblieben sind. Bild 7 zeigt unten Details einer dieser

Maschinen bei aufgeklapptem Wagen. Mit einem gelben Strich sind die beiden nach vorn bis zur Position '9' geschobenen Stellzahnstangen gekennzeichnet. Andere Maschinen mit Stellzahnstangen sowie ein Patent hierüber sind dem Verfasser nicht bekannt.

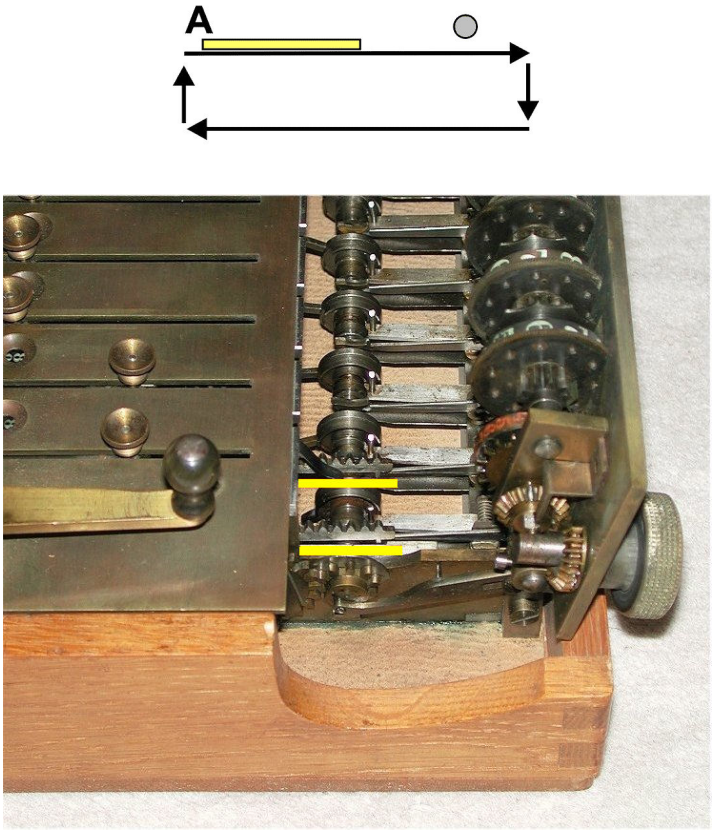


Bild 7: Stellzahnstangen, oben: Bewegungsrichtung bei Addition ,
unten: eingebaut in einer Maschine von Büttner

- Im Vergleich der Stellzahnstangen mit den Stellsegmenten lässt sich eine dritte Unterscheidung für Schaltorgane treffen hinsichtlich der Art ihrer Bewegung: sie bewegen sich entweder rotatorisch oder schwingend oder translatorisch.

  Schaltorgane müssen nach einer vollständigen Rechenoperation in ihre Ausgangsstellung zurückkehren, weil von dort aus die nächste Rechenoperation beginnt. Mit einer Drehung von 360 Grad lässt sich diese Bedingung einfach erfüllen. Die translatorische Bewegung hingegen kehrt nicht in die Ausgangsstellung zurück, sie muss nach einer Wegstrecke abgebrochen und umgekehrt werden. Bei einem Schaltorgan grösserer Masse treten dabei schwankende Beschleunigungskräfte auf. Erschwerend kommt hinzu, dass das Schaltorgan bei translatorischer Bewegung zweimal an seinem Zählrad vorbeiläuft und somit ohne besondere Vorkehrungen während eines vollständigen Vor- und Rücklaufs sowohl eine Addition als auch eine Subtraktion ausführt. Nur zu-

sätzliche Einrichtungen, die Schaltorgan und Zähleinrichtung entkuppeln, können diesen Effekt vermeiden.
Mit der translatorischen Bewegung vergleichbar ist die schwingende Bewegung des Schaltorgans über einen begrenzten Winkel hinweg. Auch hierbei muss das Problem des zweimaligen Zählens gelöst werden. Ein Beispiel für die schwingende Bewegung des Schaltorgans wird weiter unten gegeben.

► Die Schaltklinke

Dem Prinzip der *Schaltklinke* liegt die Idee zu Grunde, dass während der Drehung der Kurbel ein einzelner Zahn, Klinke[7] genannt, nur für einen vorgegebenen Winkel in ein Zahnrad eingreift und dieses damit um eine bestimmte Anzahl von Zähnen verdreht, die dann auf das Zählrad übertragen wird. Die Grösse des Eingriffswinkels für die Klinke steuern andere Elemente. Bei dem bewegten Zahnrad handelt es sich demnach um ein Zahnrad mit einstellbarem Rotationswinkel.[8]

Curt Dietzschold sieht für seine Maschinen aus dem Jahr 1877 an jeder Stelle des Resultatwerks ein Zahnrad mit Schaltklinke vor. (Bild 8, Lit. 13 und 14). Er benennt Zahnrad und Klinke ganz in der technischen Definition als „Sperrkegel und Sperrrad“.
Das Zahnrad wird über einen Hebel von einem hin- und hergehenden Bauteil **T** angetrieben. Auf dem Hebel sitzt die Schaltkline **S**, die immer einen gleich grossen Winkel überstreicht. Ein konzentrisches Segment begrenzt den Wirkungsbereich der Schaltklinke, weil ein Stift auf der Schaltklinke, wenn er über das Segment streicht, die Schaltklinke abhebt. Die Lage des konzentrischen Segments wird von der eingestellten Zffer an dieser Stelle bestimmt.

---

7 „Die Klinke ist ein Maschinenteil, das einen einarmigen, seltener zweiarmigen, um einen Zapfen drehbar gelagerten kurzen Hebel darstellt, der dann dazu dient, ein anderes Maschinenteil in seiner Bewegung zu hemmen…. Klinken können z. B. Sperrräder derart hemmen, dass man das Rad zwar in die eine Richtung drehen kann, in die andere Richtung jedoch nicht. Bei Werkzeugmaschinen dient die Klinke oft als Zuschiebungsorgan, indem sie in periodischer Bewegung ein Rad weiterdreht.“ (aus Wikipedia, die freie Enzyklopädie).

8 Mit einer Klinke und variablem Drehwinkel des Antriebszahnrads arbeiten auch die Kolonnen-Addiermaschinen der Typenreihe Adix / Diera / Kuli.

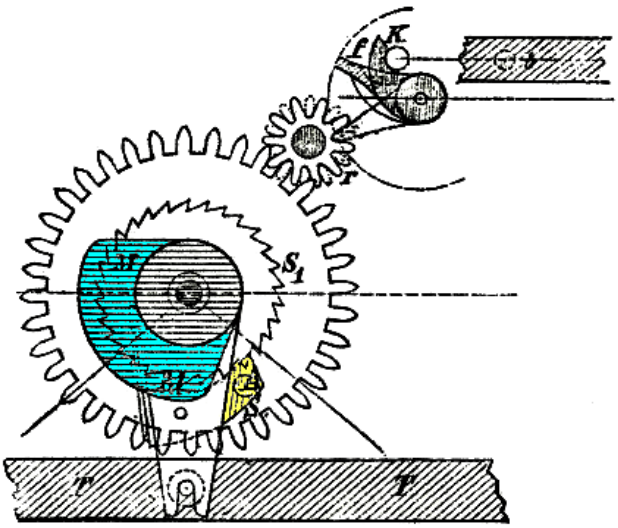


Bild 8: Die Schaltklinke bei Dietzschold

Dietzscholds Konstruktion arbeitet nur in einer Drehrichtung. Die Maschine im Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden (Lit. 28) besitzt einen Umschalter für Addition/Multiplikation und Subtraktion/Division, welcher darauf schliessen lässt, dass die Drehrichtung des Schaltorgans zwischen Rechenwerk und Resultatwerk umgekehrt werden kann.

Ganz ähnlich arbeitet die Maschine von Carl Gustav Th. Heyde und Carl Otto Büttner (Patent DE26640, Bild 9).

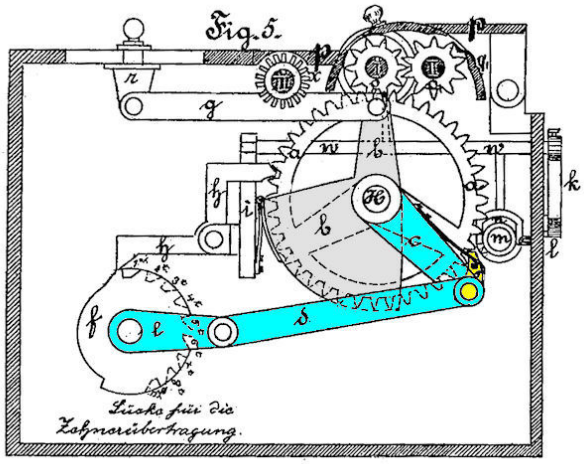


Bild 9: Die Schaltklinke bei Heyde und Büttner

Der Antrieb erfolgt über eine Kurbel mit Pleuel (links unten im Bild). Die Klinke kann in ihrer Bewegung nur wirken wenn sie nicht über das Segment gleitet. Andernfallswird sie abgehoben und kommt ausser Eingriff. Die Stellung dieses Segments wiederum wird von der Einstellung des Benutzers am Einstellknopf beeinflusst.

In der Ausführung des Patents erlaubt die Kurbel nur eine Drehrichtung. Die Umschaltung zwischen Addition und Subtraktion erfolgt mittels eines Hebels, der auch an der Maschine des Mathematisch-Physikalischen Salons voranden ist (Lit. 28). Mit ihm wird ein Zwischenzahnrad hinzu- oder weggeschaltet, das die Drehrichtung bei der Übertragung zu den Zählrädern umkehrt.

Franz Cuhel verwendet an seiner Maschine (Patent DE59377, Bild 10) an jeder Stelle statt einer einfachen Klinke ein System aus drei Winkelhebeln.

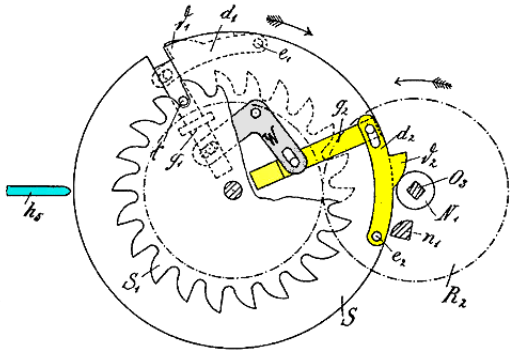


Bild 10: Die Schaltklinke bei Cuhel

Diese Winkelhebel werden, während sie sich drehen, von einer Scheibe ausserhalb (im Bild links) angestossen, verändern ihre Lage, greifen in ein Zahnrad ein, nehmen dieses für einen vorgegebenen Winkel mit und kommen dann wieder ausser Eingriff. Die Position der Scheibe, die diesen Ablauf auslöst und damit der aktive Drehwinkel bestimmt hängt von der eingestellten Ziffer ab. Wegen des variablen aktiven Drehwinkels kann man das System den Schaltklinken zuordnen. Auf mehr Details des reichlich komplizierten Mechanismus soll nicht näher eingegangen werden.

Der Konstrukteur von Rechenmaschinen Christel Hamann – ein genialer Erfinder, von dem noch mehr zu berichten sein wird – nimmt sich ebenfalls der Schaltkline an.

Im Patent DE367726 laufen zwei Schaltklinken (**12** und **13** in Bild 11) im Gegensatz zu späteren Ausführungen noch aussen um zwei Scheiben herum, von denen eine fest steht und die andere verdrehbar ist.

