

WWW-basierte interaktive Visualisierung der Rechenmaschine Wilhelm Schickards durch ein Java 3D-Applet

Studienarbeit
von Benjamin Nill

Betreuer: Dr. Bernhard Eberhardt, Frank Hanisch

Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik
Graphisch-Interaktive Systeme (GRIS)
Universität Tübingen

September 1999

Vorwort

Das Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik der Tübinger Fakultät für Informatik besitzt als Namenspatron einen außergewöhnlichen Forscher des beginnenden 17. Jahrhunderts, dessen bedeutendste Erfindung über 300 Jahre lang in Vergessenheit geraten war. Der Tübinger Professor Wilhelm Schickard hatte 1623 seinem Kollegen Kepler geschildert, daß es ihm gelungen war, eine Rechenmaschine mit funktionstüchtigem Addierwerk zu konstruieren, was zu damaliger Zeit noch ein ungelöstes Problem war. Doch diese Pioniertat blieb aufgrund unglücklicher Umstände unbeachtet, und Blaise Pascal wurde 1642 als erster Erfinder einer Additionsmaschine gefeiert. Erst als 1960 der Tübinger Professor Baron Bruno von Freytag-Löringhoff eine Rekonstruktion nach dem Schickardschen Modell dem Publikum vorführte, wurde dieser Irrtum schließlich publik.

Im Rahmen dieser Studienarbeit sollte diese Leistung Schickards in Form einer WWW-Applikation erfahrbar gemacht werden. Dazu wurde die Rekonstruktion durch ein Java 3D-Applet visualisiert und simuliert. Das Ergebnis [APPLET] kann auf der Homepage des Wilhelm-Schickard-Instituts [WWW] abgerufen werden.

In dieser schriftlichen Ausarbeitung werden nun zunächst in einem ersten Teil die historischen Hintergründe geschildert, sowie der Aufbau, die Funktion und Bedienung der Rechenmaschine vorgestellt. In einem zweiten Abschnitt werden dann die verwendete Programmiersprache, die Struktur und einige Details der Implementierung beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Inhaltsverzeichnis	2
I. DIE RECHENMASCHINE WILHELM SCHICKARDS	3
I.1 Wilhelm Schickards Leben und Wirken	3
I.1.1 Kurzbiographie Schickards	3
I.1.2 Schickards Wirken	3
I.2 Geschichtlicher Hintergrund	4
I.2.1 Entstehung der Rechenmaschine	4
I.2.2 Wiederentdeckung der Rechenmaschine	5
I.3 Aufbau und Funktion der Rechenmaschine	5
I.3.1 Überblick über die Rekonstruktion	5
I.3.2 Äußerer Aufbau	7
I.3.3 Das Zahnradgetriebe	8
I.3.4 Gebrauch der Rechenmaschine	10
I.4 Diskussion und Bedeutung der Rechenmaschine	16
I.4.1 Vorteile	16
I.4.2 Nachteile	16
II.8 Danksagungen	17
II.9 Anhang	17
II.9.1 Andere Rekonstruktionen	17
II.9.2 Quellen	18

I. Die Rechenmaschine Wilhelm Schickards

I.1 Wilhelm Schickards Leben und Wirken

I.1.1 Kurzbiographie Schickards



Abb.1: Wilhelm Schickard [F-L1]

- 22.4.1592** Wilhelm Schickard wird in Herrenberg geboren. Sein Vater ist Schreiner, sein Großvater Bildschnitzer und sein Onkel der berühmte Baumeister Heinrich Schickard. Seine Mutter ist eine geborene Gmelin, Pfarrerstochter.
- 1592-1611 Schickard besucht die Lateinschule in Herrenberg, das Fürstliche Alumnat Bebenhausen und schließlich das Theologische Stift in Tübingen.
- 1611 Schickard wird mit 19 Jahren Magister und Repentent am Stift.
- 1614 Nach einigen Vikariaten wird er Diakon in Nürtingen.
- 1617 Er begegnet zum erstenmal Kepler.
- 1618 Berufung als Professor für Hebräisch, Aramäisch und andere biblische Sprachen nach Tübingen.
- 1631 Nachfolger des Kepler Lehrers Maestlin als Dozent für Astronomie, Mathematik und Geodäsie in Tübingen.
- 1631/1632 Kurzzeitige Flucht mit Familie auf österreichisches Gebiet.
- 1634 Während der Einnahme Tübingens im Dreißigjährigen Krieg stirbt Schickards Mutter. Bei Ausbruch der Pest stirbt Schickards Frau und drei Töchter.
- 23.10.1635** Nach kurzzeitigem Aufenthalt außerhalb stirbt auch Schickard in Tübingen an der Pest, sowie kurz danach sein einziger Sohn.

I.1.2 Schickards Wirken

Schickard war ein unglaublich vielseitiger **Forscher**, der auf sehr vielen Gebieten außerordentliche Ergebnisse hervorgebracht hat [F-L1], und dessen Lebenswerk durch seinen frühen Tod mit 43 Jahren und die tragischen Lebensumstände leider erst spät gewürdigt wurde.

Ein Forschungsschwerpunkt Schickards bestand zum einen aus der Lehre und dem Studium orientalischer **Sprachen** wie Aramäisch, Hebräisch, Rabbinisch, Chaldäisch, Syrisch, Arabisch und Türkisch.

Ein großer Teil seiner Lebensarbeit bildete die erste **geodätische** Landesaufnahme von Württemberg. Als Schulinspektor reiste er viel und entwickelte dabei neue kartographische Methoden zur Ermittlung der Ortskoordinaten.

Schickard war außerdem ein ausgezeichnete **Zeichner**, Maler und Kupferstecher. Diese Eigenschaft schätzte besonders sein Freund und Kollege Kepler, in dessen *Harmonice mundi* einige Kupferstiche aus der Hand Schickards stammen.

Auf dem Gebiet der **Mathematik** und **Astronomie** arbeitete er eng mit Maestlin zusammen, eine weltweite Korrespondenz verband Schickard mit vielen anderen berühmten Gelehrten seiner Zeit. Als einer der ersten erkannte er die Bedeutung der Neperschen Logarithmen.

Schließlich war er ein begabter **Erfinder**, der viele technische Ideen entwickelte und meisterhaft umsetzte, so z.B. entwickelte er ein (erst kürzlich rekonstruiertes) Handplanetarium zur Demonstration des heliozentrischen bzw. geozentrischen Weltbildes, insbesondere aber auch seine Rechenmaschine.

I.2 Geschichtlicher Hintergrund

I.2.1 Entstehung der Rechenmaschine

Die einzigen überlieferten Nachrichten über die Konstruktion einer Rechenmaschine von Wilhelm Schickard, die bis 1912 erschienen waren, sind folgende zwei Stellen in Schickards **Briefen** (in lateinisch) an Kepler [F-L3]:

1. Brief vom 19. Sept. 1623:

„Ferner habe ich dasselbe, was du rechnerisch gemacht hast, kürzlich auf mechanischem Wege versucht und eine aus elf vollständigen und sechs verstümmelten Rädchen bestehende Maschine konstruiert, welche gegebene Zahlen augenblicklich automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. Du würdest hell auflachen, wenn du da wärest und erlebtest, wie sie die Stellen links, wenn es über einen Zehner oder Hunderter weggeht, ganz von selbst erhöht, bzw. beim Subtrahieren ihnen etwas wegnimmt.“

2. Brief vom 25. Febr. 1624:

„Von dem mathematischen Gerät werde ich ein ander Mal eine genauere Abbildung geben; für heute nimm in Eile dies: aaa sind die Köpfe senkrechter Zylinder, denen die Multiplikationen der Stellen aufgeschrieben sind, und sie schauen, soweit man ihrer bedarf, durch die ziehbaren Fensterchen bbb heraus. ddd haben innen fest angemachte Rädchen mit zehn Zähnen, die so ineinandergreifen, daß, wenn irgendein rechts stehendes zehnmal gedreht wird, das links anschließende einmal herumgeht, oder, wenn jenes hundertmal herumgeht, das dritte einmal vorwärts bewegt wird, usw., und zwar nach derselben Richtung, was die Einfügung eines ähnlichen Rädchens h erforderlich macht. ([Randnote:] Jedes Zwischenrädchen bewegt im erforderlichen Verhältnis alle linken, kein rechtes, was besondere Vorsicht verlangte.)



