

[90] Das Pantometrum Kircherianum – Athanasius Kirchers Messtisch

In: Beinlich, H., H.-J. Vollrath, K. Wittstadt (Hrsg.), Spurensuche – Wege zu Athanasius Kircher, Dettelbach (Röll) 2002, 119-136

1. Geometrische Instrumente

Das aus dem Griechischen stammende Wort „Geometrie“ bedeutet „Erdmessung“. Tatsächlich wurzelt die Geometrie historisch in praktischen Problemen der Vermessung, was Heron von Alexandrien (um 60 n. Chr.) in seiner GEOMETRICA sehr anschaulich beschreibt:

„Wie der alte Bericht uns lehrt, haben die meisten Menschen sich mit Vermessung und Verteilung von Land abgegeben, woraus der Name Geometrie (Landmessung) entstanden ist. Die Erfindung aber der Vermessung ist von den Ägyptern gemacht; denn wegen des Steigens des Nils wurden viele Grundstücke, die deutlich zu erkennen waren, unkenntlich durch das Steigen, viele auch noch nach dem Fallen, und es war dem einzelnen nicht mehr möglich sein Eigentum zu unterscheiden; daher haben die Ägypter diese Vermessung erfunden, bald mit dem sogenannten Meßband, bald mit der Rute, bald auch mit anderen Maßen. Da nun die Vermessung notwendig war, verbreitete sich der Gebrauch zu allen lernbegierigen Menschen.“¹



Abb.1: Landvermesser in Ägypten.²

Die steigenden Anforderungen an die Vermessung erforderten die Entwicklung immer leistungsfähigerer *Instrumente*. Die Geschichte der *Praktischen Geometrie* ist deshalb eng verbunden mit der Geschichte der Vermessungsinstrumente.³

Die Praktische Geometrie wird zur Zeit Kirchers hoch geschätzt. So nennt sein Schüler Kaspar Schott sie die „edelste und nützlichste aller mathematischen Disziplinen“.⁴ In den Lehrbüchern wird sie in enger Verbindung mit geometrischen Messinstrumenten behandelt.

Das trifft auch für Kircher zu. Bereits in den INSTITUTIONES MATHEMATICAE von 1630, die als Manuskript vorliegen⁵, orientiert er sich in der Praktischen Geometrie an Vermessungsinstrumenten. Und auch im MAGNES von 1643 geht er so vor.⁶ Bemerkenswert ist dabei, dass jeweils das erste Problem, das zu einer bestimmten Problematik behandelt wird, im Bau des betreffenden Instruments besteht. Seine Lösung ist dann eine *Bauanleitung*. (Bereits in der Überschrift findet sich der Hinweis: „*De Instrumentorum Geometricorum confectio*“.⁷)

Die wichtigsten Anforderungen an Messinstrumente sind ihre *Genauigkeit* und ihre *Handhabbarkeit*. Häufig hat eine Verbesserung der Genauigkeit eine kompliziertere Bedienung zur Folge. In der Entwicklung der Instrumente ist man bestrebt, diesen Effekt zu vermeiden.

Mathematischen Instrumenten liegen in der Regel *mathematische* und *technische Ideen* zu Grunde. Es macht den besonderen Reiz des Studiums historischer Instrumente aus, diese Ideen und ihr Zusammenwirken zu erfassen.

Vermessungsinstrumente haben meist viele „Väter“. Häufig findet sich die Grundidee bereits im Altertum. Spätere Geometer haben neue Ideen, so dass die meisten Instrumente weiterentwickelt werden. Dabei kann man zwei gegenläufige Tendenzen beobachten: Für spezielle Aufgaben werden immer speziellere Instrumente entwickelt; als Gegenbewegung setzt dann häufig die Suche nach möglichst universell einsetzbaren Instrumenten ein. Man kann

also sowohl *Spezialisierung* als auch *Generalisierung* als Triebfedern der Entwicklung von Instrumenten erkennen.⁸

Schließlich kann man zur Zeit Kirchers feststellen, dass häufig Erfindung, Herstellung, Erklärung der Anwendungsmöglichkeiten, Ausbildung von Anwendern und Vermarktung in einer Hand liegen. Ein berühmtes Beispiel ist Galileo Galilei (1564-1642) mit seinem *Proportionalzirkel*.⁹

Im Mittelpunkt der folgenden Betrachtungen steht das von Schott so genannte „Pantometrum Kircherianum“.

2. Das Instrument

Im *MAGNES* (1643) beschreibt Athanasius Kircher ein „*Instrumentum, Pantometrum, Ichnographicum Magneticum*“.¹⁰ Er erläutert, dass er von einem „*Instrumentum Pantometrum*“ spricht, weil mit ihm „alles gemessen werden kann“; „*Ichnographicum*“ weist auf die Verwendung in der „Ichnographie“ (Kartographie) hin; während mit „*Magneticum*“ ein eingebauter Kompass angesprochen werde. Im Namen drückt sich also das Bestreben nach Generalisierung aus. Kircher weist im Text dann auch auf die einfache Handhabung und die Genauigkeit des Instruments hin.

Sein Schüler Kaspar Schott (1608-1666) spricht vom *Pantometrum Kircherianum* und widmet ihm 1660 ein eigenes Buch mit eben diesem Titel *PANTOMETRUM KIRCHERIANUM*.¹¹ Dort finden sich eine Abbildung und eine ausführliche Bauanleitung. Auch im *CURSUS MATHEMATICUS* von 1661 stellt Schott das Instrument ausführlich dar¹² (Abb. 2).

Das *Pantometrum Kircherianum* wird bekannt und findet Eingang in die Literatur.

So behandelt Jacob Leupold (1674-1727) in seinem *THEATRUM ARITHMETICO-GEOMETRICUM* von 1727 das Instrument unter der Überschrift: „*Athanasii Kircheri Meß-Tischgen, oder sogenanntes Pantometrum*“ und verweist auf Schotts Buch.¹³

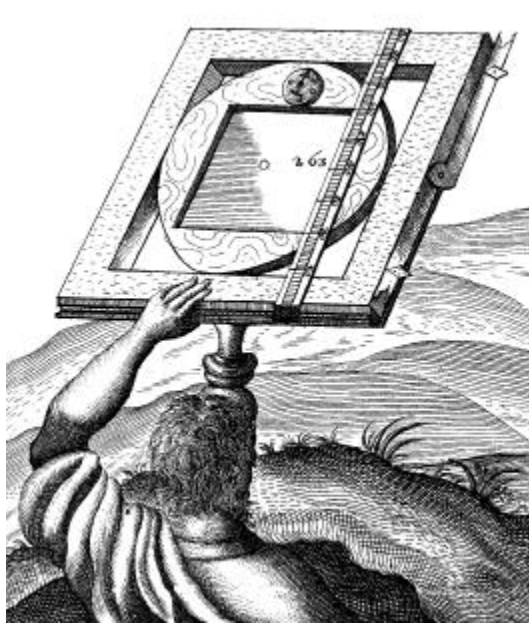


Abb.2: Pantometrum Kircherianum.¹⁴

Das MATHEMATISCHE LEXICON (1634), das auf Christian Wolff (1679-1754) zurückgeht, erklärt:

„Pantometrum, wird in dem Feld-Messen dasjenige Instrument genennet, womit man alles messen kan, was im Felde vorkömmt. Es haben dergleichen Benennung verschiedene Autores ihren zu diesem Ende erfundenen Instrumenten zugeeignet; doch ist vor allen des Athanasii Kircheri so genanntes Pantometrum bekannt worden; wie denn P. Schottus einen weitläufftigen Tractat davon geschrieben.“¹⁵

Das Pantometrum Kircherianum ist also ein *Messtisch*, mit dem man die in der Landvermessung auftretenden Aufgaben im wesentlichen *zeichnerisch* lösen konnte. Es befriedigte in seiner Zeit die Bedürfnisse der Feldmesser nach einem einfachen, genauen und universellen Instrument.¹⁶

3. Bestandteile

Das Pantometrum besteht aus folgenden Teilen:

- (1) Einem quadratischen Rahmen, der drehbar (um eine Achse durch den Drehpunkt E) auf einem Stativ angebracht ist (Abb. 3). Für die Kantenlänge gibt Schott 1 *Fuß* an. 1 Würzburger *Fuß* betrug damals etwa 29,2 cm.