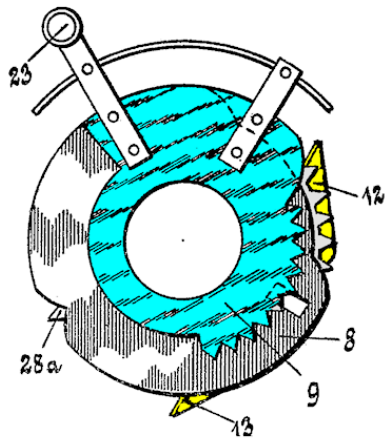


Bild 11: Zwei Schaltklinken in DE367726

Mit dem Verdrehen der einen Scheibe wird ein variabel breiter Ausschnitt frei gegeben. Die beiden Klinken nehmen so viele Zähne eines konzentrischen Zahnrads mit wie der Ausschnitt zwischen den beiden Scheiben zulässt. Mit dieser Anordnung weicht Hamann von der stets gleichen hin- und her gehenden Bewegung wie bei Dietzschold und Heyde / Büttner ab. Zwei Schaltklinken sind erforderlich, weil sich das Zahnrad für Addition bzw. Subtraktion in beiden Richtungen dreht. Die Übertragung auf das Zählrad erfolgt mit dem gleichen Zahnrad auf der dem Ausschnitt gegenüber liegenden Seite. Für jede Stelle im Resultatwerk ist ein solcher Mechanismus vorgesehen. Erwähnt werden soll, dass Hamann in diesem und in den folgenden Patentbeschreibungen den Oberbegriff „Klinke“ verwendet.

Mit DE384150 bringt Hamann die erste grosse Änderung an seinem Konzept an: er verlegt beide Schaltklinken von aussen nach innen in ein grosses Zahnrad hinein. Dieses Zahnrad ist sowohl aussen als auch innen verzahnt, denn es dient als Abtrieb für die Schaltklinke und als Antrieb des Zählrads.

In DE443478 schliesslich, ein Zusatz zu obigem Patent, ist nur noch eine Schaltklinke vorhanden (Bild 12). Beim Drehen der Kurbel läuft die Schaltklinke mit um. Greifen kann sie mit ihrem einzelnen Haken an einem Ende nur solange sie nicht an ihrer Rolle am anderen Ende von einem Segment abgehoben wird. Die Grösse der Lücke, die das Segment lässt, bestimmt der Benutzer, indem er beim Einstellen einer Ziffer einen Hebel verstellt und damit das Segment verdreht.

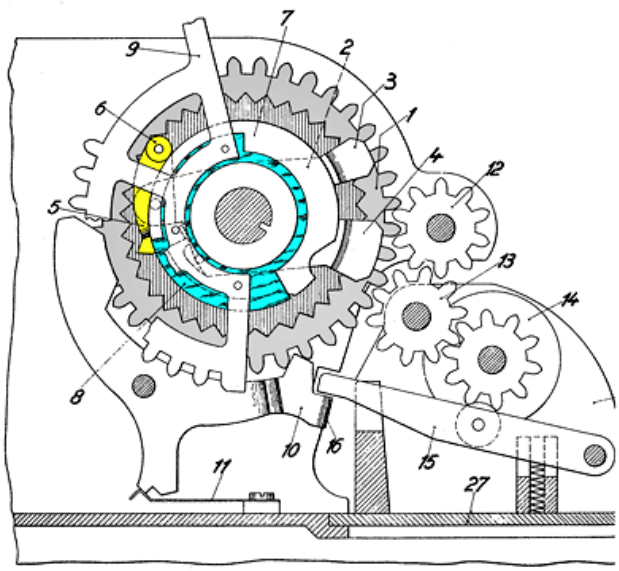


Bild 12: Die Schaltklinke in DE443478

Für die Kurbel und damit für das Zahnrad ist nur eine Drehrichtung vorgesehen. Die Umschaltung zwischen Addition und Subtraktion erfolgt über ein Zwischenrad, das die Drehrichtung des Zählrads umkehrt. Eingebaut ist dieses System in die Maschinen der Reihe Hamann-Manus und der folgenden Baureihen.

► Das Sprossenrad

Das *Sprossenrad* lässt sich als ein Zahnrad mit veränderlicher Zähnezahl beschreiben. Das Funktionsprinzip ist einfach: es werden soviele Zähne, Sprossen genannt, wie erforderlich aus einem Rad heraus in eine wirksame Position gebracht. Während sich das Sprossenrad dreht greifen seine Sprossen in das Zählrad ein.

Von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) stammt eine einfach gehaltene Skizze unbekannten Datums (Bild 13), die vermuten lässt, dass er zumindest die Verwendung eines Sprossenrads für seine Rechenmaschine in Erwägung zog. In der Skizze sind die Sprossen kettenartig miteinander verbunden, über ihre Einstellung und den tragenden Radkörper sagt sie nichts aus.

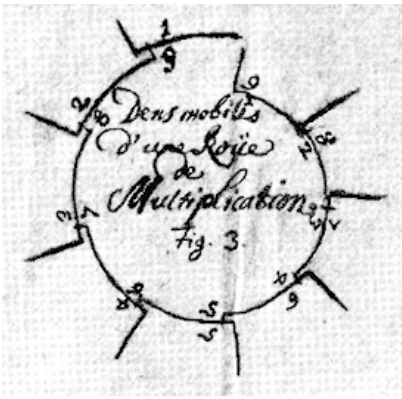


Bild 13: Entwurf eines Sprossenrads bei Leibniz. Die Inschrift lautet „Dens mobiles d' une Roue de Multiplication“ (in der Übersetzung „die beweglichen Zähne eines Multiplizierrades“).

Giovanni Poleni veröffentlicht 1709 die Konstruktionszeichnungen einer hölzernen Rechenmaschine mit Gewichtantrieb. In diese Maschine baut er drei Sprossenräder nebeneinander ein. Jedes trägt über ein Segment von 60 Grad 9 Sprossen, die mit der Hand „hervor- und zurückgeschoben“[9] werden können (Bild 14). Weil für jede Stelle im Einstellwerk ein eigenes Sprossenrad vorgesehen ist, lässt sich mit drei Sprossenrädern eine maximal dreistellige Zahl einstellen. Eine Einstellvorrichtung gibt es nicht. Die Maschine hatte in ihrer Konzeption den Status des Experimentellen, das Original ist nicht erhalten geblieben.

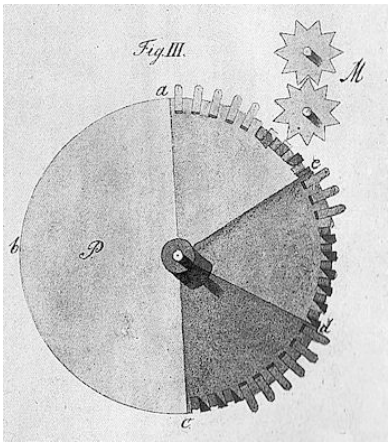


Bild 14: Das Sprossenrad bei Poleni

9 So die Formulierung bei Bischoff (Lit. 9). Nach den Bildern bei Bischoff und bei Leupold zu urteilen müssen die Sprossen herausklappbar gewesen sein.

Antonius Braun (1686 – 1728) entwickelt 1727 eine zylindrische Rechenmaschine[10] mit einem zentralem Sprossenrad, das von einer Kurbel angetrieben wird (Lit. 25). Wegen der besonderen Konstruktion dieses Schaltorgans liegt die Bezeichnung *Sprossenwalze* nahe.

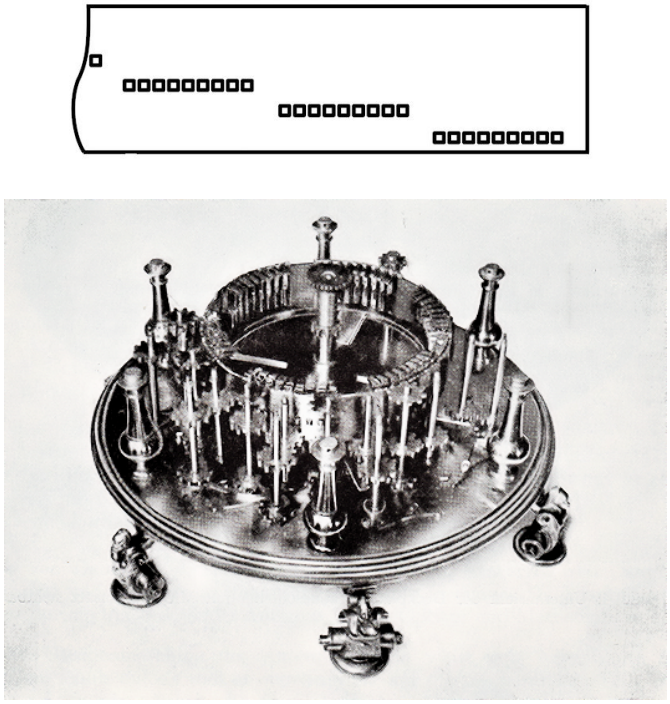


Bild 15: Die Sprossenwalze bei Braun, oben: Schema des Aufbaus, unten: der Einbau in die Maschine

Am Umfang eines Zylinders sind 6 Gruppen mit je 9 Sprossen in unterschiedlichen Höhen angebracht (Bild 15). Eine Gruppe steht für die Einerziffer, die nächste für die Zehnerziffer usw. der eingestellten Zahl. Nach aussen heraus geschoben oder zurück gezogen werden die Sprossen einzeln mittels kleiner Schieber an der Deckplatte der Maschine. Eine Drehung der Sprossenwalze überträgt die eingestellte Zahl in die der Höhe nach versetzten Stellen des Resultatwerks, das konzentrisch aussen um die Sprossenwalze angebracht ist. Die Sprossenwalze kann man mit einem Schlüssel in der Höhe verstellen, diese Bewegung entspricht dem Verschieben des Wagens an einer linearen Maschine.

Viscount Mahon, besser bekannt als 3rd Earl Stanhope (1753-1816) entwirft 1777 eine Rechenmaschine[11] mit nebeneinander angeordneten Sprossenrädern

10 Die Maschine ist heute im Besitz des Technischen Museums für Industrie und Gewerbe in Wien.

11 Die originale Maschine befindet sich im Science Museum London. Sie ist im Katalog des Museums (Lit. 8) beschrieben und abgebildet.

und seitlicher Kurbel. Der Beschreibung lässt sich entnehmen, dass zunächst mit einem Stift die gewünschten Ziffern entlang eines Sektors am Umfang eingestellt werden. Von den neun vorhandenen Sprossen auf jedem Rad kommt nur eine bestimmte Anzahl zum Eingriff, weil das Sprossenrad danach eine Bewegung seitwärts machen und die restlichen Sprossen ausser Eingriff kommen.

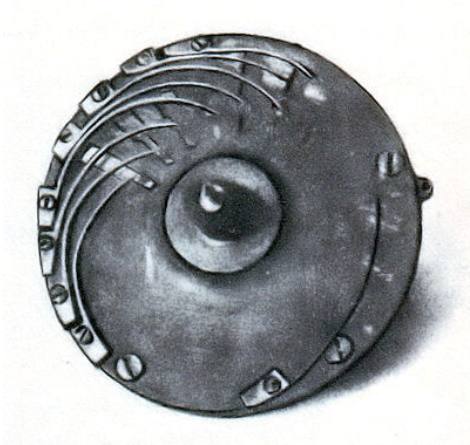


Bild 16: Das Sprossenrad bei Roth

Didier Roth stellt 1841 eine zylindrische Rechenmaschine[12] mit einem zentralen Sprossenrad (Bild 16) vor. Der bekannte Konstrukteur Franz Trinks bei der Firma Grimme, Natalis u. Co. in Braunschweig bezeichnet im Jahr 1926 das Sprossenrad als „von brauchbarer Ausführung“ und schreibt über dessen Funktion:

> „Die Sprossen werden in der Ruhelage durch Federn im Radinnern zurückgehalten und bei der Werteinstellung in die Arbeitslage vorgeschoben“ (Lit. 31).

In der kurzen Beschreibung bei d'Ocagne ist zusätzlich noch ein Exzenter erwähnt, der die Sprossen nach aussen schiebt (Lit. 2 und 26).
Im Zusammenhang mit Roth muss auf David Isaak Wertheimber hingewiesen werden, der als Agent für Roth in England auftrat. In der Patentschrift GB9616 aus dem Jahr 1843 stellt er die längliche Addiermaschine und die runde Vierspezies-Maschine von Roth vor. Dazu zeigt er mehrere mögliche Ausführungen des Sprossenrads, das er „development wheel“ nennt (Bild 17). Eine dieser Ausführungen mit Federn und Exzenter bestätigt die Beschreibungen von oben. Mehr war über die Maschine von Roth nicht in Erfahrung zu bringen.