Die jeweilige Zahl wird in den Löchern ccc auf dem mittleren Brett sichtbar. Schließlich deutet e auf dem untersten Brett Wirbel und f in ähnlicher Weise Löcher zum Sichtbarmachen der Zahlen an, deren man während der Operation bedarf. Aber das kann man so hastig nicht schreiben. Leichter wird man es am Objekt verstehen. Nun hatte ich für Dich bei dem hier ansässigen Johann Pfister ein Exemplar in Auftrag gegeben, dieses ist jedoch halbfertig zusammen mit anderen Sachen von mir, vor allem etlichen Kupferplatten, vor drei Tagen einer Feuersbrunst zum Opfer gefallen, die bei Nacht unversehens dort ausgebrochen ist. Darüber wird Dir Mütschelin ausführlicher berichten können. Diesen Verlust nehme ich sehr schwer, jetzt zumal, wo keine Zeit, rasch dafür Ersatz zu schaffen.“

Der ausführlichere zweite Brief bezieht sich offenbar auf eine mitgelieferte Skizze, in der die einzelnen Teile der Maschine mit a-f bezeichnet worden sind. Aber im Gegensatz zu obiger kleiner Randzeichnung, die die Stellung der Räder g und h beschreibt, ist sie in den Quellen, die die Briefe enthalten, nicht vorhanden.

Die Maschine war nach dem ersten Brief offensichtlich fähig zu multiplizieren, dividieren, addieren und subtrahieren, also alle sogenannten 4 Spezies durchzuführen. Schickard war selber begeistert davon, daß er somit Keplers schriftliche Rechenmethoden mechanisch realisieren konnte.

Dem zweiten Brief entnimmt man, daß zumindest ein Exemplar der Maschine verbrannt ist. Weitere **Gründe**, dafür daß Schickard seine Erfindung nicht veröffentlicht hatte, waren wahrscheinlich die durch den Hexenprozeß gegen Keplers Mutter aufgeheizte und technikfeindliche Atmosphäre zur Zeit Schickards in Deutschland, die Tatsache, daß für Schickard diese Erfindung vielleicht nur eine kleine Episode in seinem unermüdlichen Schaffen war, oder auch persönliche Schwierigkeiten durch Krieg und Pest, die ihn später oft am Arbeiten hinderten.

Offensichtlich fanden jedoch die oben genannten Briefe nie große Beachtung, was sicher auch daran lag, daß keine Skizzen oder andere Belege bekannt waren. Bis in dieses Jahrhundert blieb es bei der Überzeugung, daß der berühmte Franzose Blaise Pascal **1642**, also fast 20 Jahre später, die erste funktionstüchtige mechanische (2-Spezies-) Rechenmaschine erfunden hatte.

I.2.2 Wiederentdeckung der Rechenmaschine

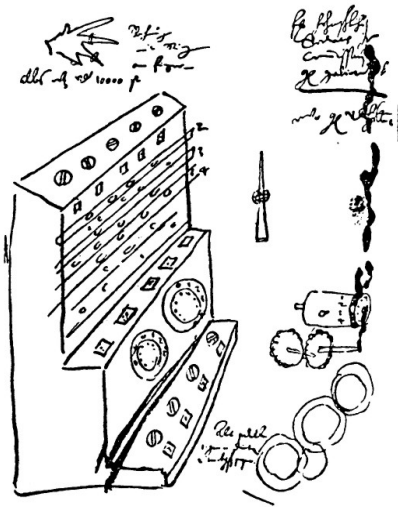


Abb.2: Stuttgarter Skizze [F-L1]

Im Jahre **1899** erschien ein Artikel über die obigen Briefe in der Stuttgarter Zeitschrift für Vermessungswesen, der aber genauso völlig ignoriert wurde, wie eine Publikation in den Nachrichten des Württembergischen Vermessungstechnischen Vereins aus dem Jahre **1912**, in der sogar eine Entwurfsskizze (Abb. 2) aus Schickards Nachlaß, die sogenannte Stuttgarter Skizze, sowie mehrere Notizen für den Mechaniker veröffentlicht wurden [F-L1 und F-L3]. All diese Konstruktionshinweise und Beobachtungen zeigen dabei deutlich, daß ein funktionierendes Exemplar gebaut worden war, wenn auch in womöglich anderer Form als aus der frühen Entwurfsskizze ersichtlich.

1935 entdeckte dann schließlich der Historiker Franz Hammer im handschriftlichen Nachlaß von Kepler in Pulkowa die Zeichnung der fertigen Rechenmaschine, auf die sich Schickard im zweiten Brief an Kepler bezog (Abb. 3). Hammer fand auch die 1912 schon einmal veröffentlichten Skizzen und Notizen. Allerdings hielt er wegen des 2. Weltkriegs und gesundheitlichen Problemen erst **1957** auf einer Tagung vor Mathematikhistorikern einen Vortrag über das gesammelte Material [F-L2].

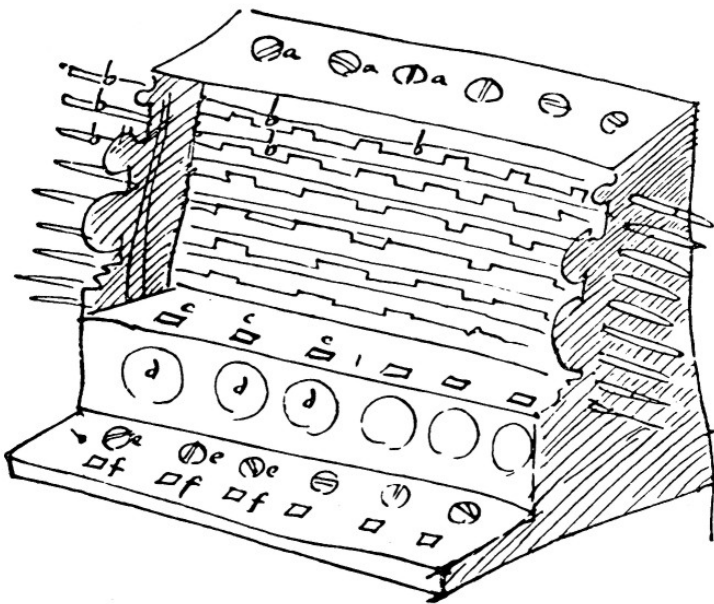


Abb.3: Zeichnung aus Pulkowa [F-L1]

Unter den Zuhörern befand sich auch der Tübinger Philosophieprofessor Baron Bruno von Freytag-Löringhoff, der kurz darauf den genauen Aufbau der Rechenmaschine erkannte und einen expliziten Rekonstruktionsvorschlag erarbeitete. Nach drei Jahre dauernden Konstruktionsversuchen (verursacht durch technische Fehler beim Erstellen des Zahnradgetriebes) konnte eine voll funktionsfähige Rekonstruktion **1960** der Öffentlichkeit vorgeführt werden [F-L3]. Damit wurde endgültig gezeigt, daß nicht Blaise Pascal, sondern Wilhelm Schickard der Erfinder der ersten 4-Spezies-Rechenmaschine der Geschichte ist.

I.3 Aufbau und Funktion der Rechenmaschine

I.3.1 Überblick über die Rekonstruktion

Die nächsten drei Fotos (Abb. 4-6) zeigen die Vorder und Rückseite, sowie eine Schrägansicht der von **Baron Bruno von Freytag-Löringhoff** rekonstruierten Maschine, welche sich im Tübinger Heimatmuseum befindet.

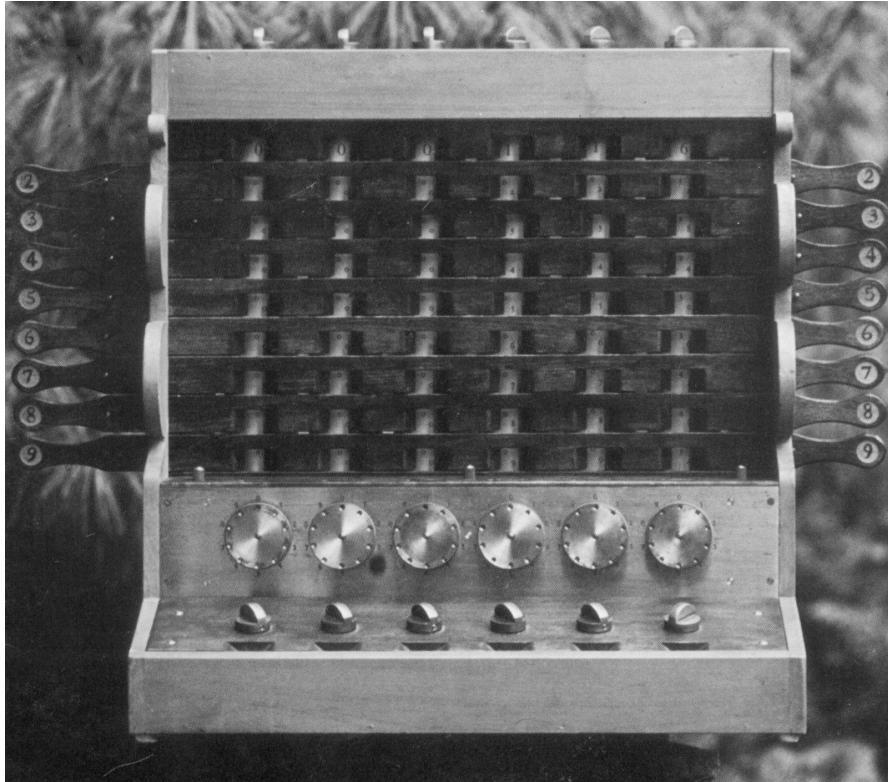


Abb.4: Vorderansicht der Rekonstruktion [F-L1]