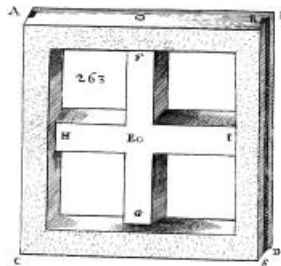


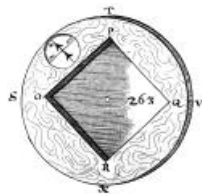
Abb. 3: Rahmen des Pantometrums.¹⁷

- (2) Einem Diopterlineal mit zwei „Absehen“, das seitlich an einer Kante des Quadrats drehbar befestigt ist (Abb. 4). Diopter oder Absehen sind hier die Reiter mit den Löchern, durch die man Messpunkte anvisieren kann.



Abb. 4: Diopterlineal des Pantometrums.¹⁸

- (3) Einer Kreisscheibe mit einem eingelassenen Kompass und einem quadratischen Feld zum Einlegen von Papier (Abb. 5). Die Kreisscheibe passt in das Quadrat, kann (ebenfalls um die Achse durch den Drehpunkt E) in eine bestimmte Himmelsrichtung gedreht und dann am Stativ arretiert werden.

Abb. 5: Kreisscheibe des Pantometrums.¹⁹

(4) Einem Lineal, das parallel zur Kante des Quadrats, an der das Diopterlineal befestigt ist, verschoben werden kann (Abb. 6). Man kann damit zeichnen und messen.

Abb. 6: Lineal des Pantometrums.²⁰

4 . Funktionsweise

In dem folgenden Bild (Abb. 7) aus dem PANTOMETRUM KIRCHERIANUM von Schott wird gezeigt, wie man die Entfernung des Seeschlosses vom Ufer bestimmen kann. Man denkt sich ein Dreieck ABC im Gelände. Gesucht ist die rechte Seitenlänge AC des Dreiecks.

(1) Zunächst wird im Gelände eine *Standlinie* festgelegt und ausgemessen. Im Bild ist das die untere Dreiecksseite AB. Nehmen wir an, sie beträgt 60 *Fuß*.

(2) Mit den eigentlichen Messungen wird nun beim 1. *Messpunkt* A rechts unten begonnen. Zunächst wird die Kreisscheibe mit dem Kompass auf eine bestimmte Himmelsrichtung eingestellt, etwa auf Nord. Nun wird das Quadrat so gedreht, dass man mit dem Diopterlineal den 2. *Messpunkt* B (z.B. eine Messlatte) links anvisieren kann. Ist das Quadrat richtig eingestellt, so zeichnet man eine Linie längs des Lineals auf dem Papier.

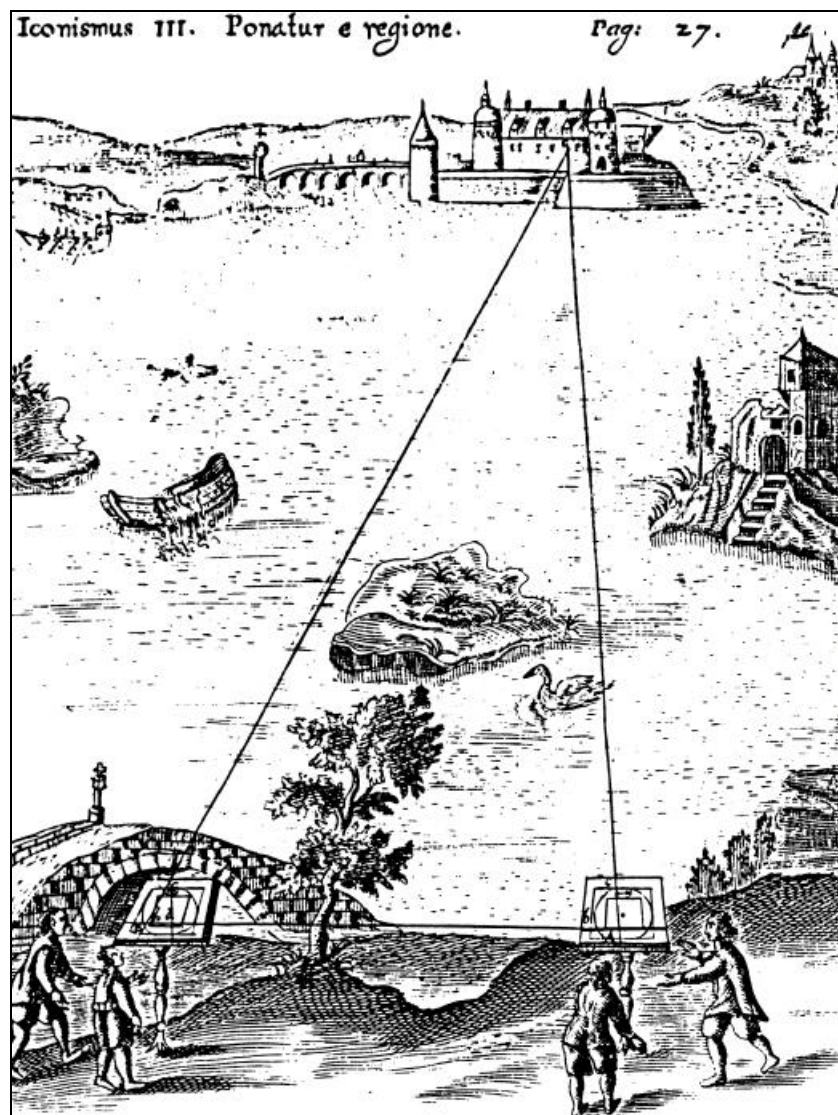


Abb. 7: Entfernungsmessung mit dem Pantometrum von 2 Punkten aus.²¹

(3) Dann wird von dem gleichen Punkt aus ein Punkt des Schlosses als 3. *Messpunkt C* anvisiert. Dazu muss man natürlich das Quadrat entsprechend drehen. Ist das geschehen, wird wiederum eine Linie mit dem Lineal gezeichnet.

(4) Nun wechselt man mit dem Pantometrum zum linken Messpunkt B. Zunächst ist die Kreisscheibe auf die vorige Himmelsrichtung Nord einzustellen. Dann wird wiederum der Messpunkt C am Schloss anvisiert und wieder mit dem Lineal eine Gerade gezeichnet.

Auf dem *Zeichenblatt* des Pantometrums ist nun ein Dreieck $A'B'C'$ gezeichnet, das dem Dreieck im Gelände *ähnlich* ist, d.h. gleiche Winkel und gleiche Seitenverhältnisse besitzt (Abb. 8).