12 Die Maschine wird im Musée des arts et métiers, Paris, Inv.Nr. 11315-00100-000 aufbewahrt.

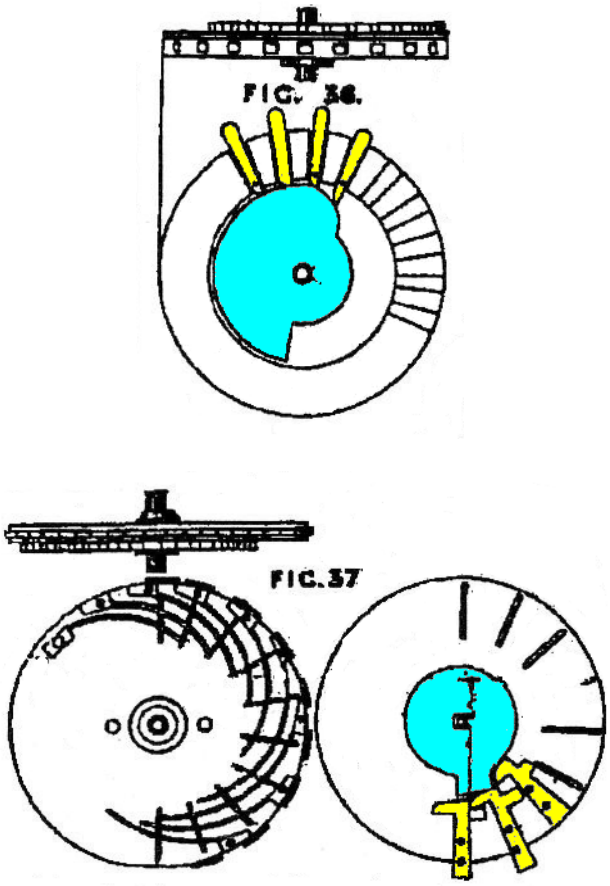


Bild 17: Sprossenräder bei Wertheimber

Mit Federn im Sprossenrad arbeiten auch Heirich Esser[13] (DE82965, Bild 18) und Frank Stephen Baldwin (US159244, Bild 19). Beide setzen für jede Stelle im Resultatwerk ein Sprossenrad ein.

Esser verwendet eine Taste, um die Sprossen gegen eine Blattfeder in die Gebrauchslage zu bringen. Mit dem Drücken der Taste wird gleichzeitig das Rad gedreht damit die Sprossen wirksam bleiben.
Bei Baldwin ist ein kleiner Knopf mit einem halbkreisförmigen Stellring verbunden, der die Sprossen nach aussen schiebt, während Federn deren Rückführung bewirken.

13 Eine Maschine von Esser wird im Arithmeum Bonn aufbewahrt (s. Lit. 6)

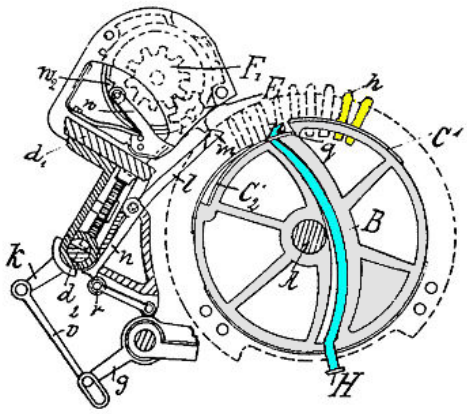


Bild 18: Das Sprossenrad bei Esser

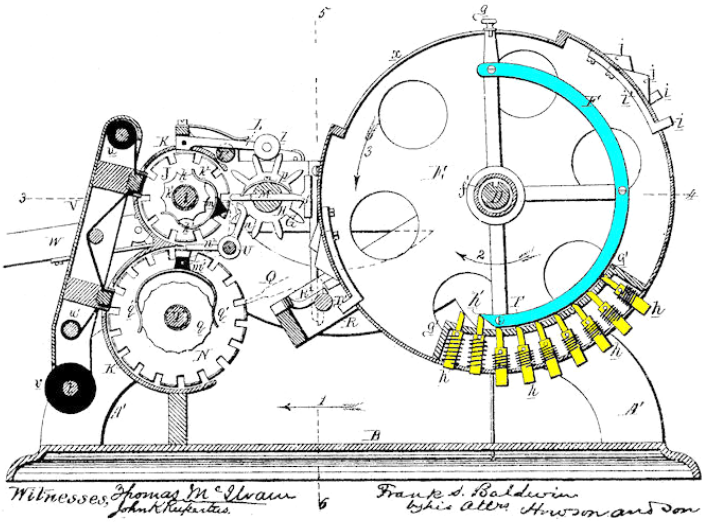


Bild 19: Das Sprossenrad bei Baldwin

Der bereits zuvor erwähnte David Isaak Wertheimber zeigt in seiner Patentschrift GB9616 von 1843 auch ein Sprossenrad, das insofern bemerkenswert ist, als es einen Mechanismus für die Verschiebung der Sprossen aufweist, den spätere Konstrukteure übernehmen (Bild 20).

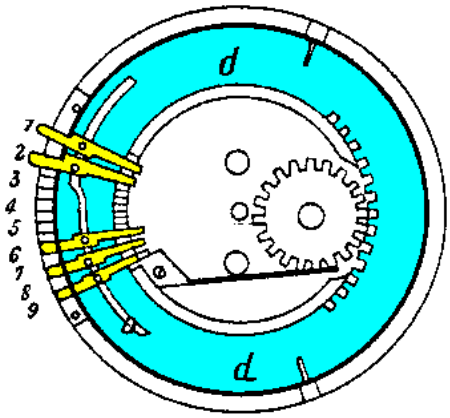


Bild 20: Ein Sprossenrad bei Wertheimber

Die Sprossen sind in einem Trägerrad gelagert. Seitliche Stifte an den Sprossen ragen in eine Führung einer drehbaren Scheibe, auch Kurvenscheibe genannt. Diese Führung verläuft entlang zweier Radien mit einer Stufe dazwischen, sodass die Sprossen zwangsweise vor- und zurück verschoben werden. Ein Versagen des Mechanismus als Folge eines Federbruchs ist ausgeschlossen.

Willgodt Theophil Odhner wählt für seine Rechenmaschine als Schaltorgan ebenfalls das Sprossenrad. Möglicherweise kannte er das Patent von David Wertheimber. Wie in Bild 21 aus DE7393 zu erkennen werden die Sprossen von einer Kurvenscheibe bewegt und gehalten. Durch Verdrehen der Kurvenscheibe werden die Sprossen nacheinander nach vorn geschoben oder zurückgezogen. Eine Nase der Kurvenscheibe steht über das Deckblech hinaus und dient als Anfasser[14] beim Einstellen der Ziffer.

14 Der kurze Anfasser dreht sich mit dem Sprossenrad. Die Firma Grimme, Natalis u. Co. hat sehr früh einen Einstellmechanismus entwickelt, bei dem die Einstellhebel bei Drehen der Kurbel stehen bleiben und deshalb lang ausgeführt werden können (vgl. hierzu die Patentschriften AT28185 und AT32602).

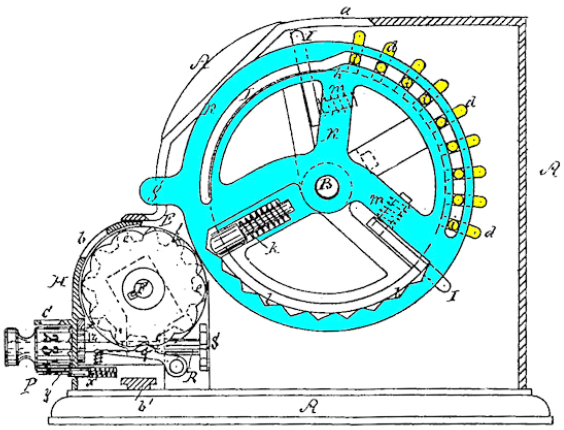


Bild 21: Das Sprossenrad bei Odhner in DE7393

Bild 22: Sprossenrad aus einer Triumphator.

Der Wechsel zwischen Addition und Subtraktion geschieht durch Ändern der Drehrichtung der Kurbel.
Für jede Stelle im Resultatwerk ist ein Sprossenrad vorgesehen. Mehrere Sprossenräder nebeneinander auf einer gemeinsamen Welle geben den „Sprossenradmaschinen“, wie die Maschinen von Odhner und ihre Nachfolger anderer Hersteller genannt wurden, ihr charakteristisches Aussehen mit vorgewölbter Bedienplatte, Einstellen der Ziffern mittels verschiebbarer Hebel in senkrechten Schlitzen sowie Resultatwerk unten und Kurbel an der Seite.

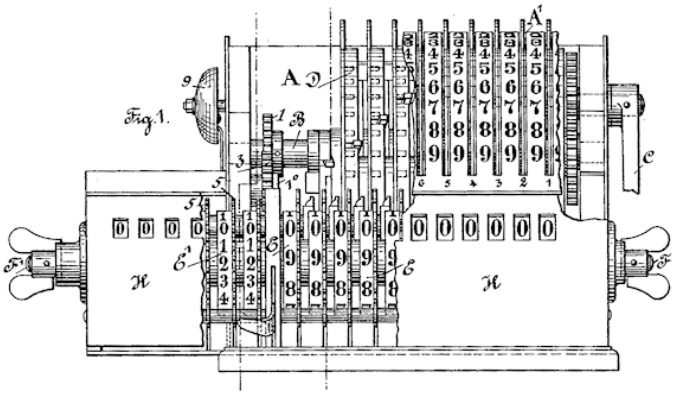


Bild 23: Rechenmaschine System Odhner mit Sprossenrädern

Otto Büttner[15] ersetzt in DE47243 den Einstellhebel durch eine gerändelte Scheibe, die über das Deckblech hervor steht (Bild 24).

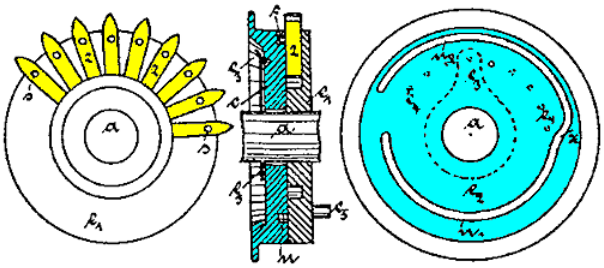


Bild 24: Das Sprossenrad bei Brückner / Büttner

In der Patentschrift bezieht er sich auf das Patent DE7393 für Odhner und betrachtet das Drehen der Kurbel vor und zurück für Additionen bzw. Subtraktionen als Nachteil. Ob das aus seiner Sicht tatsächlich ein Nachteil war oder er nur sein System positiv hervorheben wollte sei dahin gestellt. An seiner Maschine ist nur eine Drehrichtung der Kurbel zulässig, für den Wechsel Addition / Subtraktion dient ein Umschalter.
In einer „Anweisung zum Gebrauche der Büttner'schen Rechenmaschine“ aus dem Jahr 1889 hingegen wird angegeben, dass die Umschaltung zwischen Addition und Subtraktion sowohl mittels eines Umschaltknopfes als auch durch den Wechsel der Drehrichtung der Kurbel möglich ist.

Ein weiterer Konstrukteur, der Sprossenräder mit Kurvenscheiben verwendet, ist W. Küttner (Patent DE84269, Bild 25).