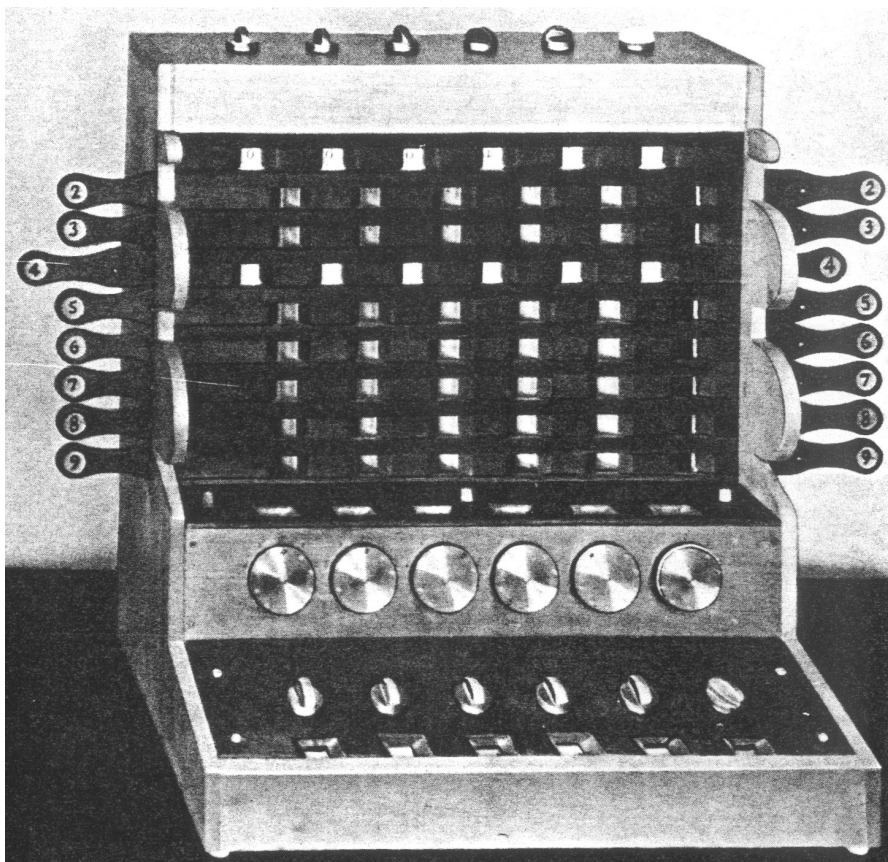


Abb.5: Schrägansicht der Rekonstruktion [F-L1A]

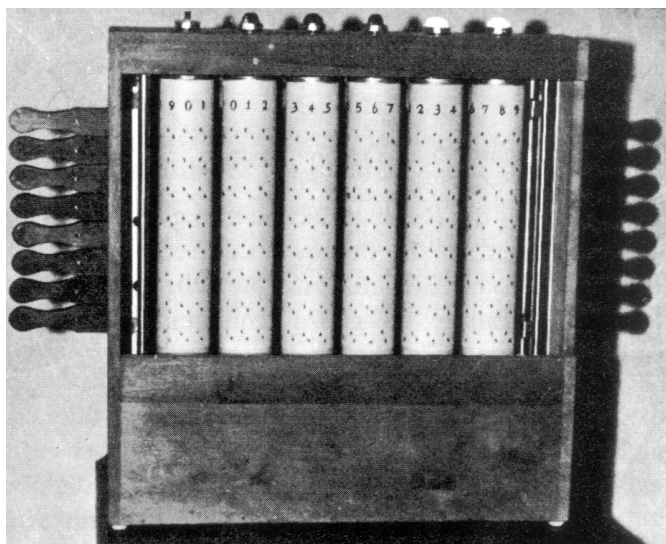


Abb.6: Rückansicht der Rekonstruktion [F-L1]

Im Anhang (II.9.1) befinden sich noch einige Fotos ähnlicher und anderer Rekonstruktionen, damit ein Eindruck von den verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten entsteht.

Man beachte die große **Übereinstimmung** mit den Skizzen Schickards. Selbstverständlich beruhen viele Details der Rekonstruktion wie Material und Größe auf Hypothesen, jedoch ist es sehr wahrscheinlich, daß Schickard Holz für das Gehäuse und lauter gleiche, zehnzählige Zahnräder von ca. 6cm Durchmesser für das Rechenwerk verwendete, woraus sich zwangsläufig durch technische und mechanische Notwendigkeiten die Dimension des Ganzen ergibt. Die Maße dieser Rekonstruktion sind 55cm * 58cm * 37cm (Breite * Höhe * Tiefe). Diese passen in den Relationen auch gut zu der Größe der in Abb. 2 gezeichneten Hand. Es wird im folgenden klar werden, daß auch die Handhabung der Maschine hervorragend den wenigen, aber doch präzisen Beschreibungen Schickards entspricht. Von der Funktionstüchtigkeit der Rekonstruktion kann man sich auf Anfrage im Tübinger Heimatmuseum überzeugen.

I.3.2 Äußerer Aufbau

Die Rechenmaschine besteht aus drei räumlich getrennten Teilen:

Einstellwerk, Rechenwerk und Zählwerk.

Buchstaben in Klammern beziehen sich im folgenden auf die Bezeichnungen in Schickards zweitem Brief (I.2.1). Man vergleiche dazu die Zeichnung aus Pulkowa (Abb. 3).

Das Einstellwerk

Das Einstellwerk ist der große, obere Teil der Rechenmaschine, mit dem die Multiplikation, bzw. Division realisiert wird. Es besteht aus 6 identischen, senkrechten **Zylindern**, die mit Hilfe von Drehknöpfen (**a**) auf dem Deckel der Maschine eingestellt werden können. Auf jedem Mantel eines Zylinders befindet sich ein Einmaleins in Tabellenform.

In der ersten Zeile vor den Zylindern wird in den 6 Öffnungen die aktuell eingestellte Zahl angezeigt. Darunter befinden sich 8 vertikal angeordnete **Holzschieber** (**b**), die mit 2 – 9 beschriftet sind. Jeder Schieber hat 6 kleine quadratische Fenster und kann nur begrenzt hin und her geschoben werden, so daß die Zahlen auf den Zylindern in der jeweiligen Zeile entweder sichtbar oder verdeckt sind.

Das Rechenwerk

In der Mitte ist das „Herz“ der Maschine, das Addierwerk, welches das von außen nicht sichtbare Zahnradgetriebe enthält und weiter unten ausführlich beschrieben wird. Von vorne sieht man die 6 **Drehscheiben** (**d**) mit einer umgebenden 10er-Skala und von oben die 6 **Löcher** (**c**) auf der horizontalen Oberplatte des Mittelteils, durch die man das Ergebnis der Addition, bzw. Subtraktion ablesen kann.

Das Zählwerk

Der untere Vorbau der Maschine ist das Zählwerk, in dem Zwischenergebnisse gespeichert werden können. Es gibt 6 **Drehknöpfe** (**e**) auf der unteren horizontalen Platte, an denen darunter 6 nicht sichtbare kleine Drehscheiben befestigt sind, jeweils auf der Oberseite mit einer 10er Skala beschriftet. Durch 6 **Löcher** (**f**) kann man dann die jeweils eingestellte Ziffer von oben sehen.

I.3.3 Das Zahnradgetriebe

Zunächst ein Blick von hinten in den Mittelteil der Rekonstruktion, der das Räderwerk enthält:

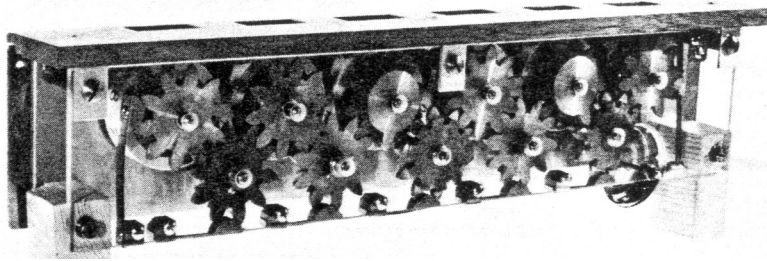


Abb.7: Blick auf Zahnradgetriebe [F-L2]

Im folgenden werden allgemein die Achsen, bzw. Zahnräder von vorne gesehen immer von rechts gezählt.