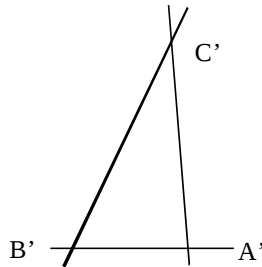


Abb. 8: Auf dem Papier des Pantometrums gezeichnetes Bilddreieck.

Es gilt also:

$$AC : AB = A'C' : A'B'.$$

Wir rechnen mit den alten Längenmaßen *Fuß*, *Zoll* und *Linie*.

Dabei gilt:

$$1 \text{ Fuß} = 12 \text{ Zoll}; 1 \text{ Zoll} = 12 \text{ Linien}.$$

Zunächst wird die Länge der Seite $A'B'$ gemessen. Angenommen sie beträgt $1 \text{ Zoll } 8 \text{ Linien} = 20 \text{ Linien}$.

Dann liest man die Länge von A'C' ab; sie betrage 4 Zoll 3 Linien, also 51 Linien.

Die Länge der Standlinie AB beträgt 60 Fuß.

Also gilt die Proportion:

$$AC : 60 = 51 : 20.$$

Die gesuchte Länge AC beträgt demnach 153 Fuß.

Man muss also *messen, zeichnen und berechnen*. Die Berechnung ist als Rechnen mit Verhältnissen *elementar*; es werden z.B. keine Winkelfunktionen benötigt.

Das von Schott beschriebene Instrument ist in erster Linie zum Messen in der Waagerechten gedacht. Mit ihm konnte man alle entsprechenden Vermessungsaufgaben durch das Zeichnen ähnlicher Dreiecke lösen.

5. Das Pantometrum bei Kircher

Im MAGNES weist Kircher darauf hin, dass er bei dem Jesuiten Johann Reinhard Ziegler die günstige Gelegenheit hatte, das Pantrometrum zu erfinden, das er bei verschiedenen Gelegenheiten zur Vollkommenheit weiterentwickelte.²²

Der von Kircher wegen seiner Gelehrsamkeit und seiner außergewöhnlichen Erfahrung gelobte Ziegler (1569-1636) hatte ihn 1624 nach Aschaffenburg an den Hof des Kurfürsten von Mainz empfohlen, wo er im Auftrag des Kurfürsten kartographische Arbeiten durchführte.²³ Ziegler hatte selbst in Würzburg studiert²⁴ und war dann *Praeceptor Grammaticae* an der Universität Würzburg.²⁵

Im Vorwort zu Schotts PANTOMETRUM KIRCHERIANUM hebt Athanasius Kircher die leichte Handhabung (*usus tum facilitas*) und seine Genauigkeit (*certitudo*) hervor, die im übrigen Schott selbst hätte häufig erproben können. Schott selbst lobt in seinem Vorwort dieses Instrument noch etwas

überschwänglicher, wenn er schreibt, dass bis dahin noch keine leichter handhabbare, universellere und genauere Erfindung zu finden gewesen sei.²⁶

Im *MAGNES* hatte Kircher zwei *Versionen* des Pantometrums abgebildet (Abb. 9).

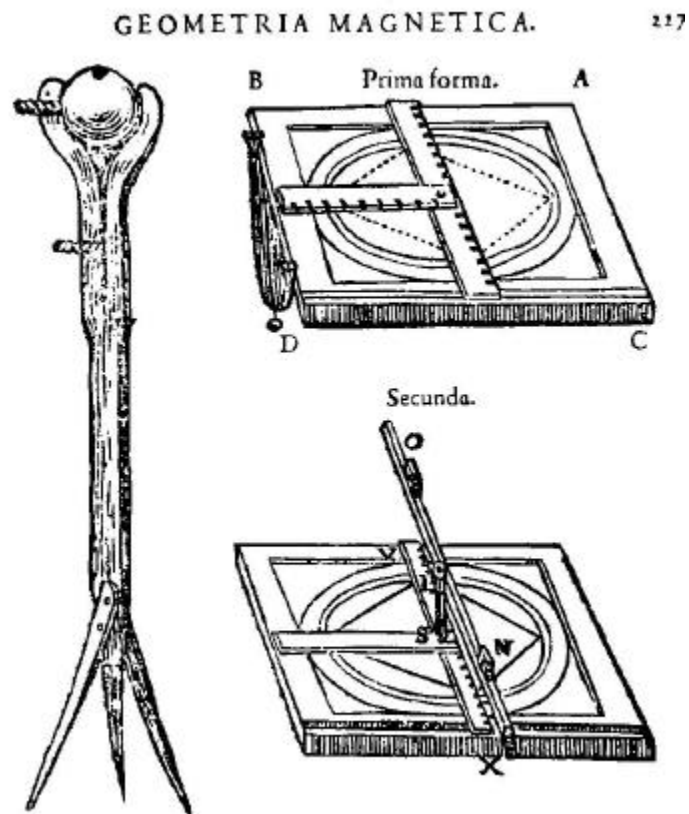


Abb. 9: Kirchers zwei Versionen des Pantometrums.²⁷

Wie man sieht, weichen sie von dem von Schott dargestellten Instrument ab. Auffällig ist, dass z.B. am ersten Typ neben den Absehen noch ein „Senkel“ angebracht ist. Das Instrument sollte also auch in der Senkrechten verwendet werden können. Auch sein Stativ war entsprechend eingerichtet. Denn Kircher wollte mit dem Instrument neben dem Problem der Abstandsbestimmung (*latitudinem rerum metiri*) auch das Problem der Höhenbestimmung (*altitudines rerum inuestigare*) und das Problem der Tiefenbestimmung (*profunditatem rerum inuestigare*) lösen.

Am Lineal ist bei Kircher noch ein weiteres Lineal rechtwinklig angebracht. Ein Kompass soll zwar nach dem Text in der Kreisscheibe eingebaut sein, wird jedoch nicht abgebildet. Ob die von Schott vorgenommenen Änderungen auf Kircher zurückgehen, konnte nicht geklärt werden.

In der Literatur über Kircher wird das Pantometrum gelegentlich als „geometrischer Rechner“ bezeichnet.²⁸ Diese Bezeichnung ist unzutreffend, denn das Gerät erzeugt ja lediglich eine ähnliche Zeichnung, aus der man die Maße mit dem Lineal ablesen kann. Die dann notwendigen Berechnungen muss man selbst durchführen.

6. Vorläufer

Bereits Leupold weist darauf hin, dass das Pantometrum Kircherianum dem von Leonhard Zubler (1563-1609) erfundenen Messtisch sehr ähnlich ist. Er schreibt:

„Dieses Instrument, welches P. Schotten Gelegenheit gegeben eine Geometriam practicam zu schreiben, und darinnen dessen Gebrauch anzuweisen, wird so wohl von eben diesen in den gedachten Tractate, als auch von vielen andern insgemein dem Kirchero zugeschrieben, da es doch beynahe mit Ihm zugleich die Welt gesehen. Denn es konte Kircherus bald vier Jahre seines Alters zehlen, als Leonhard Zübler das kurtz vorhero beschriebene Meß-Tischgen erfunden und der Welt Anno 1607 zur erst bekandt machte. Dieses aber ist eben der Grund zu dem Pantometro,

immaßen solches nur in einem und den anderen Stücke von dem Kirchero verändert und beqvemer gemacht worden, wie aus nachfolgender Beschreibung und Gegeneinanderhaltung dieser zweyen Instrumenten am besten klar werden wird.“²⁹

In seinem NOVUM INSTRUMENTUM GEOMETRICUM (Zubler 1625) zeigt Leonhard Zubler folgenden Messtisch (Abb. 10):