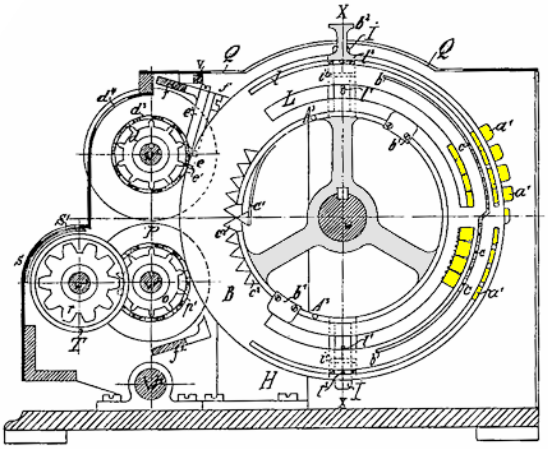


Bild 25: Das Sprossenrad bei Küttner

15 Der als Anmelder ebenfalls genannte Wilhelm Brückner war für den Vertrieb zuständig.

► Die Stellzahnwalze

Bevor er ein Sprossenrad als Schaltorgan verwendet entwirft der bereits oben erwähnte Earl Stanhope 1775 eine Rechenmaschine[16] mit gänzlich anderem Schaltorgan. Die Ausführung des Schaltorgans wird in der Literatur nicht beschrieben, es hat deshalb keinen charakteristischen Namen erhalten. Wegen der Ähnlichkeit mit den Stellzahnstangen hinsichtlich der Relativbewegung zwischen Rechenwerk und Schaltorgan liegt die Bezeichnung *Stellzahnwalze* nahe.
Das Resultatwerk ist bei dieser Maschine fest mit dem Rahmen verbunden, während die Schaltorgane in einem beweglichen Wagen gelagert sind. In Bild 26 oben sind drei von ihnen gelb markiert. Die roten Pfeile zeigen an, dass dieser Wagen sowohl seitlich verschoben als auch zum Bediener hin gezogen und wieder zurück geschoben werden kann. Die Querbewegung dient dazu, dass die an den Schaltorganen eingestellte Zahl in unterschiedlichen Positionen relativ zum Resultatwerk wirken kann.

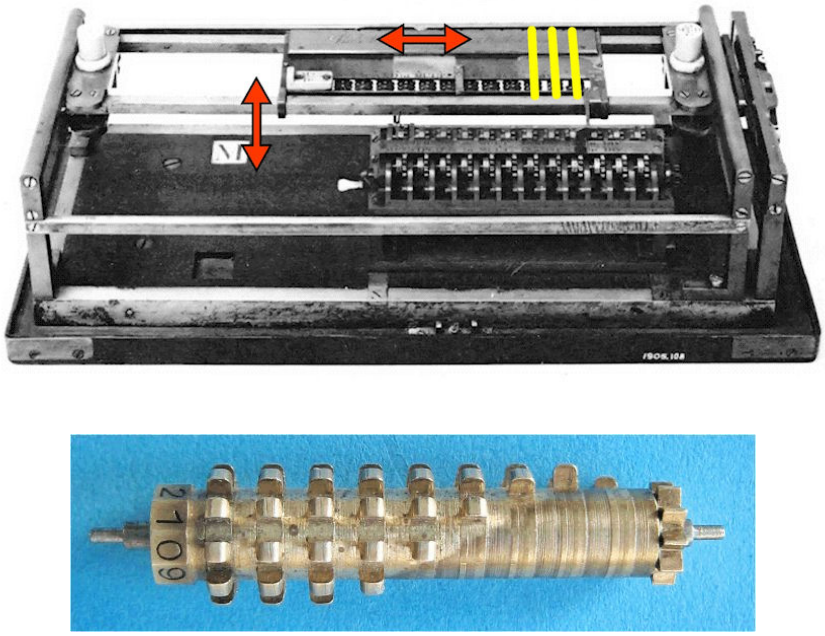


Bild 26: Rechenmaschine Earl Stanhope 1775,
oben: Gesamtansicht, unten: ein Schaltorgan

Bild 26 unten zeigt ein Schaltorgan der Maschine. Auf einer Walze sind entlang der Längsachse nebeneinander Reihen mit einem bis 9 Zähnen angebracht, die während der Bewegung über das Resultatwerk abgetastet werden. Eine zehnte Reihe ist frei, sie besitzt keinen Zahn zur Darstellung der Zahl 0.

16 Das Original befindet sich im Science Museum London. Es ist im Katalog des Museums (Lit. 8) beschrieben und abgebildet, das Arithmeum Bonn besitzt einen Nachbau.

Die Auswahl der Zahnreihe, die zur Wirkung kommen soll, erfolgt durch Drehen der Walze. Als Einstellhilfe dienen die zehn Ziffern am linken Ende.

Für eine Addition wird der eine Faktor zunächst am beweglichen Wagen eingestellt und dieser sodann zum Benutzer hin über das Resultatwerk gezogen. Für den Rückweg muss der Wagen über eine mechanische Weiche links und rechts im Gestell angehoben werden, damit keine Subtraktion der zuvor addierten Zahl stattfindet. Eine gewollte Subtraktion wird in umgekehrter Reihenfolge der Bewegungen des Wagens ausgeführt.
Die Maschine weist Nachteile auf, sie ist schwierig zu bedienen und weitgehend unbekannt geblieben.

► Die Schaltscheibe

Hamann geht zu Beginn des 20. Jahrhunderts ebenfalls von Zahnreihen mit einem bis 9 Zähnen aus. Für die erste Ausführung seiner runden Rechenmaschine Gauss sind diese entlang konzentrischer Kreise auf dem zentralen Schaltorgan angebracht (Patent DE194527, Bild 27, s. a. Lit. 10).

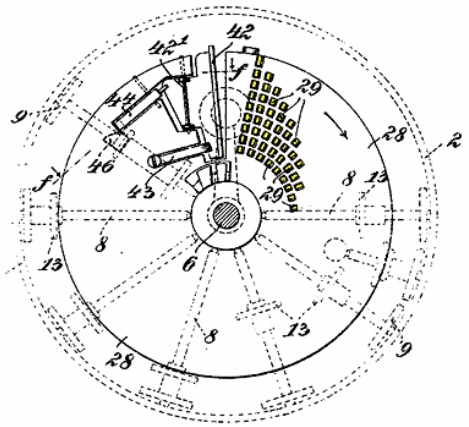


Bild 27: Die Schaltscheibe in der Rechenmaschine Gauss

In der Patentschrift nennt er dieses Schaltorgan *Schaltscheibe*. Für das Einstellen einer Ziffer wird ein Einstellknopf mit einem kleinen Zahnrad, dem Abtastrad, in seinem radialen Schlitz verschoben, damit es später entsprechend der Ziffer mit der gewünschten Zahl von Zähnen in Eingriff kommt. Eine Position ganz aussen bringt dieses Zahnrad ausser Eingriff und entspricht der Ziffer 0.

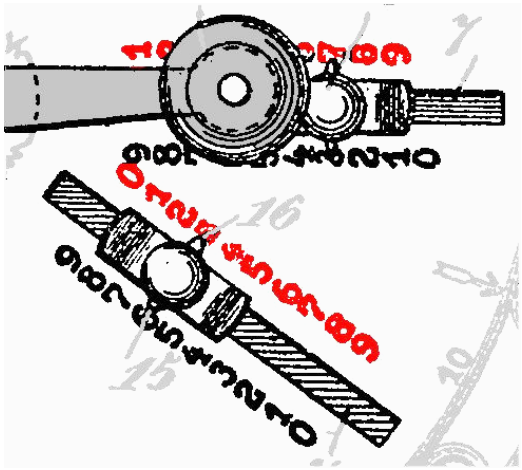


Bild 28: Die Einstellschieber für Einer und Zehner an der Rechenmaschine Gauss

Die Schaltscheibe kann man in nur einer Richtung drehen. Die Umkehr der Drehrichtung mittels Zwischenrädern lässt sich in diesem Konzept nicht realisieren. Subtraktionen müssen daher mittels Komplementzahlen ausgeführt werden. Der Einsatz der Komplementzahlen wird dem Benutzer auferlegt, er muss sie entlang einer zweiten Reihe von roten Ziffern neben den Einstellknöpfen auswählen (Bild 28). Man beachte, dass es in dieser Ausführung zwei verschiedene Ziffern 0 gibt, eine rote und eine schwarze, und dass sich die Ziffern rechts und links des Schlitzes für einen Einstellknopf zu 9 ergänzen, am Einstellknopf für die Einer – in Bild 28 waagerecht angeordnet – zu 10. Der Grund hierfür liegt in der Methode der Subtraktion mittels Komplementzahlen.

Zufrieden ist Hamann mit dieser Ausführung offensichtlich nicht.
In DE210661 zeigt er eine Lösung des Problems: alle Zähne auf der Schaltscheibe, die für die Addition benötigt werden und alle Zähne, die für die Subtraktion benötigt werden, bilden zwei Dreiecke (Bild 29).

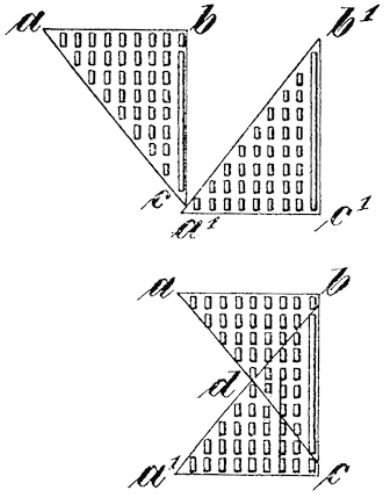


Bild 29: Das Konzept der Schaltscheibe in DE210661

Diese beiden Dreiecke legt er übereinander. Jene Gruppe von Zähnen, die in beiden Dreiecken vorkommen, ist auf der Schaltscheibe fest montiert. Die beiden anderen Gruppen werden wechselweise durch Hochheben zur Wirkung gebracht. Auslöser hierfür ist ein Umschalter für Addition bzw. Subtraktion auf der Bedienfläche. Die neue Schaltscheibe ist in Bild 30 dargestellt. Die Addition der 1 auf der Einerstelle, wie sie bei Subtraktionen mit Komplementzahlen erforderlich ist, bewirkt ein weiterer Zahn, der nur in diesem Zustand zur Wirkung kommt. Die beschriebene Schaltscheibe wird in der Rechenmaschine Mercedes Gauss eingebaut.

Bild 30: Die Schaltscheibe in der Rechenmaschine Mercedes Gauss

Bevor wir mit Hamanns Entwürfen fortfahren muss an dieser Stelle auf die bekannte Rechenmaschine Curta eingegangen werden.
Herzstark nennt das zentrale zylindrische Schaltorgan in der Curta Staffelwalze, es hat allerdings mit einer Staffelwalze, wie wir sie üblicherweise als solche bezeichnen, wenig zu tun. Vielmehr sind auch hier wie auf der Schaltscheibe bei Hamann zwei Dreiecke aus Zähnen übereinander gelegt (Bild 31), eines für die Addition und eines für die Subtraktion.

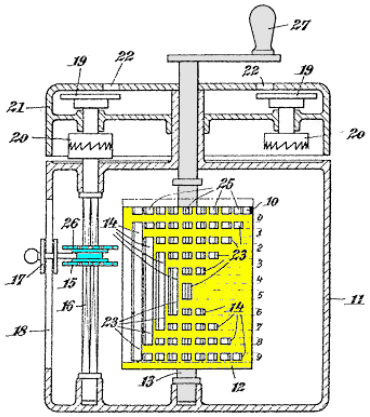


Bild 31: Die Rechenmaschine Curta

Die Umschaltung erfolgt nicht über einen Schalter sondern einfach durch Hochheben oder Absenken der Walze entlang ihrer Achse. Bild 32 zeigt die möglichen Positionen und deren Wirkungen auf das Rechenwerk.

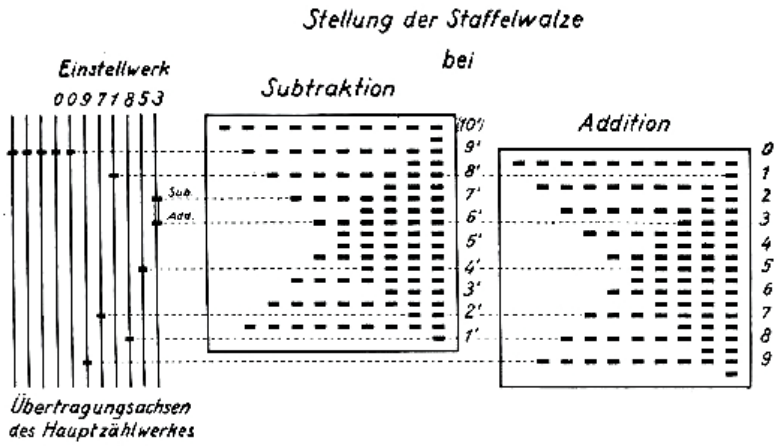


Bild 32: Die Positionen des Schaltorgans in der Curta

Zurück zu Hamann, dessen Ideen sich an Hand seiner Patente gut verfolgen lassen. Detlev Bölter hat diesen Weg in seinem Aufsatz über die Rechenmaschine Gauss 4 (Lit. 11) soweit wie möglich rekonstruiert. Es ist diese Vielfalt

der Schaltorgane, abgeleitet aus Varianten der Lage oder der Bewegung, die Hamanns Ingeniosität kennzeichnen.