Die Funktion

Durch dieses Zahnradgetriebe sollte die Addition bei Drehung der Drehscheiben (d) im Uhrzeigersinn, bzw. die Subtraktion bei Drehung im Gegenuhrzeigersinn realisiert werden, d.h. bei Drehung an der 2.Drehscheibe von rechts um eine Stelle weiter, wurde 10 auf die aktuelle Zahl addiert, bzw. 10 abgezogen. Somit war Schickards Rechenmaschine fähig mit **6stelligen** Zahlen, also im Zahlenraum von 0-100000 zu rechnen.

Damit sich bei einem Zehnerübertrag, bzw. bei Unterschreitung der Null auch die linke Zahnradachse einmal in die gleiche Richtung dreht, ist es logischerweise, wie Schickard treffend bemerkt, zwingend notwendig, fünf **Übertragungsräder** einzuführen. Durch die im folgenden beschriebene Konstruktion wird sichergestellt, daß immer nur die Räder links von der Achse, an der gerade gedreht wird, beeinflußt werden. Dies ist jedoch technisch nicht einfach zu realisieren, und erklärt die Randnote Schickards, in dessen Brief an Kepler! [F-L3]

Die Zahnräder

Im Zahnradgetriebe der Rechenmaschine werden drei, bzw. vier verschiedene **Typen** von Zahnrädern verwendet: Einmal vollständige 10-er Zahnräder (abgekürzt: **vZ**, Abb. 31), dann die von Schickard sogenannten „verstümmelten“ Einer-Zahnräder (**eZ**), d.h. vZ-Zahnräder, bei denen jedoch 9 Zacken entfernt wurden, und schließlich die mittleren Übertragungs-Zahnräder (**üZ**). Diese speziellen üZ-Zahnräder bezeichnet Schickard auch als „consimiles“, d.h. also als fast gleich wie die vZ-Zahnräder. In der Rekonstruktion sind sie fast doppelt so dick wie die vZ-Zahnräder, die Zähne sind aber zur Hälfte abgeschliffen, jedes Übertragungszahnrad besteht somit eigentlich aus je einem dünneren vZ-Zahnrad und einem Zahnrad mit kürzeren Zähnen (**hZ**). In der Visualisierung werden daher diese beiden Teile eines üZ-Zahnrad auch verschiedenfarbig dargestellt (Abb. 10 Mitte unten: vorne der braune hZ-, dahinter der rote vZ-Teil). Insgesamt realisiert Schickard das Rechenwerk mit 17 Rädern, davon: 6 vZ-, 6 eZ- und 5 üZ-Räder. Da die vZ- und eZ-Zahnräder jedoch zusammen auf einer festen Achse sitzen, benötigte Schickard nur 11 drehbare Teile, was, wie man später sieht, wirklich das **Minimum** der Anzahl an Teilen darstellt, die man für eine 2-Spezies-Rechenmaschine braucht.

Der Aufbau

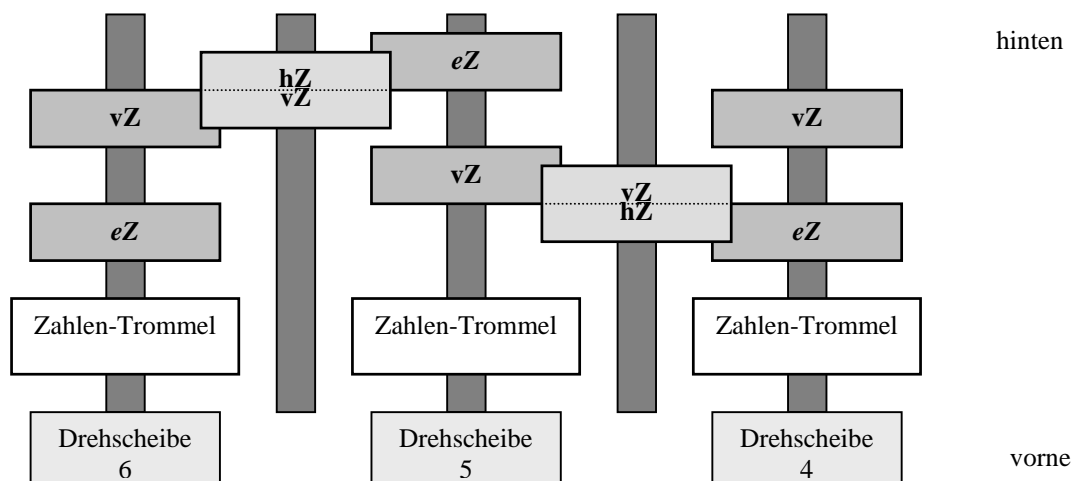


Abb.8: Schematische Übersicht über das Zahnradgetriebe (von oben)

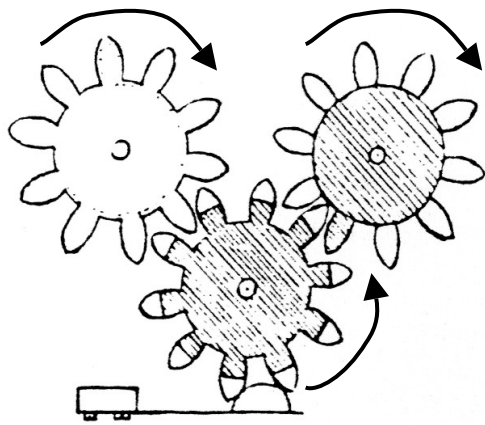


Abb.9: Verzahnungsprinzip (von vorne) [F-L1]

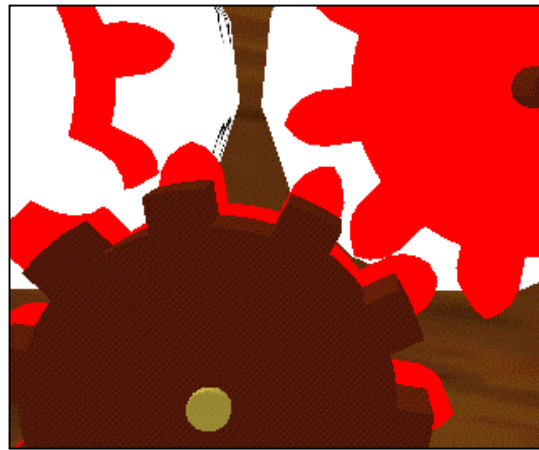


Abb.10: Ausschnitt des Zahnradgetriebes (von hinten)

Auf **jeder** der 6 Achsen des Zahnradgetriebes des Addierwerks, an denen sich von oben gesehen vorne die Drehscheiben befinden, ist nun dahinter zunächst die Zahlentrommel, auf deren Mantel sich eine 10er-Skala befindet, so daß man die aktuelle Ziffer durch die Löcher (c) auf der Oberseite sehen kann. Dann sind danach jeweils ein eZ-Rad und ein vZ-Rad räumlich versetzt befestigt (Abb. 8).

Auf den 5 Achsen dazwischen befindet sich nur jeweils das **üz**-Übertragungs-Rad, im exakt rechten Winkel nach unten versetzt (Abb. 8 und 9). Deren vollständiger vZ-Teil steht in **direkter** Verzahnung mit dem linken vZ-Rad, während der abgeflachte hZ-Teil des Zahnrades nur von dem Einer-Zahnrad eZ rechts bewegt werden kann (Abb. 8). In Abb. 10 sieht man von hinten (!) deutlich wie die beiden (in der Simulation rot dargestellten) vollständigen vZ-Zahnradkränze miteinander verzahnt sind, während das (weiße) eZ-Einerrad den (braunen) hZ-Teil fast berührt. Daraus erklärt sich auch die gesamte räumliche Anordnung der Zahnräder.

Falls nun ein **Übertrag** des 5. Zahnrades ansteht, wird das eZ-Einer-Rad der 5.Zahnradachse das üZ-Rad links durch deren hZ-Teil mitdrehen und damit über den vZ-Teil auch das vZ-Rad der 6.Zahnradachse, und somit diese Achse mit Trommel auch um 1 in Uhrzeigerrichtung weiterbewegen (Abb. 8 und 9). Analog bei Unterschreitung der Null in Gegenuhrzeigerrichtung. Durch diese Konstruktion wird somit eine sofortige und sichere Zehnerübertragung über alle 6 Stellen hinweg möglich.

Die besondere Beschaffenheit der **üz-Übergangsräder** als zusammengesetzte vZ- und hZ-Räder erklärt sich jetzt durch folgende Beobachtung:

Falls man beispielsweise an der fünften Achse dreht, wodurch sich leider unnötigerweise auch automatisch das Übergangsrads rechts davon mitdreht, darf sich nicht auch noch die vierte Achse mitdrehen, d.h. das üZ-Rad dazwischen darf **nie** das rechte vierte Einer-Rad mitbewegen, wohl kann aber umgekehrt das vierte Einer-Rad dieses beeinflussen. Bei einem Übertrag soll das vierte eZ-Rad also mit einer Zehnteldrehung das üZ-Rad um den gleichen Betrag weiterdrehen und sofort dessen Zahnkranz verlassen, damit keine unerwünschten Rückübertragungen auftreten können. Aus diesem Grund ist die Hälfte der Zähne eines üZ-Rades (der hZ-Teil), also der Teil des üZ-Rades der von dem Einer-Rad rechts beeinflusst werden kann, abgeschliffen. Ob Schickard dieses Problem genauso gelöst hat, ist unklar, aber wahrscheinlich.