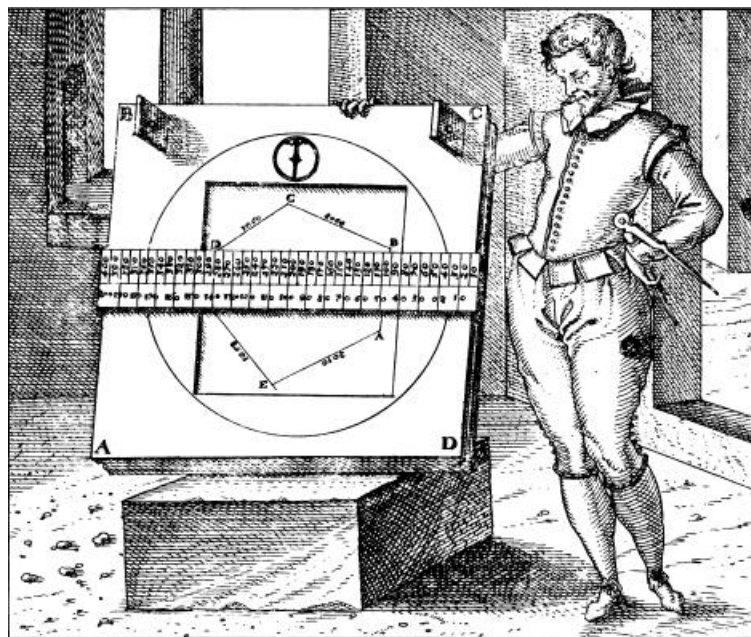


Abb. 10: Zublers Messtisch.³⁰

Zublers Messtisch unterscheidet sich hiernach vor allem durch die fest angebrachten Absehen, und er ist wesentlich größer.

Schott hatte im Vorwort zum PANTOMETRUM KIRCHERIANUM die damals bekannten Vermessungsinstrumente aufgezählt. Seine Liste der Erfinder

beginnt bei Ptolemäus, führt dann Namen wie Gemma Frisius, Purbach, Apian, Clavius und Hulsius auf. Und er nennt auch Zubler, ohne jedoch eine direkte Verbindung zu dessen Messtisch herzustellen.³¹

Wie so häufig, hat auch hier Kircher die Idee eines anderen aufgegriffen und weiter entwickelt. Einerseits weist also die Bezeichnung „Pantometrum Kircherianum“ auf Kirchers Beitrag zur Entwicklung dieses Instruments hin. Andererseits gewinnt das Pantometrum durch den berühmten Namen an Ansehen, so dass mit der Namensgebung auch „Reklame“ für das Instrument verbunden ist.

Im PANTOMETRUM KIRCHERIANUM behandelt Schott noch ein weiteres Instrument, das er Kircher zuschreibt, nämlich die *Libella Kircheriana* (Abb. 11).

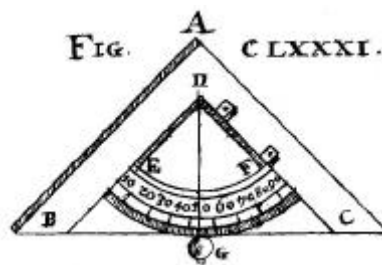
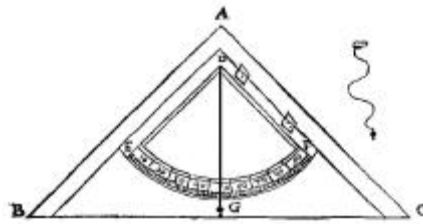


Abb. 11: Libella Kircheriana.³²

Kircher hatte die *Libella* in seiner *ARS MAGNA LUCIS ET UMBRAE* von 1646 dargestellt (Abb. 12). Es handelt sich dabei um eine „Setzwaage“, bei der an einem Schenkel des gleichschenklig-rechtwinkligen Dreiecks zwei Absehen angebracht sind.

Abb. 12: *Libella*.³³

Mit dem Instrument konnte man also die Waagerechte bestimmen. Darüber hinaus konnte man mit Hilfe der Absehen z.B. die Spitze eines Turms anvisieren und dann am Winkelmesser den von dem Senkel angezeigten Winkel ablesen.

Mit diesem Instrument ließ sich aber auch ohne Winkelmessung die Turmhöhe bestimmen, indem man mit ihm im Gelände ein gleichschenklighrechtwinkliges Dreieck erzeugte. Dazu entfernte man sich mit dem Instrument in Grundstellung so weit vom Turm, bis man die Turmspitze im Visier hatte. Der Standort, die Turmspitze und der „Fuß“ des Turmes bildeten dann ein gleichschenklighrechtwinkliges Dreieck. Die Entfernung vom Standort zum Turm war deshalb gleich der Turmhöhe. Man brauchte also nur diese Entfernung zu messen.

Die Setzwaage war schon im Altertum zur Bestimmung der Horizontalen gebräuchlich.³⁴ Man setzte die Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks auf die auszurichtende Linie und sorgte dafür, dass der „Senkel“ senkrecht zur Hypotenuse verlief.

Den von Kircher beschriebenen oder weiter entwickelten Vermessungsinstrumenten lagen eigene Erfahrungen in der Landvermessung und der Kartographie zu Grunde.

7. Vermessungsarbeiten Kirchers

In seiner Autobiographie berichtet Kircher von kartographischen Arbeiten in Deutschland und Frankreich.

Im Dienste des Erzbischofs und Kurfürsten von Mainz in Aschaffenburg führte er 1624 kartographische Arbeiten an der Bergstraße durch. Er schreibt:

„Damals war gerade die Bergstraße, welche der Erzbischof Dittmar von Mainz seiner Zeit an die Kurpfalz verpfändet hatte, wieder unter die Botmäßigkeit des Kurfürsten zurückgefallen. Um nun genaue Kenntniß von dem ganzen zurückerhaltenen Gebiete zu erlangen, beauftragte er mich, als ihm bekannt und treu ergeben, mit Entwerfung einer Karte des ganzen Landstrichs. Schon nach drei Monaten konnte ich ihm eine solche, die ich mit dem größten Fleiße angefertigt hatte, überreichen. Er war ganz entzückt über die genau Darstellung der einzelnen Orte und der bebauten Flächen und gab mir den Auftrag, noch andere strittige Gebiete des Mainzer Erzbisthums mit gleicher Sorgfalt kartographisch aufzunehmen.“³⁵

Im Vordergrund des Interesses standen – schon aus steuerlichen Gründen – bei den damaligen Karten die Lage der Orte und die Größe der bebauten Flächen.³⁶

Mit kartographischen Arbeiten war er auch in seiner Zeit in Avignon befasst. Er berichtet:

„Zu derselben Zeit erhielt ich von meinen Obern den Auftrag, die Provinz Narbonne zu bereisen. Ich sollte eine neue Landkarte von diesem Gebiete anfertigen, zugleich aber auch die Heiligthümer desselben besuchen, wie die Höhle der hl. Maria Magdalena, gewöhnlich Sainte Beaume genannt, Saint Maximin, wo der Leib derselben Heiligen, Marseille, wo der Leib des hl. Lazarus und Tarascon, wo der der hl. Martha ruhen.“³⁷

Über das Ergebnis dieser Arbeiten schreibt er nichts Näheres.

In beiden Berichten fehlen zwar Hinweise auf Vermessungsarbeiten, doch waren derartige Arbeiten zur Erzielung der erforderlichen Genauigkeit der Karten sicher notwendig. Auch über Vermessungsinstrumente machen die Berichte keine Angaben.