Hamann verallgemeinert in der Patentschrift DE210661 den Gedanken der übereinander liegenden Dreiecke und zeigt zwei weitere Ausführungsformen der Schaltorgane. So könnte eine Walze am Umfang Wellen tragen, die alle mit zwei verschieden langen Zähnen ausgestattet sind (Bild 33).

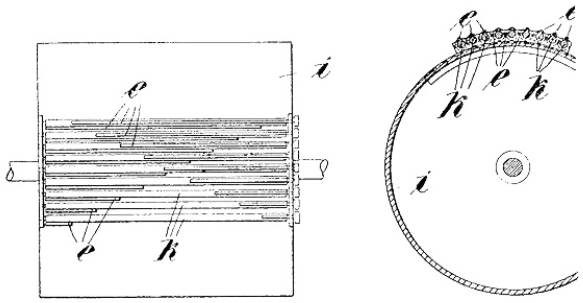


Bild 33: Entwurf eines Schaltorgans von Hamann

Durch gleichzeitiges Verdrehen der Wellen mit einem Zahnsegment kommt wechselweise die Zahngruppe der Addition oder die der Subtraktion zur Wirkung. Eine Maschine mit Schaltorgan dieser Bauart wurde serienmässig nie hergestellt. Auch ein Prototyp ist bisher nicht bekannt.

► Die Staffelplatte

Eine weitere Ausführungsform in Hamanns Entwürfen zeigt eine Platte, auf der unterschiedlich lange Zähne parallel zueinander gelagert sind und verschoben werden können (Bild 34 links).

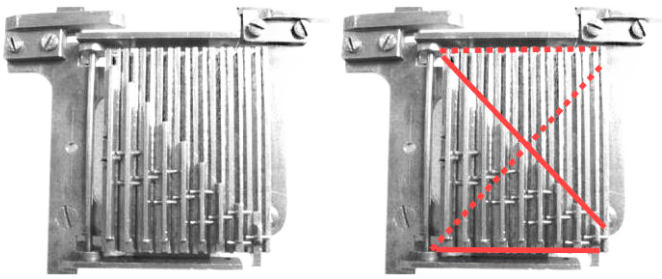


Bild 34: Die Staffelplatte von Hamann

Die Zähne nehmen nur zwei Positionen ein: entweder sie befinden sich wie in Bild 34 rechts gezeigt im Raum zwischen der durchgezogenen Diagonalen und

dem unteren Rand der Platte oder zwischen der gepunkteten Diagonalen und dem oberen Rand.

Die Umstellung erfolgt mittels eines Wechselschalters für Addition und Subtraktion auf der Deckplatte der Maschine. Diese *Staffelplatte*[17] bewegt sich wie in Bild 35 mit einem roten Pfeil markiert linear unter dem Einstellwerk hin und her. Die Stellungen der von den Einstellknöpfen geführten Abtasträdern bestimmen, welche Ziffern in das Resultatwerk übertragen werden.

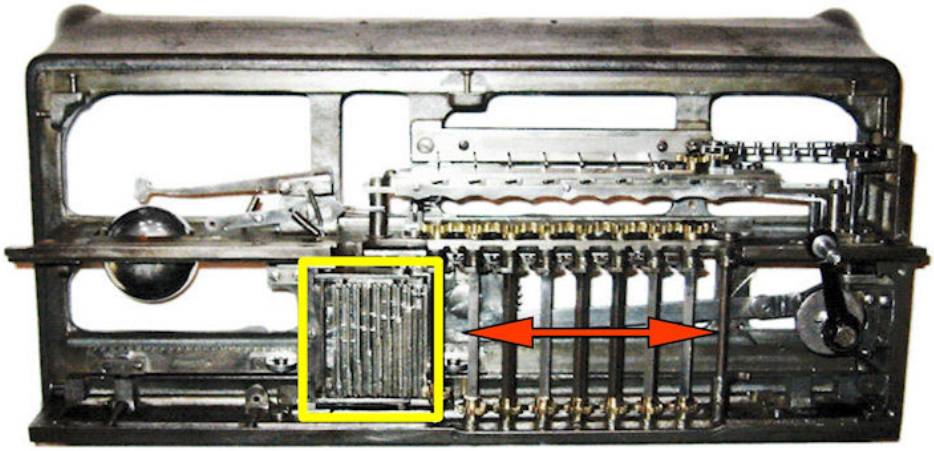


Bild 35: Die Rechenmaschine Gauss 4 von Hamann

Die translarorische Bewegung der Staffelplatte erfordert, dass sie bei der Rückbewegung ausser Eingriff mit den Zahnrädern des Einstellwerks kommt. Erreicht wird dies durch Absenken der Platte in der Rückbewegung.
Die Kurbel lässt sich in beide Richtungen drehen. Auf das Resultat hat die Drehrichtung keine Auswirkung, jedoch auf das Umdrehungszählwerk.

Hamanns Rechenmaschine mit Staffelplatte war bis zum Auffinden eines einzelnen Exemplars mit der Bezeichnung Gauss 4 im Jahr 2007 unbekannt. Detlev Bölter beschreibt in einem Aufsatz umfassend die Restauration und die Funktion der Maschine (Lit. 11).

► Die Proportionalhebel

Dreht man die Staffelplatte um 90 Grad ergibt sich eine Struktur mit waagerecht angeordneten Zahnstangen, deren Längen zueinander proportional sind. Damit ist ein Prinzip vorgegeben, das auch bei einer weiteren Erfindung

17 Hamann verwendet die Bezeichnung Staffelplatte nicht, sie ist jedoch naheliegend und wird wie schon erstmals bei Bölter (Lit. 11) im Folgenden weiter verwendet.

Hamanns wieder auftritt. Gemeint ist das System der *Proportionalhebel*. In Bild 36 ist dieses System schematisch dargestellt.

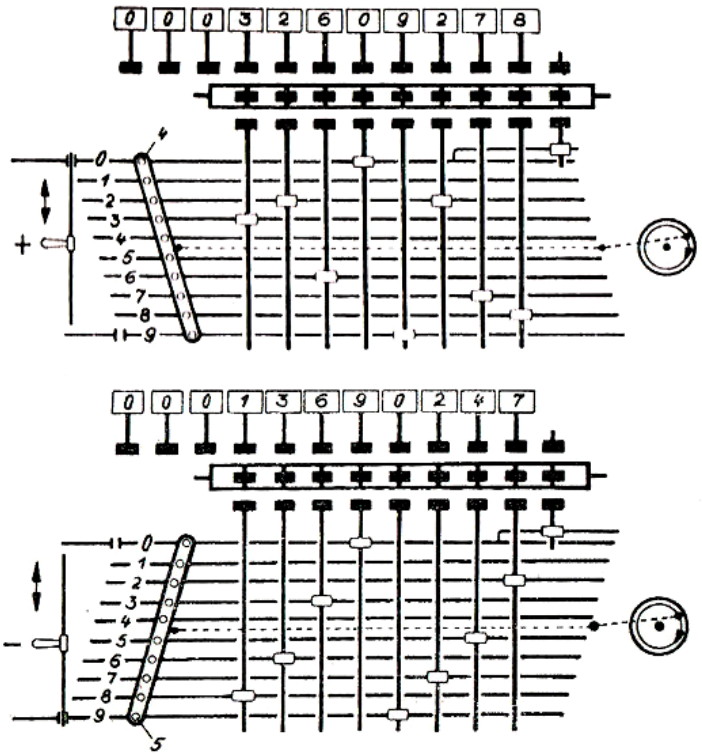


Bild 36: Das System der Proportionalhebel

Zehn parallel angeordnete Zahnstangen sind mit einem Schwinghebel verbunden, der von einer Kurbel angetrieben wird. Fixiert man den Schwinghebel an einer Stelle aussen, an der auch eine Zahnstange befestigt ist, dann bewegt sich diese Zahnstange nicht, die übrigen bewegen sich, abhängig von ihrem Abstand vom Fixierpunkt, über die Strecke von einem, zwei, drei usw. Zähnen.
Der Schwinghebel besitzt zwei Fixierpunkte, die wahlweise als der Zustand Addition bzw. Subtraktion eingesetzt werden. Bild 36 zeigt oben die Addition, unten die Subtraktion.
Die Verschiebung der Zahnstangen wird mittels kleiner verschieblicher Zahnräder im Einstellwerk abgegriffen und zum Resultatwerk übertragen.

Subtraktionen werden mittels Komplementzahlen ausgeführt. Dies ist möglich, weil sich die Verschiebungen jeder Zahnstange bei Addition und Subtraktion zu 9 ergänzen.
Eine kleine zehnte Zahnstange führt die bei Subtraktionen notwendige 1 in die Rechnung ein. Weil es sich hier um eine translatorische Bewegung handelt

dürfen die Zahnstangen während des Rücklaufs keinen Einfluss auf die Zahnräder des Einstellwerks nehmen. Diese Forderung wird hier nicht durch Abheben der Zahnstangen sondern durch Entkuppeln des Antriebs vom Einstellwerk zum Resultatwerk über eine weitere Reihe von Zahnrädern erreicht.

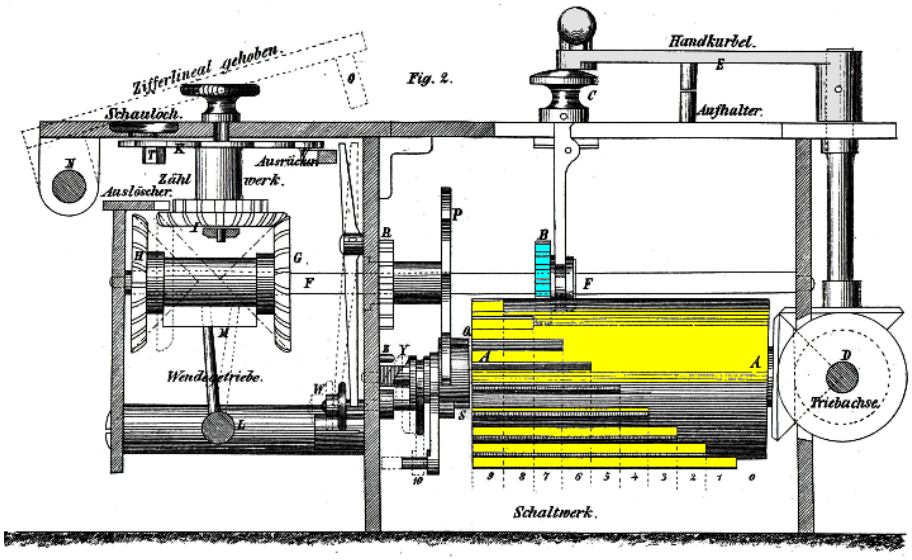
Proportionalhebel sind in Rechenmaschinen der Baureihe Mercedes-Euklid eingebaut. Eine umfassende Beschreibung des ersten Modells dieser Rechenmaschine findet sich in DE209817 sowie in Lit. 20.

► Die Staffelwalze

Ein weiteres Schaltorgan, das bisher noch nicht besprochen wurde, ist die *Staffelwalze*. Sie gehört neben dem Sprossenrad zu den am häufigsten gewählten Schaltorganen.

Ihre Funktion ist an Hand Bild 37 oben schnell erklärt: auf einem zylindrischen Körper sind nebeneinander und parallel zur Drehachse unterschiedlich lange Zähne angebracht. Die Staffelung der Zähne gibt ihr den Namen. Mit dem Einstellknopf lässt sich das Abtastrad, parallel zur Staffelwalze verschieben. Bei einer vollständigen Umdrehung der Staffelwalze wird es, abhängig von seiner Stellung, von einem bis neun Zähnen oder auch von keinem Zahn mitgenommen.