Bemerkungen

- Damit sich die Zahnräder immer in einem wohldefiniertem Zustand, also in einer der 10 Stellungen, befinden, und sich nur um den geforderten Winkel von 36 Grad drehen, wurden in der Rekonstruktion **Rastfedern** mit halbrunden Metallstücken benutzt, deren Stellung und Kraft für das Funktionieren sehr wichtig sind. Sie dienen zur Arretierung und als Kraftspeicher für die Drehungen. Dadurch wird ein Klappern erzeugt, weswegen Schickard vielleicht die Formulierung „Du würdest hell auflachen,...“ verwendete. Außerdem wird diese Interpretation dadurch erhärtet, daß das vZ-Rad der 1.Achse zwar vorhanden, aber eigentlich unnötig ist, da rechts kein üZ-Rad mehr folgt. Es kann aber für den Eingriff durch eine Rastfeder gebraucht werden. [F-L3]
- Da im ersten Brief von 6 „verstümmelten Rädchen“ die Rede ist, kann man wohl davon ausgehen, daß auch auf der 6. Achse ein eZ-Rad vorhanden war. Dies ist aber eigentlich unnötig, da es links kein 7.Zahnrad mehr gibt. Von Löringhoff, der Rekonstrukteur der Rechenmaschine, vermutete nun, daß das 6. eZ-Rad ein **Signal** betätigte, das anzeigte, daß bei Addition die Million überschritten, bzw. bei Subtraktion die Null unterschritten wurde. Dies könnte z.B. eine Glocke gewesen sein. [F-L3]
- Absolut unklar ist, wie genau räumlich versetzt Schickard die Zahnräder angebracht hat, hierbei gibt es jedoch, wie oben ausgeführt wurde, nur wenige **Alternativen**.
- Aus mechanischen und geometrischen Gründen wird es sehr schwierig, obiges Übertragungsprinzip auf mehr als 7 oder 8 Stellen anzuwenden. 6 Stellen sind also das **Optimum**. [K]

I.3.4 Gebrauch der Rechenmaschine

Allgemein

Vor Durchführung einer Rechnung sollten alle Zylinder, die Zahnräder und Drehscheiben auf 0 gestellt sein und die Schieber die Zylinder verdecken. Das Prinzip jeder Rechenoperation orientiert sich dabei ganz natürlich an dem üblichen schriftlichen Vorgehen.

Addition / Subtraktion

Es wird dazu an den vorderen **Drehscheiben** an der jeweiligen Stelle nach rechts zur Addition, bzw. nach links zur Subtraktion gedreht. Die Reihenfolge ist dabei natürlich egal. Die Lösung kann dann durch die Löcher auf dem Gehäuse abgelesen werden. Die Bedienung ist also denkbar einfach!

Zum Berechnen von $107 - 49$ muß z.B. folgendes ausgeführt werden: 1 * an 3.Rad nach rechts drehen, 7 * an 1.Rad nach rechts, 4 * an 2.Rad nach links drehen, 9 * an 1.Rad nach links.

Das Ergebnis 58 kann jetzt abgelesen werden:

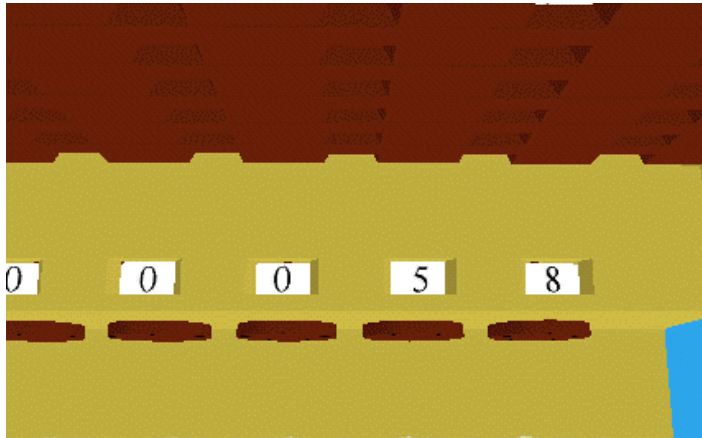


Abb.11: Blick auf Addierwerk

Allerdings ist es natürlich nicht möglich über 999999 zu addieren, bzw. unter Null zu subtrahieren.

Die Nepertafeln

Am meisten war man zu Schickards Zeit daran interessiert, die **Multiplikation** zu vereinfachen, da diese am häufigsten und lästigsten durchzuführen war. Zur Realisierung dieser Rechenoperation ist auf jedem der 6 Zylindermantel folgendes Schema aufgedruckt [F-L1]:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
2	4	6	8	0	2	4	6	8	0
0	0	0	1	1	1	2	2	2	0
3	6	9	2	5	8	1	4	7	0
0	0	1	1	2	2	2	3	3	0
4	8	2	6	0	4	8	2	6	0
0	1	1	2	2	3	3	4	4	0
5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
0	1	1	2	3	3	4	4	5	0
6	2	8	4	0	6	2	8	4	0
0	1	2	2	3	4	4	5	6	0
7	4	1	8	5	2	9	6	3	0
0	1	2	3	4	4	5	6	7	0
8	6	4	2	0	8	6	4	2	0
0	1	2	3	4	5	6	7	8	0
9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Abb.12: Aufdruck auf Zylindermantel [F-L1]

Dies stellt, wie man leicht feststellt, das kleine Einmaleins dar, wobei in der 1. Zeile die 2. Stelle, die ja immer 0 ist, zur besseren Übersicht weggelassen wurde. In den anderen Zeilen wurden die Zehnerziffern extra hochgestellt, so daß die beiden Ziffern diagonal in ein quadratisches Fenster passen. Diese hier gewählte Schreibweise geht auf die „Rhabdologie“ **Nepers** von **1617** zurück, die Schickard vermutlich gekannt hat [F-L1, ausführlicher K]. Üblicherweise wurden solche Einmaleinse auf vierkantige Stäbchen (vertikal) geschrieben und dann je nach ausgewählter Zahl nebeneinandergelegt (Abb. 13).

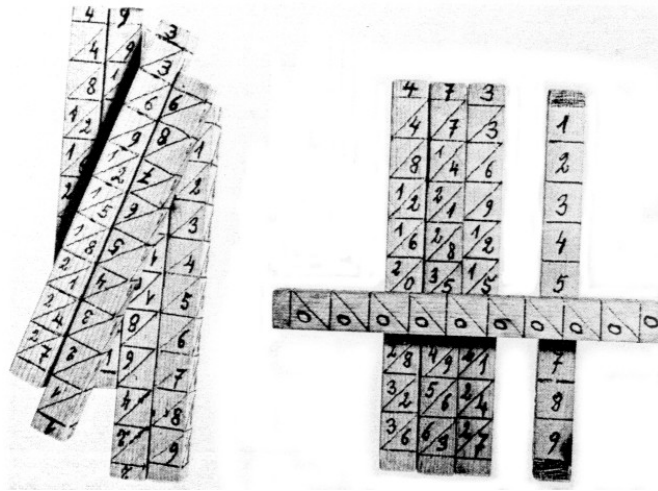


Abb.13: Neperstäbchen [F-L2]

Zur Berechnung von $63 * 7$ legt man beispielsweise zuerst die Stäbchen zu den Ziffern 6 und 3 folgendermaßen nebeneinander:

6	3
1	0
2	6
1	0
8	9
2	1
4	2
3	1
0	5
3	1
6	8
4	2
2	1
4	2
8	4
5	2
4	7

Danach muß man für die Multiplikation von $63 * 7$ nur noch die Zahlen in der 7. Zeile ablesen und die Diagonalen von rechts oben nach links unten zusammenzählen, um das Ergebnis $4 * 100 + (2 + 2) * 10 + 1 * 1 = 441$ zu erhalten. All dies wird im folgenden „automatisch“ berechnet, wobei Schickards Idee, das Einmaleins statt auf Stäbchen auf Walzen zu schreiben und solche Walzen in einem Kasten zu vereinigen, ein sehr naheliegender und praktischer Gedanke ist, der auch später von anderen in Form sogenannter Neperscher Kästen realisiert wurde [F-L3].

Multiplikation

Im folgenden wird nun das genaue Vorgehen anhand der Beispielrechnung $2435 \cdot 27$ erklärt.

1. Einstellen des Multiplikanden:

Hierzu dreht man an den Einstellknöpfen (a) der jeweiligen Zylinder, bis der Multiplikand in der 1. Zeile sichtbar ist (Abb. 14).