Dass er mit dem Pantometrum selbst Vermessungen durchführte, zeigt ein Bericht über seinen Besuch des Vesuvs im Jahre 1638. Er ließ sich nicht abhalten, ihn mit einem Führer nachts zu besteigen.

„Bei anbrechendem Morgen ließ er sich an einem Seil innerhalb des Trichters auf einen gewaltigen Felsblock hinab, der eine günstige Aussicht auf die ganze unterirdische Werkstätte darbot. Mit Hilfe seines Pantometers berechnete er nach Möglichkeit die Tiefe und den Um(An)fang des kolossalen Schlundes.“³⁸

Auf eigene Erfahrungen in der Feldmessung verweist Kircher auch im *MAGNES*.³⁹

Dass Kircher an Vermessungsarbeiten interessiert war und schon früh über die erforderlichen Kenntnisse verfügte, wird aus den *INSTITUTIONES MATHEMATICAE* deutlich.⁴⁰

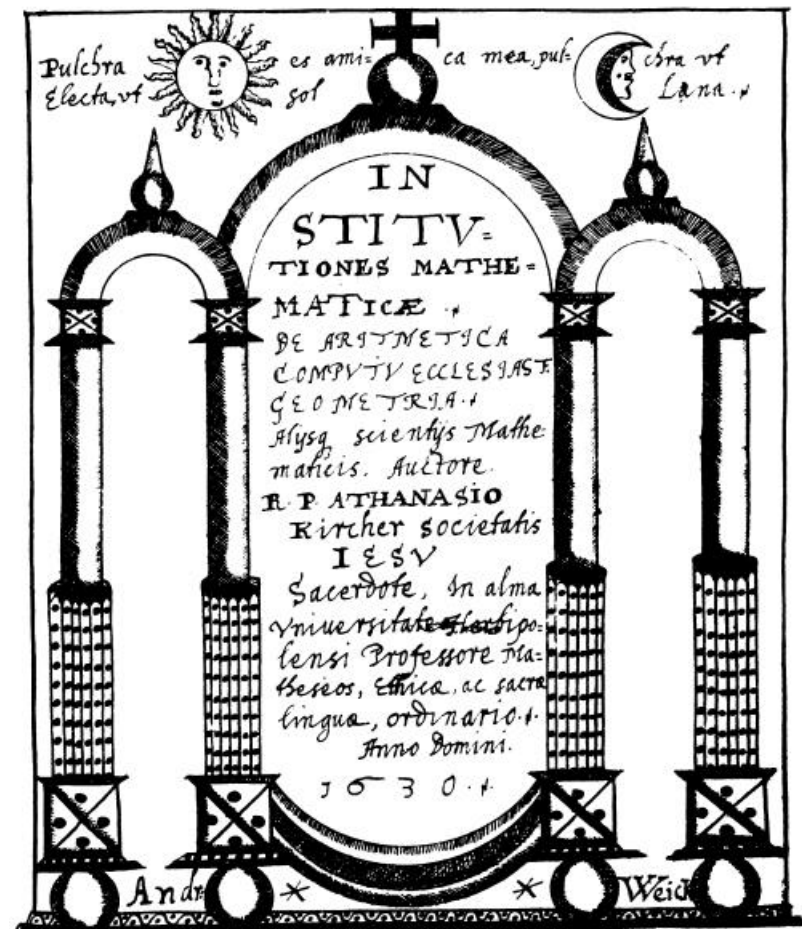
8. Vermessungsinstrumente in den *Institutiones mathematicae*

Das Titelblatt der *INSTITUTIONES MATHEMATICAE* nennt als Autor Athanasius Kircher und ist auf 1630 datiert, als Kircher Professor in Würzburg war (Abb. 13). Es befindet sich heute in der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe.⁴¹

Über den Verfasser des Manuskripts gibt der Ausstellungskatalog von Rastatt an: „Das handgeschriebene Buch stammt von Kircher selbst.“⁴² Das ist eher unwahrscheinlich. Denn unten auf dem Titelblatt findet sich die Angabe

„Andr. Weick“.

Auch im Manuskript selbst taucht dieser Name auf. So findet sich auf einer Tabelle der Winkelfunktionen der Hinweis: *André Weicque a fait cela en la ville de Hesdin An: 1632, troisesme iour de May*.⁴³

Abb. 13: Titelblatt der INSTITUTIONES MATHEMATICAE.⁴⁴

Einer Tabelle auf Seite 79 werden vorangestellt:

Jesus – Maria – Ignatius – Andreas.

Hier wird also Andreas als Namenspatron geehrt.

Im Matrikelbuch der Universität Würzburg ist für 1629/30 *Andreas Weick e Soc. Jesu* eingetragen.⁴⁵ Er wurde am 23. Juni 1611 geboren und trat 1627 in den Jesuitenorden ein.

Die Handschrift dürfte also von einem Schüler Athanasius Kirchers stammen, der 1632 in Hesdin an dem Manuskript arbeitete. Auf Seite 52 findet sich am Rand ein Hinweis auf Wallensteins Lager am 10. Mai 1632. Das Manuskript ist also zwischen 1630 und 1632 angefertigt worden.

Der Schreiber verwendet häufig Abkürzungen, z.B. „4dratu“ für „quadratum“, „qbs“ für „quibus“ usw. „altiñem“ für „altitudinem“. Das lässt auf eine Vorlesungsmitschrift schließen.

Hesdin ist eine Stadt im Nordwesten von Frankreich, die 1554 von Emanuel Philibert von Savoyen erbaut wurde, nachdem die 6 km östlicher gelegene Stadt 1553 von Karl V. zerstört worden war.

In den INSTITUTIONES MATHEMATICAE werden nacheinander behandelt:

Arithmetica vulgaris,

Computus ecclesiasticus (Kirchliche Zeitrechnung),

Geometria,

Geometria practica,

Geographia,

Astronomia,

Horologiographia (Lehre von den Sonnenuhren),

Musica.

Das dürfte der Inhalt einer Vorlesung gewesen sein. Die Darstellung ist knapp, aber mit vielen Beispielen versehen.

Mit Fragen der Landvermessung und der Kartographie (*Geodesia et Ichnographia*) befasst sich Kircher in dem Kapitel über die *Geometria*

practica. Dort bringt er Bauanleitungen und Anwendungen der wichtigsten geometrischen Instrumente.

Er beginnt mit dem *Geometrischen Quadrat* (*Quadratus geometrucus*), einem damals sehr gebräuchlichen Vermessungsinstrument.⁴⁶

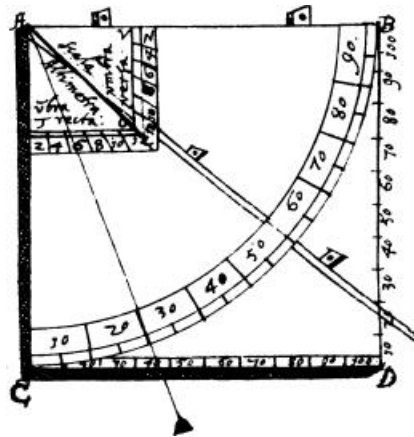


Abb. 14: Geometrisches Quadrat.⁴⁷

Dieses besteht aus einem quadratischen Rahmen, bei dem seitlich an einer Kante zwei Absehen angebracht sind. An einer Ecke ist eine Drehstab mit zwei Absehen befestigt, der als „Regel“ (*regula*) bezeichnet wird. An dieser Ecke ist auch ein „Senkel“ befestigt, mit dem man das Quadrat senkrecht bzw. waagerecht ausrichten kann. Am Viertelkreis kann man damit bei geneigtem Quadrat aber auch den Neigungswinkel ablesen. Beim inneren Quadrat sind zwei Seiten in je 12 Teile geteilt. Beim äußeren Quadrat sind die entsprechenden Seiten in je 10 Teile geteilt.