Das Abtastrad sitzt auf einer Vierkantwelle und gibt über ein umschaltbares Winkelgetriebe seine Drehung an das Zählrad weiter. Die Staffelwalze lässt sich in dieser Anordnung nur in einer Richtung drehen, das Winkelgetriebe wechselt die Drehrichtung für die Stellen des Resultatwerks bei Addition bzw. Subtraktion.



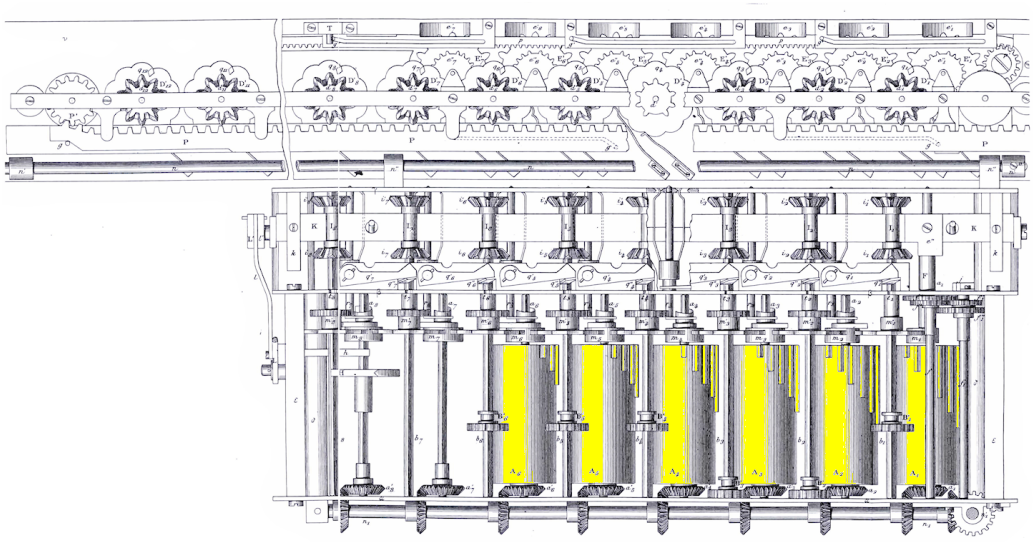


Bild 37: Rechenmaschine mit Staffelwalzen System Thomas.
oben: Querschnitt einer Stelle, unten: Ansicht von hinten

Für jeder Stelle im Einstellwerk ist eine Staffelwalze vorgesehen (Bild 37 unten). Ihr Antrieb erfolgt über eine gemeinsame Welle und Kegelräder. Diese Anordnung verleiht den „Staffelwalzen-Maschinen“, wie sie auch genannt wurden, ihre charakteristische länglich-flache Form mit dem Resultatwerk hinten und der Kurbel an der rechten Seite.

Die oben beschriebene Anordnung wählt Charles Xavier Thomas für alle seine Rechenmaschinen ab etwa 1820, einem Zeitpunkt, der als Beginn der industriellen Fertigung angesehen wird. Spätere Hersteller übernehmen diese Anordnung bei ihren Maschi-

nen, z. B. in den Modellen Burkhardt, Saxonia, Austria, Archimedes, Tim / Unitas und wie sie alle heissen.

Erstmals begegnet uns die Staffelwalze bei Gottfried Wilhelm Leibniz, der sie in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts in seiner Rechenmaschine verwendet, ebenfalls für jede Stelle eine und nebeneinander angeordnet.

Karl Duschanek wählt für seine Maschine die lineare Anordnung und für jede Stelle eine Staffelwalze, die er in der Patentschrift DE26778 „Schaltwalze“ nennt. Allerdings ordnet er er die Staffelwalzen vertikal an (Bild 38). Sie werden zum Einstellen einer Ziffer vertikal verschoben, während das Abtastzahnrad in gleicher Höhe verbleibt. Die Höheneinstellung der Schaltwalzen erfolgt über Schrauben an den Achsen (in Bild 38 mit **h** bezeichnet) auf der Deckplatte.

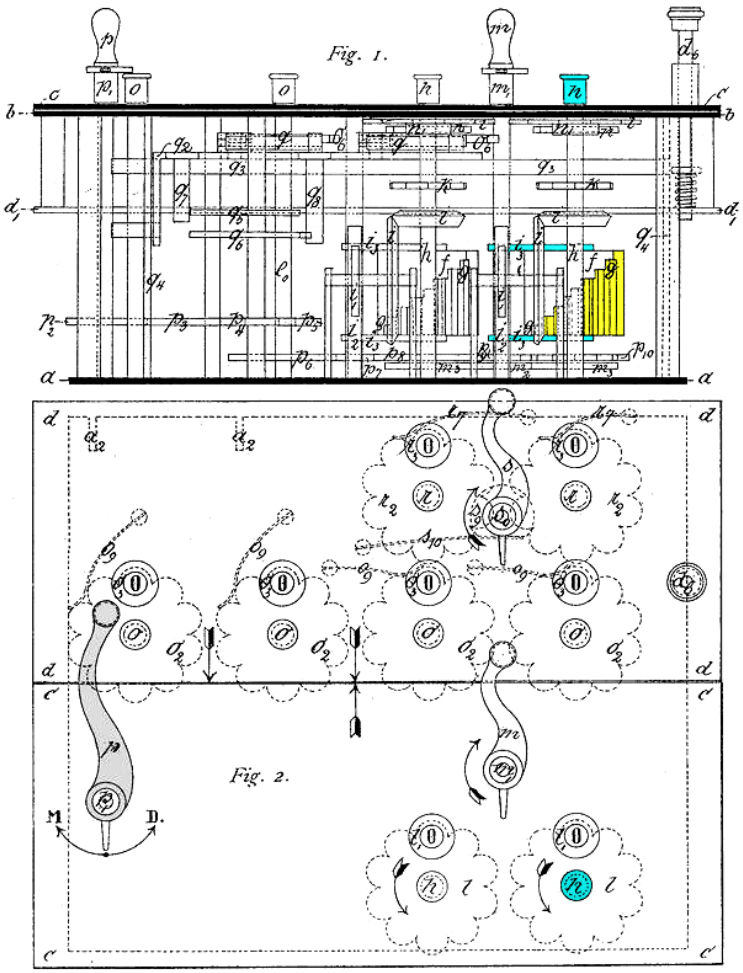


Bild 38: Die Maschine von Duschanek

Die Antriebskurbel (links in Bild 38 mit **p** bezeichnet) wird für Addition oder Subtraktion nach beiden Richtungen gedreht. Die anderen Kurbeln **m** und **s** im Bild dienen zum Nullstellen.

Zylindrische Maschinen mit Staffelwalzen gibt es in mehreren Ausführungen. Die runde Bauart wählen der Pfarrer Philipp Matthäus Hahn und sein Schwager Johann Christoph Schuster für ihre Rechenmaschinen. Beide gehen von einem feststehenden kreisförmigen Einstellwerk aus, in dem für jede Stelle eine Staffelwalze stehend eingebaut ist (Bild 39). Der Wagen mit Resultatwerk und Umdrehungszählwerk ist in der Mitte der Maschine drehbar gelagert. Die Einstellung der Ziffern erfolgt durch Anheben der Staffelwalze, entweder mittels einer Stange oder über einen Drehknopf. Die Staffelwalzen werden über die zentrale Kurbel von einem rotierenden Zahnsegment angetrieben. Abtasträder, die mit ihnen in Eingriff stehen, übertragen die eingestellte Zahl in das Resultatwerk.
Für die Subtraktion sind rote Zahlen vorgesehen, d. h. Hahn arbeitet mit Komplementzahlen.

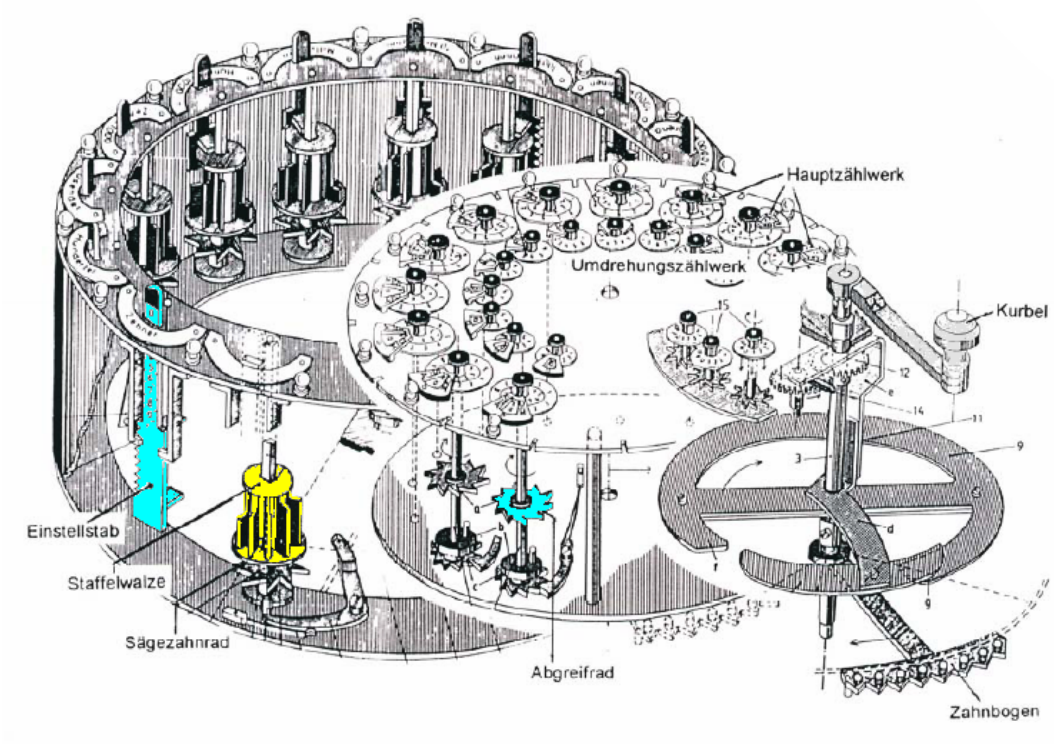


Bild 39: Die Rechenmaschine von Hahn

Johann Helfrich Müller geht bei seiner Rechenmaschine von 1782/84 ebenfalls von der runden Form aus. Sie besteht wie schon bei Hahn aus einem feststehenden äusseren Ring und einem beweglichen Mittelteil. Die Staffelwalzen, für jede Stelle eine, sind radial und liegend angeordnet. An Stelle von Stangen

dienen Einstellräder zum Verstellen der Staffelwalzen. In einer aufwendigen Mechanik überträgt sich das Drehen an einem Einstellrad aussen am Zylindermantel über eine Kette auf einen Schlitten, der wiederum die Staffelwalze trägt (Bild 40).
Für Addition und Subtraktion verwendet er schwarze und rote Ziffern.