Z.B. für 2435 heißt das:

2 * am 4. Knopf nach rechts drehen, 4 * am 3. Knopf nach rechts drehen, 3 * am 2. Knopf nach rechts drehen, 5 * am 1. Knopf nach rechts.

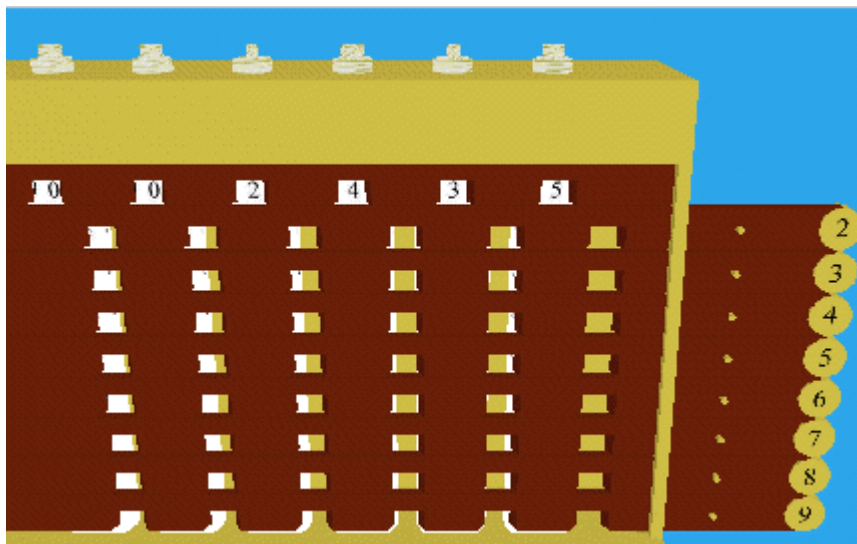


Abb.14: Blick auf Einstellwerk (nach Schritt 1)

2. Einstellen des Multiplikators:

Jetzt zieht man den Schieber (b) zur Zahl 7, also den 6. von oben, ganz nach links, so daß im Inneren der Fenster die Ziffern mit dem 7-fachen der eingestellten Zahl sichtbar werden (Abb. 15).

In unserer Beispielrechnung sieht man also:

0 0 1 2 2 3
0 0 4 8 1 5

Allgemein gilt die Regel: Pro Rechnung immer nur 1 Schieber links in „Rechenstellung“.

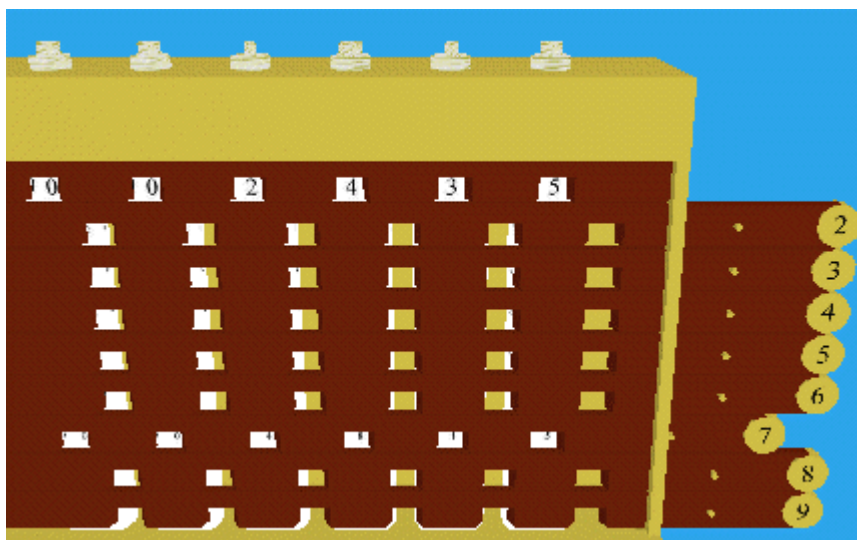


Abb.15: Blick auf Einstellwerk (nach Schritt 2)

3. *Zusammenzählen der Diagonalen:*

Bei Benutzung der Neperntafeln von Hand hätte man jetzt die Diagonalen selbst zusammenzählen müssen, dies übernimmt aber bei der Rechenmaschine das Addierwerk (d) (Abb. 16). Man muß einfach nur folgende Regeln befolgen:

Pro Fenster in der sichtbaren Zeile führe folgende Rechnung für das Zahlpaar (x,y) im Fenster durch:

- Drehe das Drehrad D direkt unter dem Fenster y-mal nach rechts
- Drehe das Drehrad links von D x-mal nach rechts.

In der Beispielrechnung heißt das:

5 * an 1.Rad, 3 * an 2.Rad, 4 * an 2.Rad, 1* an 3. Rad, 8 * an 3.Rad, 2 * an 4.Rad, 4 * an 4.Rad, 1* an 5.Rad nach rechts drehen.

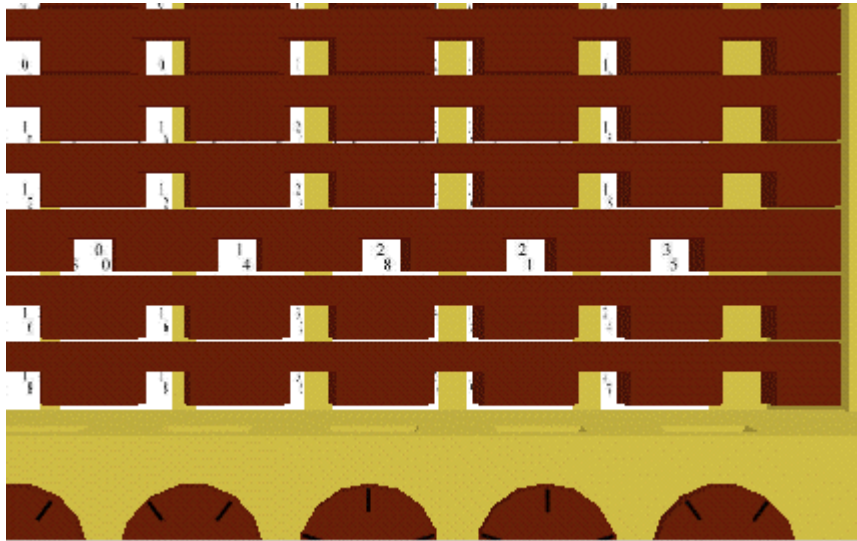


Abb.16: Blick auf Fenster (nach Schritt 3)

4. *Falls fertig, Ergebnis ablesen:*

Das Ergebnis (hier: $2435 \cdot 7 = 17045$) kann jetzt einfach durch die Löcher (c) abgelesen werden (Abb. 17).

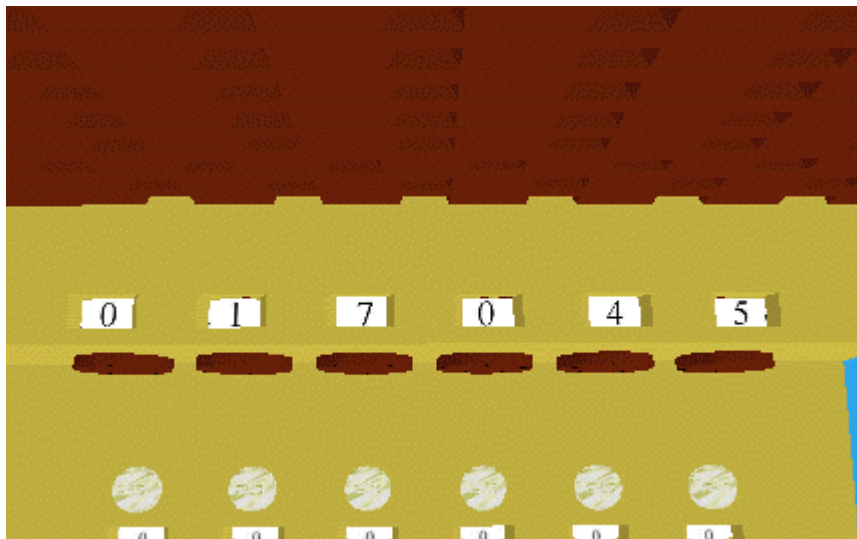


Abb.17: Blick auf Addierwerk und Speicher (Schritt 4)

5. Falls noch nicht fertig, Multiplikator abspeichern und neu beginnen:

Da aber eigentlich in der Beispielrechnung $2435 * 27$ berechnet werden soll, merkt man sich, daß schon mit 7 multipliziert wurde und dreht dazu an den Drehscheiben (e), bis 7 in den Löchern (f) steht (Abb. 18).