Dieses Instrument wendet er dann zur Bestimmung der Turmhöhe eines Gebäudes an (Problem 2; in Abb. 15 rechts). Mit den Absehen am Rand des geometrischen Quadrats visiert man die Turmspitze an. Der Senkel stellt sich

so ein, dass im Quadrat ein rechtwinkliges Dreieck entsteht, das dem rechtwinkligen Dreieck am Gebäude ähnlich ist. Am Instrument kann man nun das Verhältnis der Katheten ablesen.

Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke müssen die Kathetenverhältnisse gleich sein. Kennt man den Abstand des Messinstruments vom Gebäude, so kann man aus der Verhältnisgleichung die gesuchte Höhe berechnen.

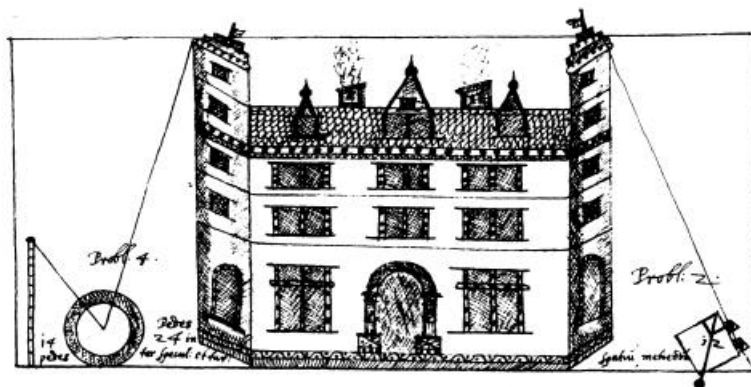


Abb. 15: Höhenmessung mit dem geometrischen Quadrat (Problem 2).⁴⁸

An der Zeichnung ist auch noch die Lösung einer anderen Aufgabe (Abb. 15 Problem 4; links) dargestellt. Hier soll die Höhe des Gebäudes mit Hilfe eines liegenden *Spiegels* bestimmt werden. Der Beobachter stellt sich so auf, dass er den Messpunkt in der Mitte des Spiegels sieht. Dann gilt: Die Höhe verhält sich zum Abstand des Gebäudes von der Spiegelmitte wie die Augenhöhe des Beobachters zu seinem Abstand vom Spiegelmittelpunkt. Kennt man die beiden Abstände und die Augenhöhe, so kann man aus der Proportion die gesuchte Höhe berechnen. (Im Text ist dem Verfasser beim Ansatz der Proportion allerdings ein Fehler unterlaufen.)

Wie man die Turmhöhe durch zweimaliges Anpeilen der Spitze mit einem geometrischen Quadrat von den Enden einer Standlinie aus bestimmen kann, wird im 5. Problem gezeigt (Abb. 16).

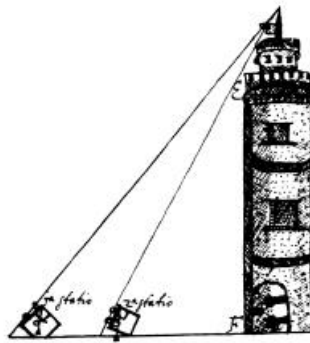


Abb. 16: Höhenmessung mit dem geometrischen Quadrat von 2 Punkten aus.⁴⁹

Dann wendet er sich dem *Senkelquadranten* zu (Abb. 17). Es handelt sich um einen Viertelkreis mit einer Regel, an der ein Senkel angebracht ist.⁵⁰

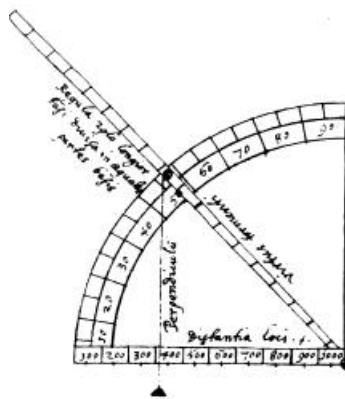


Abb. 17: Senkelquadrant.⁵¹

Auf der unteren Skala sind Abstände eingetragen. Das Instrument war dazu gedacht, die Neigung eines Geschützes einzustellen. Es handelt sich also um einen „Büchsenquadranten“⁵². Der Senkel sollte auf der Entfernungsskala die Schussweite anzeigen. (Die gezeichnete Skala kann dies jedoch nicht leisten.) Wie das Instrument benutzt werden soll, ist aus der folgenden Skizze ersichtlich (Abb. 18, Problem 7). (Von der Geschossbahn scheint der Verfasser allerdings abenteuerliche Vorstellungen gehabt zu haben.)

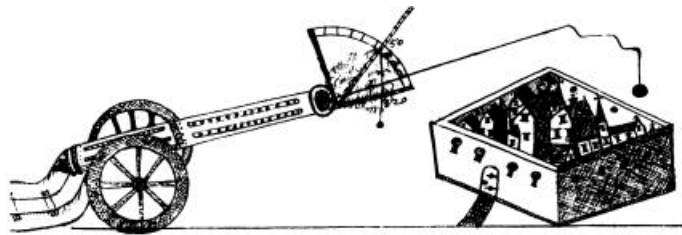


Abb. 18: Messung der Geschützneigung mit dem Senkelquadranten.⁵³

Danach gibt er die Bauanleitung für einen *Jakobsstab* (*Radius geometricus*) mit *einem* Querstab, wie er z.B. von Regiomontanus (1436-1476) beschrieben und verwendet wurde.⁵⁴ Kircher beschränkt sich auf einige Hinweise zu Anwendungen dieses Instruments.

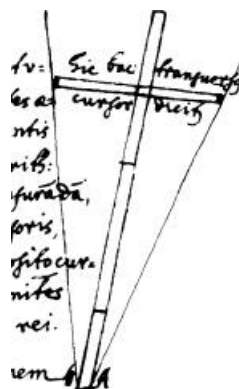


Abb. 19: Jakobsstab.⁵⁵

Man setzt den Jakobsstab am Jochbein an und visiert mit Hilfe des Querstabs 2 Punkte an. Der Querstab wird dabei auf dem Längsstab verschoben, bis er genau den Sehwinkel begrenzt. Damit ist der Jakobsstab ein Winkelmesser. Man kann ihn so eichen, dass man auf dem Längsstab bei der jeweiligen Position des Querstabes die zugehörige Winkelgröße ablesen kann. Kircher beschreibt, wie man mit ihm Streckenverhältnisse bestimmen kann.

Bei der folgenden systematischen Behandlung von *Vermessungsaufgaben* beginnt er mit der Aufgabe, die Breite eines Flusses von einem Punkt aus zu bestimmen. Als Beispiel dient ihm der Main (*Moenus*). Als Messinstrument verwendet er ein geometrisches Quadrat. In Gedanken hat man dabei ein rechtwinkliges Dreieck zu ergänzen (Abb. 20). Die eingezeichnete Linie ist die Hypotenuse: das Lot vom Messinstrument zum Fuß des Turmes ist die eine Kathete; die Verbindung des Fußpunktes mit dem Baum ist die andere Kathete.