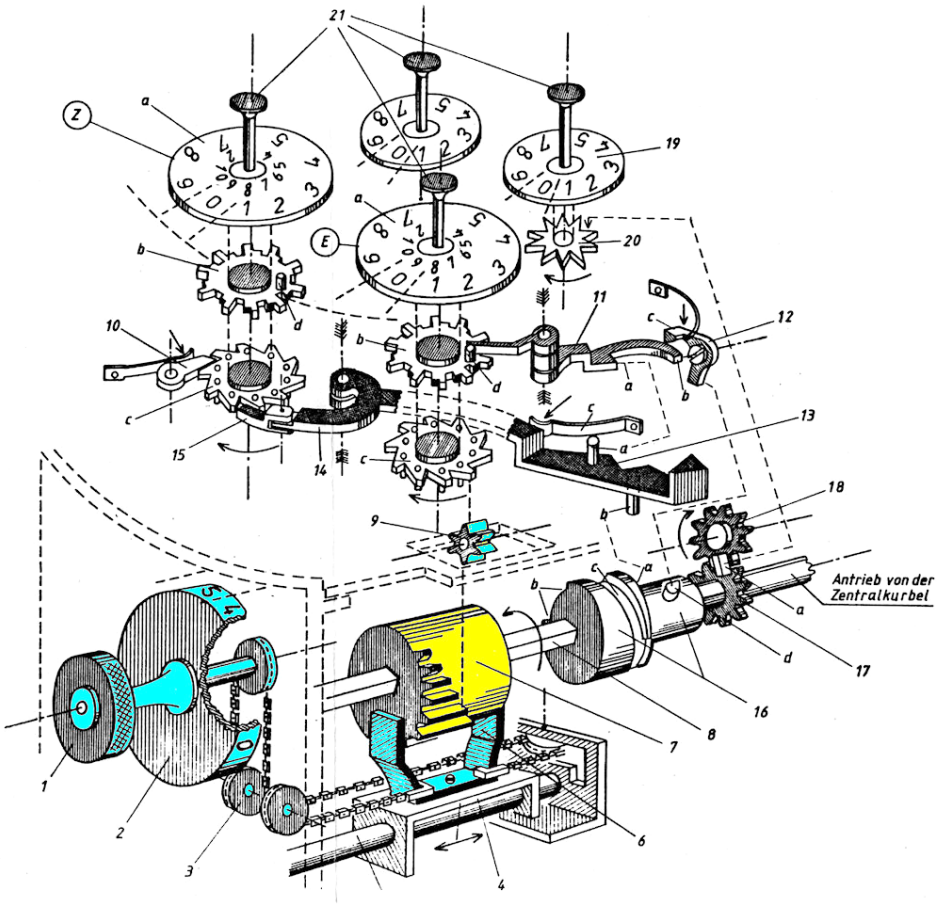


Bild 40: Die Rechenmaschine von Müller

Eine weitere runde Rechenmaschine mit radial angeordneten liegenden Staffelwalzen stellt Joseph Edmondson 1883 in der Patentschrift GB16 vor (Bild 41)[18]. Das System aus Einstellhebel, Staffelwalze und Abtastrad an jeder Stelle im Einstellwerk entspricht weitgehend dem von Thomas. Die in Bild 41 oben sichtbare zweite gestaffelte Walze rechts neben der eigentlichen dient in Verbindung mit einem Sternrad zum Fixieren von Staffelwalze und Abtastrad solange diese nicht gedreht werden.

18 Edmondson zeigt in seiner Patentschrift auch eine gerade Ausführung seiner Rechenmaschine, die jedoch, soweit bisher bekannt, nie gebaut wurde.

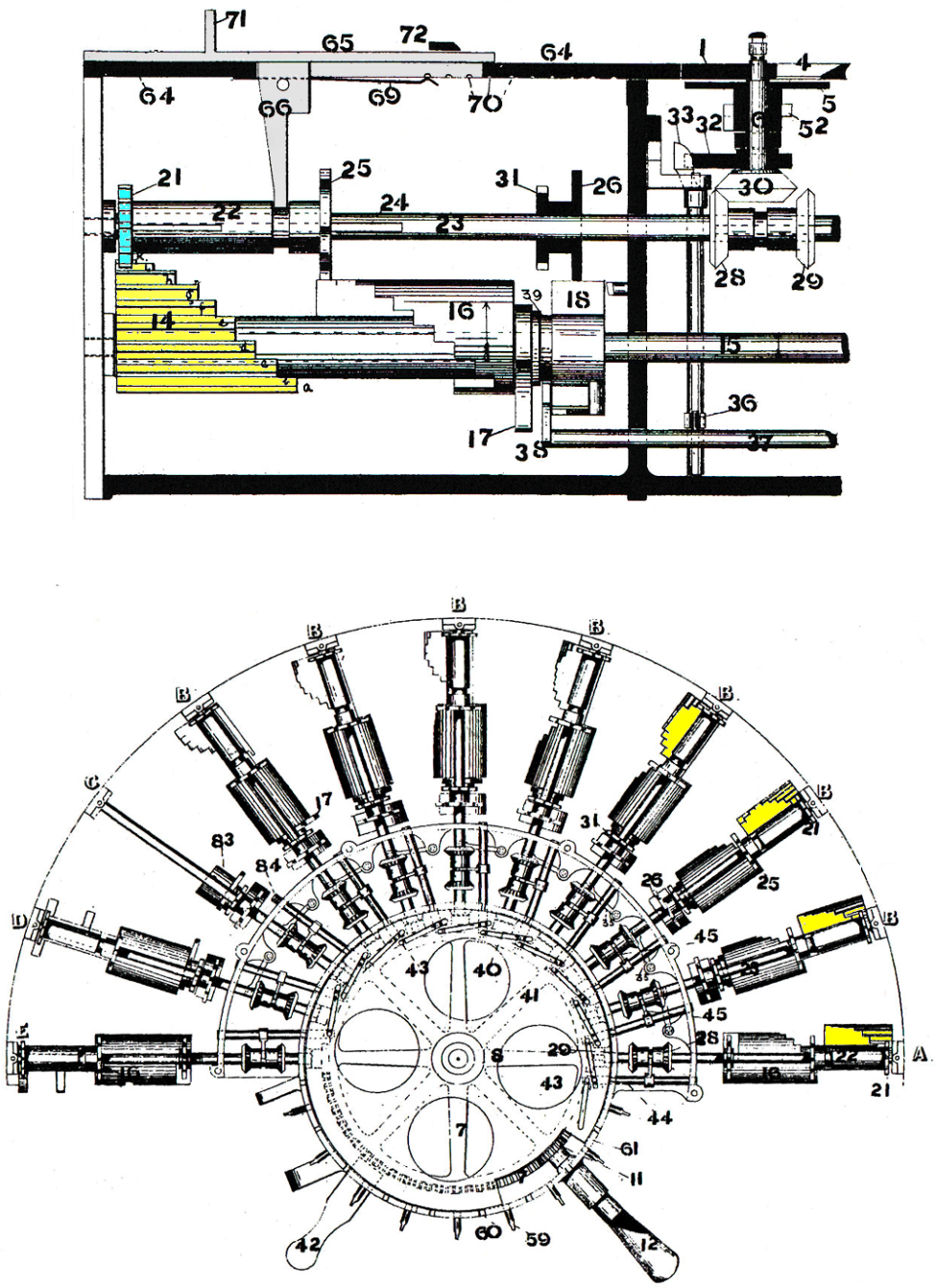


Bild 41: Die Rechenmaschine von Edmondson,
oben: Querschnitt durch eine Stelle,
unten: radiale Anordnung der Staffelwalzen

Erwähnt werden soll an dieser Stelle auch die Rechenmaschine Arithmaurel der Uhrmacher Maurel und Jayet. Sie arbeitet mit zentrisch angeordneten Staffelwalzen (Patent FR2717, Bild 42). Wegen ihres sehr komplizierten Me-

chanismus wird auf die Maschine nicht weiter eingegangen und auf die Erläuterungen bei Marguin (Lit. 23) verwiesen.

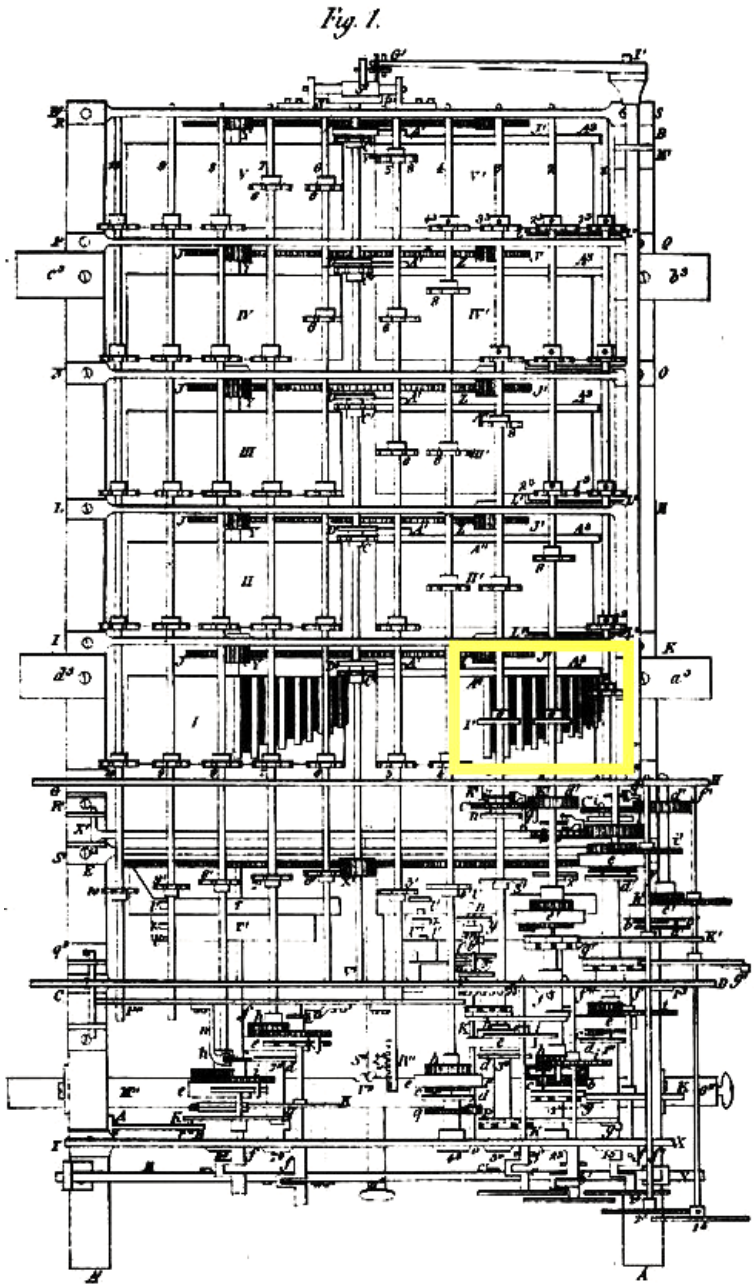


Bild 42: Die Rechenmaschine Arithmaurel

Auf die zentrale einzelne Staffelwalze greifen Konstrukteure ebenfalls zurück. Zu ihnen gehören Paul Haack in DE117682 (Bild 43) und Christel Hamann, dessen Vorname mit Christian angegeben wird, in US703785. Haack gebraucht in seiner Patentschrift den Ausdruck „Stufenwalze“ an Stelle von Staffelwalze, bei Hamann finden wir die englischen Begriffe „driver“ oder „stepped driver“. Die Anordnung der Staffelwalze bringt mit sich, dass das

Einstellwerk seitlich am Umfang des zylindrischen Gehäuses angeordnet ist. Beide Patente arbeiten bei Subtraktion mit entgegengesetzter Kurbeldrehung. Die Zeichnungen in den Patentschriften ähneln sich auffallend stark. Detlev Bölter berichtet in einem Aufsatz (Lit. 10) über ein vor kurzem aufgefundenes Fragment einer Rechenmaschine mit zylindrischer Staffelwalze, die auf den genannten Patenten fusst sowie über den möglichen Verlauf eines Patentstreits zwischen Hamann und Haack.

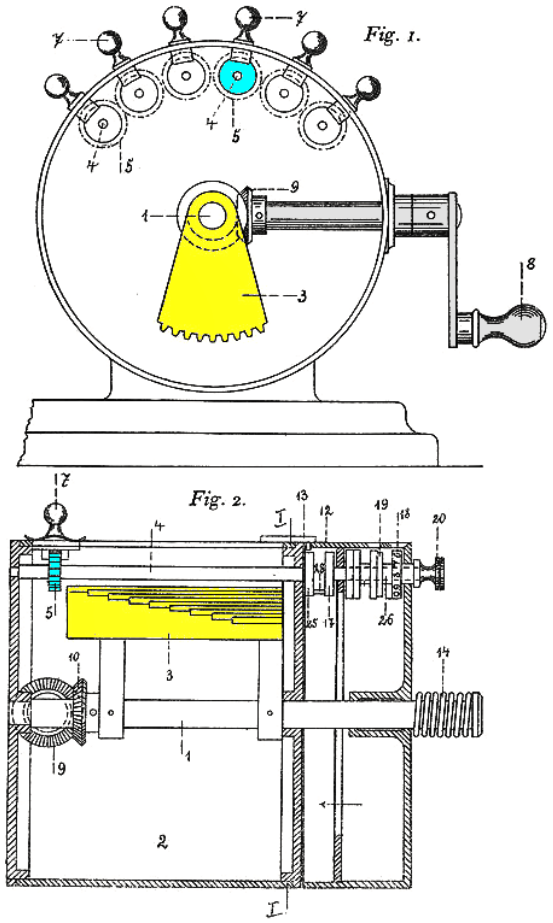


Bild 43: Die Rechenmaschine von Haack

Eine vergleichbare Rechenmaschine mit zentraler Staffelwalze baut A. J. Petersson bereits vor 1873.