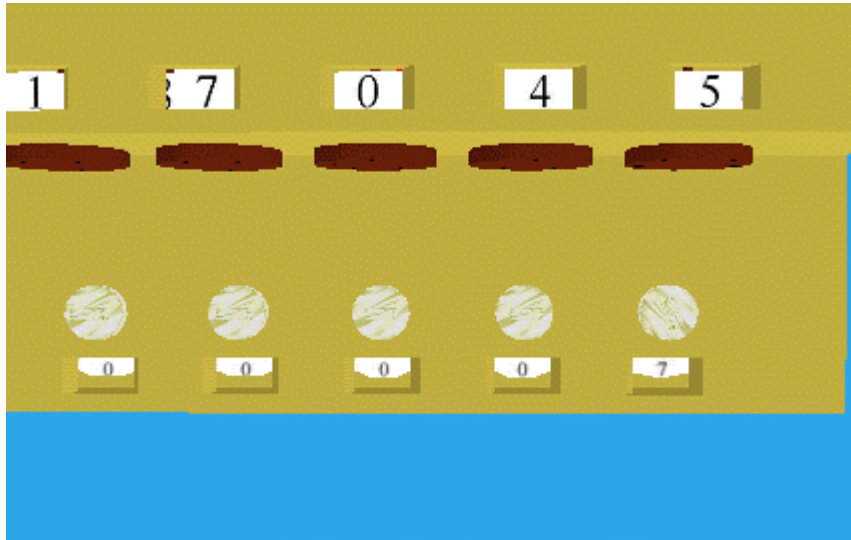


Abb.18: Blick auf Addierwerk und Speicher (Schritt 5)

Danach schiebt man den 7.Schieber wieder nach rechts.

Es muß noch $2435 * 20$ berechnet und auf das aktuelle Ergebnis addiert werden. Dazu wiederholt man das Vorgehen ab dem 2.Schritt, diesmal aber mit dem Multiplikator 2. Beim 3.Schritt muß jedoch darauf geachtet werden, daß man diesmal im Addierwerk alles 1 Stelle weiter **links** eingeben muß! Nach Schritt 4 steht dann das Ergebnis $2435 * 27 = 65745$ da, und im 5.Schritt können wir noch 20 in den Drehscheiben (e) abspeichern.

Am Schluß steht also der Multiplikand oben, der Multiplikator unten und das Ergebnis in der Mitte (Abb. 19).

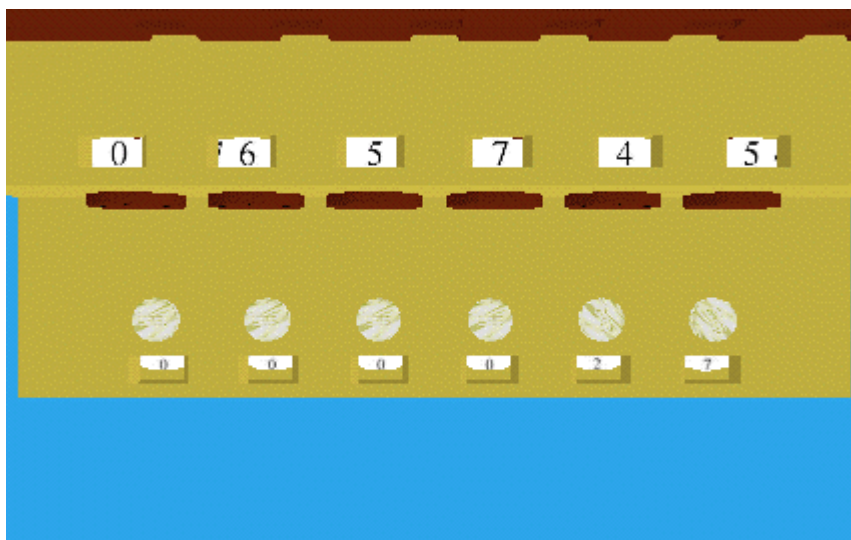


Abb.19: Blick auf Addierwerk und Speicher (nach Schritt 5)

Division

Bei der Division verfährt man genau wie bei der üblichen schriftlichen Division, wobei man bei der Bedienung umgekehrt zur Multiplikation vorgeht, dabei werden zu Beginn der Dividend in das Rechenwerk und der Divisor in die Zylinder ganz links eingetragen. Allerdings ist das Vorgehen ziemlich umständlich, so daß in dieser Studienarbeit auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet wird.

Bemerkungen

- Es ist bei der Benutzung der Rechenmaschine (außer bei der Division) also nur notwendig bis 10 zählen zu können, alle anderen Aktionen bestehen aus dem Ablesen und Eingeben von Zahlen nach rein mechanischen Regeln, der Rest erledigt die Maschine. Dies rechtfertigt sicher auch das zunächst vielleicht etwas übertrieben erscheinende Attribut „**automatisch**“, das Schickard in seinem Brief an Kepler gebraucht. Schickard schrieb übrigens extra auf Altgriechisch „**automatos**“ statt wie sonst in Latein. [F-L3]
- Wie aus der Entwurfsskizze Schickards (Abb. 2) ersichtlich wurden wahrscheinlich die Drehscheiben des Addierwerks nicht direkt von Hand gedreht, sondern mit Hilfe von einem **Bedienungsstift**, Griffel. [F-L2]
- Auf Schickards „Skizze aus Pulkowa“ (Abb. 3) sieht man zwar den **Schieber** zum Multiplikator 1, trotzdem wurde er in der Rekonstruktion weggelassen. Erstens ist er selbstverständlich absolut unnötig, zum zweiten widerspricht es der allgemeinen Regel nur 1 Schieber pro Rechnung zu benutzen, und drittens wurde er auf der Stuttgarter Skizze (Abb. 2) von Schickard auch weggelassen. [F-L3]
- Bei Rechnungen mit **größeren** Beträgen gab es noch folgende zusätzliche Möglichkeit, auf die es links oben auf der Stuttgarter Skizze einen Hinweis gibt:
Falls es beim Addieren einen Übertrag gibt (also bei Benutzung einer Glocke: klingelt), kommt ein Ring an den kleinen Finger der linken Hand, bedeutet also eine Million. Analog ein Ring am Ringfinger, 10 Millionen, usw...
Falls es beim Subtrahieren klingelt, kommt einfach ein Ring vom kleinen Finger weg, usw...
Dadurch kann mit sehr einfachen Mitteln der Zahlenraum vergrößert werden.[F-L3, K]
- Es ist möglich, eine Rechenanweisung für das Ziehen von **Quadratwurzeln** zu entwickeln. Ein schwer lesbarer Zettel aus Schickards Nachlaß zeigt, daß er mit einem Algorithmus dafür vertraut war.[F-L2, F-L3]

I.4 Diskussion und Bedeutung der Rechenmaschine

Siehe vor allem [K].

I.4.1 Vorteile

- Schickards Maschine ist in ihrer strukturellen und logischen **Klarheit**, die durch die räumliche Trennung der einzelnen Teile und die Implementierung eines abstrakten Rechen-Kalküls erreicht wird, herausragend.
- Die **Bedienung** der Rechenmaschine ist einfach und leicht erlernbar.
- Mit der gerätemäßigen Ausnutzung der Neperschen Rechenstäbchen wurde zum ersten Mal eine mechanisierte Tafel für das kleine **Einmaleins** realisiert.
- Besonders ist die erstmalige Verwirklichung einer **bi-direktionalen** Arbeitsweise des Räderwerks, das sowohl vorwärts für die Addition, als auch rückwärts für die Subtraktion über alle Stellen hinweg zuverlässig arbeiten kann, eine technisch durchdachte und in ihrer Einfachheit geniale Konstruktion, die für lange Zeit einmalig blieb.
- Die **Mechanik** ist minimal und somit äußerst robust.
- Die dritte Baugruppe, der **Speicher**, ist eine praktische Hilfe beim Arbeiten mit der Rechenmaschine. Eine solche Speichermöglichkeit gab es erst wieder bei Konstruktionen des 19. Jahrhunderts.
- Es ist maximal möglich zwei 3-stellige Zahlen miteinander zu multiplizieren. Diese **Kapazität** ist zumeist für die damalige Rechenpraxis (z.B. Landvermessung) ausreichend und kann durch gewisse Tricks (Ringe, spezielle Multiplikationstechniken, Rundungsverfahren) vergrößert werden.
- Wie oben beschrieben, gibt es Hinweise darauf, daß Schickards Maschine eine Glocke als **Überlaufwarnsignal** hatte wie in heutiger Zeit Schreibmaschinen. Eine solche Vorrichtung wurde jedoch erstmals im 19. Jahrhundert verwendet.
- Die Tatsache, daß in Schickards Skizze die Fenster nicht ganz quadratisch sind, könnte möglicherweise darauf schließen lassen, daß er doch nicht die Nepersche Schreibweise mit hochgestellten Zehnerziffern verwendet hat, sondern nur die Ziffern direkt nebeneinander geschrieben hat. Dies würde bedeuten, daß Schickard sogar **unabhängig** von Neper auf die Idee mit dem „Neperschen Walzen“ gekommen ist.
- Im Gegensatz zu der Rechenmaschine Schickards war die Addiermaschine Blaise **Pascals** nur fähig zu addieren und subtrahieren.