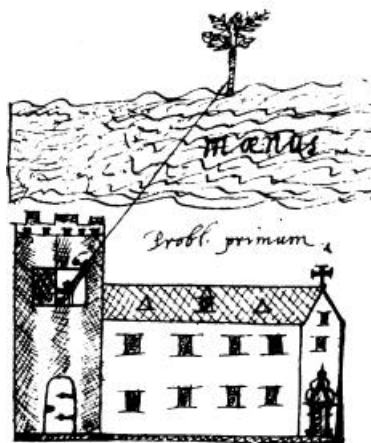


Abb. 20: Breite des Mains mit dem geometrischen Quadrat vom Turm eines Klosters aus gemessen.⁵⁶

Die Zeichnungen der Gebäude legen die Frage nahe, ob sie sich auf reale historische Gebäude beziehen. Würzburger Gebäude, die eine gewisse Ähnlichkeit aufweisen, wie der Hof Conti (das bischöfliche Palais) oder der Pleicher Turm, zeigen aber auf Abbildungen der damaligen Zeit so deutliche Abweichungen, dass eine sichere Zuordnung nicht möglich ist.

Kircher zeigt dann, wie man die Breite eines Flusses von 2 Messpunkten aus mit einem *Halbkreisinstrument* (*Instrumentum semicirculum*), das mit zwei Regeln ausgestattet ist, bestimmen kann (Abb. 21). Diesmal wählt er als Beispiel den Neckar (*Neckarus*).

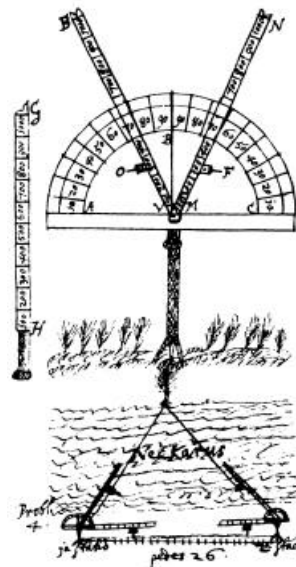
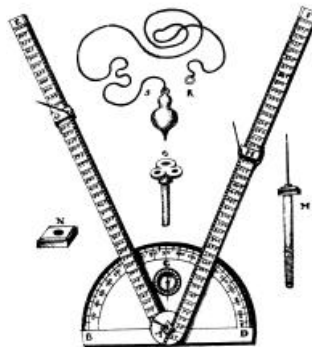
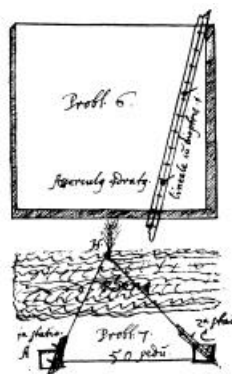


Abb. 21: Breite des Neckars mit dem Halbkreisinstrument von 2 Orten aus gemessen.⁵⁷

Sein Messinstrument entspricht weitgehend dem Halbkreisinstrument von Zubler (Abb. 22), das dieser 1625 beschrieben hatte. (Bei Kircher fehlt lediglich der Kompass.)

Abb. 22: Halkreisinstrument von Zubler.⁵⁸

Schließlich beschreibt Kircher noch einen klassischen *Messtisch* (*Instrumentum Ichnographicum, seu Geodeticum*) bestehend aus einer Platte auf Stativ und einem Diopterlineal als Regel. Als Absehen dienen die beiden Stifte auf dem Lineal. Die Platte wird mit Papier bezogen. Mit dem Diopterlineal wird anvisiert und gezeichnet. Kircher beschreibt, wie man ein solches Instrument bauen (Problem 6) und wie man mit diesem Instrument die Breite des Rheins (*Rhenus*) bestimmen kann (Problem 7, Abb. 23).

Abb. 23: Breite des Rheins mit dem Messtisch gemessen von 2 Orten aus.⁵⁹

Auch hierfür findet sich bei Zubler ein Vorbild (Abb. 28).



Abb. 24: Messung mit Messtisch von 2 Punkten aus.⁶⁰

Der Messtisch ist eine Erfindung von Johann Prätorius (1537-1616) aus dem Jahre 1590, die vor allem durch seinen Schüler Daniel Schwenter (1585-1636) in dessen *GEOMETRIAE PRACTICAE NOVAE TRACTATUS III* bekannt gemacht wurde.⁶¹ Eine ausführliche Beschreibung für den Bau einer solchen „Mensula Pretoriana“ gibt Leupold in seinem *THEATRUM ARITHMETICO-GEOMETRICUM*.⁶²

Obwohl ein Teil der Instrumente auch zur Winkelmessung verwendet werden kann, beschränkt sich Kircher auf das Messen von Seitenlängen und das Rechnen mit Seitenverhältnissen. Das hängt mit seiner Lösungsmethode zusammen.

9. Methode

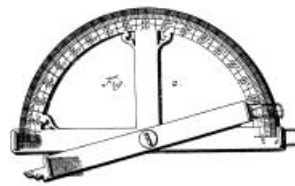
Durchweg bearbeitet Kircher in den *INSTITUTIONES MATHEMATICAE* die Vermessungsaufgaben durch *Triangulation*, wie das oben für die Entfernung des Wasserschlosses gezeigt wurde. Dabei wird in der Realität ein Dreieck angenommen, von dem eine Seitenlänge bekannt ist. Von diesem Dreieck wird nun ein verkleinertes ähnliches Dreieck erzeugt, bei dem man die Seitenlängen abmessen kann. Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke sind in ihnen entsprechende Seitenverhältnisse gleich. Das führt auf eine Verhältnisgleichung zwischen vier Seitenlängen, von denen drei bekannt sind, so dass die vierte berechnet werden kann.

Kircher behandelt zwar in den *INSTITUTIONES MATHEMATICAE* auch die Winkelfunktionen, benutzt sie aber nicht in der Landvermessung. Das mag daran liegen, dass damals viele Feldmesser mit Proportionen arbeiteten.

Andererseits vollzog sich im 17. Jahrhundert ein Wandel, der mit der Entwicklung leistungsfähiger Winkelmessgeräte einherging. Zunächst lösten die *Scheibeninstrumente* (Vollkreisinstrument, Halbkreisinstrument) das geometrische Quadrat und den Senkelquadranten ab (Abb. 25).



Abb. 25: Vollkreisinstrument⁶³



Halbkreisinstrument⁶⁴

Dann setzte sich aber der *Theodolit* durch, bei dem mit Fernrohren anvisiert wird und Winkel in der Waagerechten sowie der Senkrechten gemessen werden können.⁶⁵



Abb. 26: Theodolit.⁶⁶

Heute werden in der Landvermessung keine Winkel mehr gemessen, sondern Entfernungen. Messtische haben allerdings bis heute eine gewisse Bedeutung behalten.

10. Schotts Pantometrum Kircherianum und sein *Cursus mathematicus*

Im PANTOMETRUM KIRCHERIANUM stellt Kaspar Schott auf der Grundlage des Vermessungsinstruments ausführlich die Aufgabenbereiche der Praktischen Geometrie dar. Sein Werk besteht aus folgenden Teilen („Büchern“) mit den zum Teil etwas eigenwilligen Titeln:

Technicus (Herstellung des Pantometrum Kircherianum),

Euthymetricus (Längenberechnungen),

Embadometricus (Flächenberechnungen),

Ichnographicus (Anlegen von Plänen und Karten),

Stereometricus (Körperberechnungen),

Coelometricus (Berechnung von Hohlkörpern),

Geodaeticus (Feldmessung),

Metamorphoticus (Verwandlungen von Flächen und Körpern),

Hydragocus (Erzeugen von Waagerechten und Senkrechten),

Verschiedenes (Skalen des Proportionalzirkels).