Die Entwicklung der Schaltorgane blieb nicht stehen. So wurden beispielsweise Staffelwalzen zu geteilten Staffelwalzen (DE276574) und Sprossenräder zu geteilten Sprossenrädern (DE535576) weiter entwickelt. Den genannten Elementen ist gemeinsam, dass sie aus zwei Teilen bestehen, einem Teil mit 1 bis 4 Zähnen und einem weiteren Teil mit 5 Zähnen. Beide Teile werden bei der Einstellung einer Ziffer nach Bedarf kombiniert. Solche und andere Ent-

wicklungen finden hier keine Beachtung mehr, denn sie stellen für den betrachteten Zeitrahmen bereits die Zukunft dar.

Bildnachweis

1	aus einer Bedienungsanleitung
2	DE194527, vom Verf. vereinfacht
3	Lit. 35
4	Lit. 22
5	DE393953
6	DE405510
7 oben	vom Verf. erstellt
7 unten	Foto Verf., mit freundlicher Genehmigung des Besitzers
8	Lit. 13 od. 14
9	DE26640
10	DE59377
11	DE367726
12	DE443478
13	Lit. 34
14	Lit. 9
15 oben	vom Verf. erstellt
15 unten	Lit. 25
16	Lit. 31
17, 20	GB18439616
18	DE82965
19	US159244
21	DE7393
22	vom Verf. erstellt
23	DE64925
24	DE47243
25	DE84269
26 oben	Lit. 8, vom Verf. ergänzt,
26 unten	Foto Hans Ullrich Wolff, mit freundlicher Genehmigung
27	DE194527

28	DE194527, vom Verf. bearbeitet
29	DE210661
30	Foto Verfasser
31	DE747073
32	Lit. 35
33	DE210661
34, 35	Fotos Detlev Bölter, vom Verf. ergänzt, mit freundlicher Genehmigung
36	Lit. 35
37	Lit. 29
38	DE26778
39, 40	Werner Lange, Hamburg, 1981, vom Verf. farblich ergänzt
41	GB188316
42	FR2717
43	DE117682

Literatur

1 Anthes, E.:Die mechanischen Rechenmaschinen - ein entwicklungsgeschichtlicher Abriß (1999)
http://www.ph-ludwigsburg.de/fileadmin/subsites/2e-imix-t-01/user_files/mmm/mmm_online/geschichte.htm

2 Anthes, E. Die zylindrischen Rechenmaschinen von Leupold bis Herzstark. In: Historische Bürowelt 22, 1988

3 Anthes, E.: Philipp Matthäus Hahn, Konstrukteur und Hersteller von Instrumenten
http://www.rechenschieber.org

4 Anthes, E.: Rechenmaschinen mit kreisförmiger Anordnung der Zählwerke. In: Tagungsbroschüre zum 7. Interenationalen Treffen für Rechenschieber- und Rechenmaschinensammler (IM) 2001

5 Anthes, E.: Rechnende Räder, Mechanische Rechenmaschinen. Eine Ausstellung des Faches Mathematik ... 05.03 - 09.03.2001, PH Ludwigsburg 2001

6 Arithmeum Bonn: Übergabe der Rechenmaschine von Heinrich Esser (frühere Veranstaltungen 20. 10. 2000) http://www.arithmeum.uni-bonn.de/de/events/23

7 Bauer, F. L.: Informatik, Führer durch die Ausstellung. Deutsches Museum München, Neuaufl. 2004

8 Baxandall, D. u. Pugh. J.: Calculating Machines and Instruments – Catalogue of the Collections in the Science Museum. Science Museum London 1975

9 Bischoff, J. P.: Versuch einer Geschichte der Rechenmaschine, Ansbach 1804, hrsg. von Stephan Weiss, München 1990.

10 Bölter, D.: Christel Hamann, Paul Haack, Axel Jacob Petersson (2007) http://www.boelters.de/Rechenmaschinen/

11 Bölter, D.: Die Rechenmaschine "Gauss 4" - ein Unikat aus der Werkstatt von Christel Hamann (2007) http://www.boelters.de/Rechenmaschinen/

12 Conservatoire National des Arts et Métiers: Catalogue du Musée, Section A, Instruments et Machines à Calculer. Paris 1942

13 Dietzschold, C.: Die Rechenmaschine. In: Allg. Journal der Uhrmacherkunst, Leipzig 1882

14 Dietzschold, C.: 'Rechenmaschine' als Stichwort in: Karmarsch und Heeren's Technisches Wörterbuch. Dritte Aufl., VII. Bd., Prag 1884

15 Dyck, W.: Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1892

16 Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, 1. Bd.: Arithmetik u. Algebra, Leipzig 1900 – 1904

17 Haertel, P.: Die Klassifizierung mechanischer Rechenmaschinen. In: Historische Bürowelt No. 45, März 1996 oder bei http://www.rechnerlexikon.de

18 Halkowich, A.: Neuere Rechenmaschinen. In: Werkstattstechnik, 5. Jg. Juli 1911ff

19 Holecek, K.: Neue konstruktive Wege im Rechenmaschinenbau. In: Feinwerktechnik Jg. 55, H. 6, 1951

20 Horsburgh, E. M.: Handbook of the Napier Tercentenary Celebration or Modern Instruments and Methods of Calculation. Edinburgh 1914, Reprint. Los Angeles 1982

21 Küttner, W.: Die Duplex-Rechenmaschine, ein Beitrag zur instrumentalen Arithmetik. In:Dinglers Polytechnisches Journal, Jg. 77 (1896), Bd. 300, H. 9, S. 199 – 207

22 Leupold, J.: Theatrum Arithmetico-Geometricum. Leipzig 1727

23 Marguin, J.: Histoire des instruments et machines à calculer. Paris 1994

24 Martin, E.: Die Rechenmaschine und ihre Entwicklungsgeschichte. Pappenheim 1925, Nachtrag 1936. Reprint Köntopp 1992

25 Nagler, J.: Beschreibung der Rechenmaschine des Antonius Braun. In: Blätter für Technikgeschichte, H. 22 (1960), S. 81 - 87

26 d'Ocagne, M.: Le Calcul Simplifié. 2. Aufl. Paris 1905

27 Reuleaux, F.: Die Thomassche Rechenmaschine. In: Dinglers Polytechnisches Journal, 1862, Bd. 165, S. 334 - 362

28 Schillinger, K.: Rechengeräte aus der Sammlung des Mathematisch-Physikalischen Salons. Dresden 2000

29 Sébert, M.: Rapport fait par M. Sébert, au nom du comité des arts économiques, sur la machine à calculer, dite arithmomètre, inventée par M. Thomas (de Colmar) et perfectionnée par M. Thomas de Bojano. In: Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, 1879, S. 395 - 425

30 Sust, O.: Die Hamannsche Rechenmaschine Mercedes-Euklid. In: Zeitschrift f. Instrumentenkunde, 30. Jg., Aug. 1910

31 Trinks, F.: Geschichtliche Daten aus der Entwicklung der Rechenmaschinen von Pascal bis zur Nova-Brunsviga. Firmenschrift Grimme - Natalis u. Co. 1926, auch in: Die Braunschweiger GNC-Monatsschrift, 14 Jahrg., 1927, Heft 7/8 Brunsviga Maschinenwerke, Grimme, Natalis & Co., Braunschweig, S. 249–289

32 Weiss, S.: Die Rechenmaschine Gauss, Original und Modell (2008). http://www.mechrech.info

33 Weiss, S.: Rechenverfahren und Varianten historischer Multipliziergeräte (2007).
http://www.mechrech.info

34 Wilberg, E.-E.: Die Leibniz'sche Rechenmaschine und die Julius-Universität in Helmstedt. Beiträge zur Geschichte der Carolo-Wilhelmina, Bd. V, Braunschweig 1977

35 Wittke, H.: Die Rechenmaschine und ihre Rechentechnik.
Berlin 1943

36 Wolters, K.: Entwicklung und Bauart der Rechenmaschinen.
In: Feinmechanische Technik 1925

Patente

(in Klammern ist das Datum der Patenterteilung angegeben)

P1 AT28185 Franz Trinks in Braunschweig: Einstellwerk für Rechenmaschinen mit Antriebsrädern von einstellbarer Zähnezahl (1906)

P2 AT32602 Franz Trinks in Braunschweig: Einstellwerk für Rechenmaschinen mit Antriebsrädern von einstellbarer Zähnezahl, Zusatz zum Patent AT28185 (1908)

P3 DE7393 Königsberger u. Co. in St. Petersburg: Rechenmaschine (1878)

P4 DE26640 Carl Gustav Th. Heyde und Carl Otto Büttner in Dresden: Rechenmaschine (1883)

P5 DE47243 Wilhelm Brückner in Dresden und Otto Büttner in Dresden: Neuerung an Rechenmaschinen (1888)

P6 DE59377 J. U. Dr. Franz Cuhel in Prag: Rechenmaschine (1890)

P7 DE64925 W. T. Odhner in St. Petersburg: Neuerung an Rechenmaschinen (1891)

P8 DE82965 Heinrich Esser in Aachen: Rechenmaschine (1892)

P9 DE84269 W. Küttner in Burgk i. S.: Rechenmaschine mit zwangsläufiger Bewegung der Registrirräder und des Tourenzählers (1894)

P10 DE117682 Paul Haack in Berlin: Rechenmaschine mit Stufenwalze (1900)

P11 DE194527 Christel Hamann in Friedenau b. Berlin: Rechenmaschine mit radial angeordneten, in einer Ebene liegenden Schalt- und Zählwerksachsen, die durch ein gemeinsames Element bewegt werden (1905)

P12 DE209817 Mercedes Bureau-Maschinen-Gesellschft m. b. H. in Berlin: Rechenmaschine, bei welcher die Schaltwerkstelle durch eine Antriebvorrichtung proportional den Zahlen von 1 bis 9 gegeneinander verschoben werden (1906)

P13 DE210661 Ch. Hamann Math. Mech. Institut, GmbH in Berlin: Einrichtung an Rechenmaschinen zur Ausführung negativer Rechnungen ohne Änderungen der Drehrichtung der Kurbel (1908)

P14 DE276574 Monroe Calculating Machine Company in New York: Rechenmaschine, bei der durch Niederdrücken der Tasten eine seitliche Bewegung der Antriebräder erfolgt (1912)

P15 DE295329 Monroe Calculating Machine Company in New York: Rechenmaschine (1912)

P16 DE367726 Deutsche Telephonwerke GmbH in Berlin: Rechenmaschine (1920)

P17 DE384150 Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie Akt.-Ges.in Berlin: Rechenmaschine (1923)

P18 DE393953 Carl Mauritz Frederick Friden in Piedmont, Calif., V.St.A.: Rechenmaschine (1921)

P19 DE405510 Hans Huber in Zürich, Schweiz: Rechenmaschine (1920)

P20 DE443478 Deutsche Telephonwerke und Kaberlindustrie A. G. in Berlin: Rechenmaschine, Zusatz zum Patent 384150 (1924)

P21 DE535576 Karl Viktor Rudin in Stockholm: Anordnung bei Sprossenradmaschinen mit radial oder axial einstellbaren Sprossen (1930)

P22 DE747073 Curt Herzstark in Wien: Rechenmaschine mit einer einzigen von Einstellrädchen umgebenen Staffelwalze (1938)

P23 DE747074 Curt Herzstark in Wien: Rechenmaschine mit nur einer Staffelwalze (1939)

P24 FR2717 Maurel et Jayet, à Voison (Isère) pour une machine à calculer (1846)
http://www.geocities.com/siliconvalley/horizon/1404/patmau.html

P25 GB18439616 David Isaak Wertheimber: Improvements in Calculating Machines (1843)

P26 GB188316 Joseph Edmondson: Improvements in Calculating Machines (1883)

P27 US159244 F. S. Baldwin, St. Louis, Missouri: Calculating-Machine (1875)

April 2008
http://www.mechrech.info

□