I.4.2 Nachteile

- Einen schwerwiegenden strukturellen Nachteil hat die Schickardsche Rechenmaschine: Bei den Rechengängen der Multiplikation und Division muß der Rechner aufpassen, daß er beim „**Abschreiben**“ die richtige Drehscheibe wählt entsprechend der Stellenverschiebung beim schriftlichen Rechnen. Dies hätte sich in der Praxis sicher als erhebliche Fehlerquelle herausgestellt. Abhilfe wäre durch ein verschiebbares Oberteil oder Addierwerk geleistet, so etwas findet man aber erst wieder beim verschiebbaren Wagen der Rechenmaschine von Leibniz.
- Die **Division** ist extrem umständlich und bedeutet eigentlich keine Entlastung für den Benutzer, man sollte darum die Rechenmaschine eher als Multiplikations-Rechenmaschine und nicht als richtige 4-Spezies-Rechenmaschine bezeichnen.
- Die Anordnung mit dem Neperschen Kästchen wurde spätestens durch die Erfindung der Staffelwalzen durch Leibniz um 1670 überflüssig, in der Multiplikationen durch einfaches Kurbeln berechnet wurden, wenn auch das Addierwerk komplizierter als das der Rechenmaschine Schickards war. Leibniz Erfindung beeinflusste die weitere Entwicklung der Rechenmaschinen auch hauptsächlich, wogegen Schickards Rechenmaschine zumindest keinen bekannten **Einfluß** hatte.
- In der Schickardschen Anordnung kann die **Kapazität** der Maschine auf mechanischem Wege nicht einfach über die 6 Stellen hinaus erweitert werden, dies wäre für aufwendigere Rechnungen aber notwendig gewesen. Schickard hat also sicher die meisten seiner astronomischen Rechnungen nicht auf seiner eigenen Rechenmaschine ausgeführt.

II.8 Danksagungen

Dr. Bernd Eberhardt möchte ich danken, daß er mir die Möglichkeit gegeben hat, dieses interessante Thema zu bearbeiten, sowie für seine Hilfe bei der Modellierung. Den Mitarbeiterinnen des Tübinger Heimatmuseums danke ich dafür, daß die Rekonstruktion zur Vermessung zur Verfügung gestellt wurde.

Vor allem möchte ich meinem Betreuer Frank Hanisch dafür danken, daß er mich bei der gesamten Studienarbeit von der Programmierung bis zur Ausarbeitung in kompetenter und engagierter Weise unterstützt hat.

II.9 Anhang

II.9.1 Andere Rekonstruktionen

Nach dem Modell des Tübinger Professors **Baron von Freytag-Löringhoff** wurden noch einige weitere Rekonstruktionen erbaut [F-L2]. Das Modell aus Abb. 33 und 34 wurde von Erwin Epple erstellt und befindet sich im Besitz von Freytag-Löringhoffs [F-L2], während sich die Rekonstruktion in Abb. 35 und 36 seit 1997 im Institut für Mathematik und Informatik der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald befindet [GS].

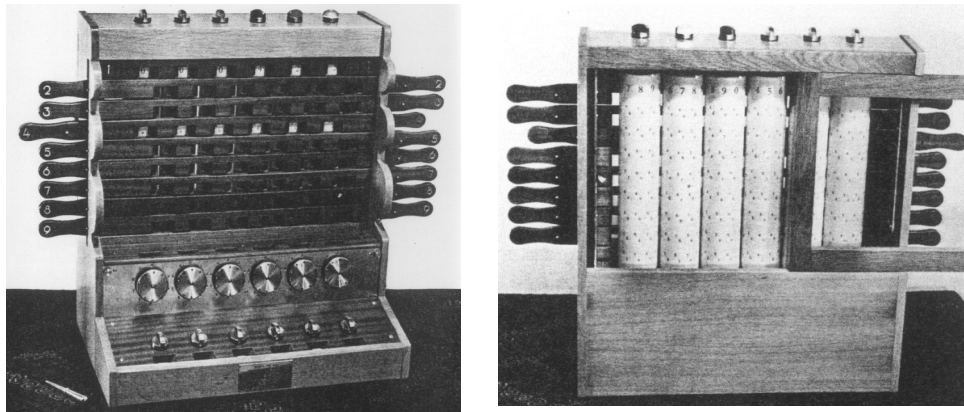


Abb.33, 34: Rekonstruktion im Besitz von Freytag-Löringhoff [F-L2]

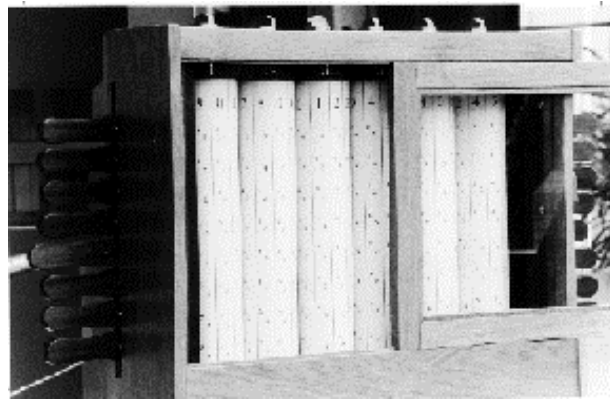
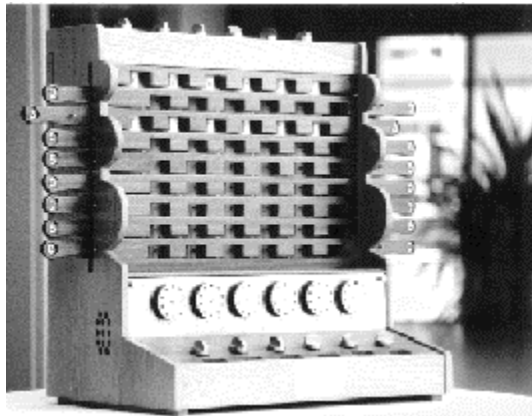


Abb.35, 36: Rekonstruktion aus der Sammlung Historischer Rechenmaschinen der Universität Greifswald [GS]

II.9.2 Quellen

- [F-L1] Baron Bruno von Freytag-Löringhoff: „Wilhelm Schickards Tübinger Rechenmaschine von 1623“, Kleine Tübinger Schriften, Heft 4, 4.Auflage 1986
- [F-L1A] Baron Bruno von Freytag-Löringhoff: „Wilhelm Schickards Tübinger Rechenmaschine von 1623“, Kleine Tübinger Schriften, Heft 4, 1973
- [F-L2] Baron Bruno von Freytag-Löringhoff: „Wilhelm Schickard und seine Rechenmaschine von 1623“, ATTEMPTO Verlag Tübingen GmbH, 1987
- [F-L3] Baron Bruno von Freytag-Löringhoff: „Die Rechenmaschine“ in „Wilhelm Schickard“, herausgegeben von Friedrich Seck, J.C.B. Mohr (Paul Siebeck) Tübingen, 1978
- [K] Friedrich Wilhelm Kistermann: „Die Rechentechnik um 1600 und Wilhelm Schickards Rechenmaschine“
- [GS] Werner Girbardt und Werner H. Schmidt: „Katalog der Rechentechnischen Sammlung des Instituts für Mathematik und Informatik Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald“, <http://www.uni-greifswald.de/fakul/mathematics/RTS/>, März 1999
- [TUT] Sun Microsystems Inc.: „Java 3D API Tutorial“, <http://java.sun.com/products/java-media/3D/collateral/>, Februar 1999
- [API] Sun Microsystems, Inc.: „Java 3D API Documentation“, <http://www.javasoft.com/products/java-media/3D/>, Version 1.1.1, 1998
- [WWW] Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik (WSI) / Graphisch-Interaktive Systeme (GRIS): „A Java 3D-Visualization of the Schickard Calculator“ (Web-Site), <http://www.gris.uni-tuebingen.de/projects/studproj/schickard>, Juli 1999
- [APPLET] Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik (WSI) / Graphisch-Interaktive Systeme (GRIS): „A Java 3D-Visualization of the Schickard Calculator“ (Java 3D-Applet), <http://www.gris.uni-tuebingen.de/projects/studproj/schickard/WSApplet>, Juli 1999
- [CONV] Sun Microsystems, Inc.: „Java Plug-in HTML-Converter“, <http://www.java.sun.com/products/plugin/1.2/features.html>
- [PYT] PYTHA Lab GmbH: „Pytha 3D-CAD-System“, <http://www.pytha.de/product/proframed.htm>
- [VRML] Java 3D - VRML Working Group: „VRML97 Java 3D Loader“, <http://www.web3d.org/WorkingGroups/vrml-java3d/>