Die Ausführungen beschränken sich nicht nur auf das Pantometrum, sondern vor allem bei Höhenmessungen verwendet er auch das Geometrische Quadrat. Dies ist auch in den Figuren zu den Vermessungsaufgaben erkennbar (Abb. 27).

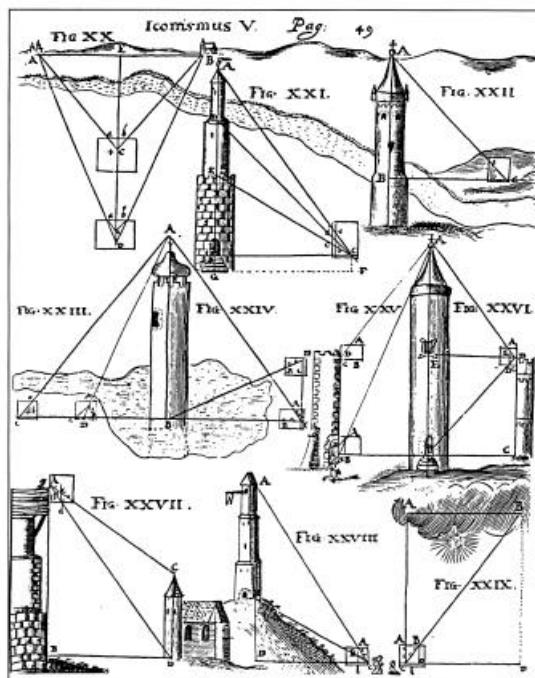


Abb. 27: Vermessungsaufgaben.⁶⁷

Dem Aufbau des PANTOMETRUM KIRCHERIANUM⁶⁸ folgt Kaspar Schott dann in seinem CURSUS MATHEMATICUS⁶⁹ bei der Behandlung der Praktischen Geometrie (Liber 6). Jedoch ist dort die Darstellung knapper. Deshalb verweist er für weitere Beispiele auch immer wieder auf sein PANTOMETRUM KIRCHERIANUM.

Im CURSUS MATHEMATICUS beginnt Schott allerdings mit der Bauanleitung für ein *geometrisches Quadrat*, dann folgt die Bauanleitung für das *Pantometrum Kircherianum*, schließlich die Bauanleitung für einen *Senkelquadranten*. Auf alle drei Messinstrumente wird dann bei der Behandlung der Aufgabenstellungen Bezug genommen.

Auch im CURSUS MATHEMATICUS findet sich übrigens die Höhenbestimmung eines Gebäudes mit Hilfe eines Spiegels⁷⁰ wie in den INSTITUTIONES MATHEMATICAE (s.o. Problem 4).

Von der Libella Kircheriana bringt Schott im CURSUS MATHEMATICUS eine gegenüber dem PANTOMETRUM KIRCHERIANUM vereinfachte Version. Er spricht deshalb hier auch einfach von der *Libella*.⁷¹ Es handelt sich dabei um die übliche Setzwaage⁷², die er hier im Zusammenhang mit der Horographie (Lehre von den Sonnenuhren) behandelt.

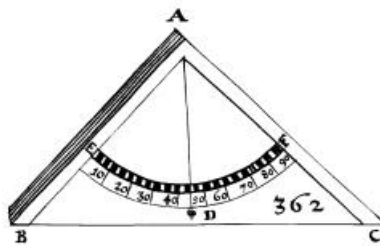


Abb. 28: Setzwaage.⁷³

Das PANTOMETRUM KIRCHERIANUM ist eins der typischen *Instrumentenbücher*, die seit dem 16. Jahrhundert verfasst wurden, um Astronomen, Feldmesser, Kartographen, Architekten, Navigatoren und Artilleristen über den Gebrauch von mathematischen Instrumenten in ihren

wichtigsten Anwendungsgebieten zu informieren.⁷⁴ Im Vordergrund standen dabei die jeweils zu lösenden Probleme, die möglichst elementar und für den Anwender verständlich gelöst werden sollten. Beispiele sind der *GEOMETRIAE PRACTICAE NOVAE TRACTATUS III* (1618) von Daniel Schwenter⁷⁵ sowie das *NOVUM INSTRUMENTUM GEOMETRICUM* (1625) von Leonhard Zubler⁷⁶. Häufig wurden derartige Bücher von den Erfindern und Herstellern selbst geschrieben.

Im 18. Jahrhundert erscheinen dann etliche Instrumentenbücher, die einen Überblick über die mathematischen Instrumente zu geben versuchen. Zu ihnen gehören das *THEATRUM ARITHMETICO-GEOMETRICUM* (1727) von Jacob Leupold⁷⁷ und die *GEOMETRICAL AND GRAPHICAL ESSAYS* (1797) von George Adams⁷⁸.

Von Schott sind zwei weitere Instrumentenbücher erschienen. In seiner *MATHESIS CAESAREA* (1662)⁷⁹ beschreibt er die Anwendungsmöglichkeiten eines *Proportionalzirkels* und im postum erschienenen *ORGANUM MATHEMATICUM* (1668)⁸⁰ erläutert er den Gebrauch eines von Athanasius Kircher entwickelten Unterrichtsmittels (s. weiteren Beitrag des Verfassers in diesem Band).

Literatur

Adams, George: *Geometrical and graphical essays*, London 1797; *Geometrische und Graphische Versuche*, Auswahl aus der deutschen Ausgabe von 1795 von Peter Damerow, Wolfgang Lefèvre, Darmstadt 1985.

Brischar, Karl: P. Athanasius Kircher, Würzburg 1877.

Godwin, Joscelyn: *Athanasius Kircher – Ein Mann der Renaissance und die Suche nach verlorenem Wissen*, Berlin 1994.

Heron: *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia*, IV, J. L. Heiberg (Hrsg.) Stuttgart 1976.

- Kircher, Athanasius: *Institutiones mathematicae*, Würzburg 1630, (Manuskript).
- Kircher, Athanasius: *Magnes sive de arte magnetica*, Köln 1643.
- Kircher, Athanasius: *Ars magna lucis et umbrae*, Rom 1646.
- Kircher, Athanasius: Selbstbiographie des P. Athanasius Kircher aus der Gesellschaft Jesu, übers. von Nikolaus Seng, Fulda 1901.
- Knobloch, Eberhard: Instrumente, in: Menso Folkerts, Eberhard Knobloch, Karin Reich (Hrsg.), *Maß, Zahl und Gewicht: Mathematik als Schlüssel zu Weltverständnis und Weltbeherrschung*, Wolfenbüttel 1989, 155-185.
- Leupold, Jacob: *Theatrum arithmetico geometricum*, Leipzig 1727.
- Loibl, Werner: Athanasius Kircher (1602-1680) und Aschaffenburg, Aschaffener Jahrbuch Bd. 21, Aschaffenburg 2001, 11-48.
- Merkle, Sebastian: *Die Matrikel der Universität Würzburg*, I.1, München 1922.
- Penther, Johann Friedrich: *Praxis geometriae*, Augsburg 1732, Nachdruck Stuttgart 1981.
- Rastatt, Stadt (Hrsg.): *Universale Bildung im Barock – Der Gelehrte Athanasius Kircher*, Ausstellungskatalog, Rastatt 1981.
- Reindl, Maria: *Lehre und Forschung in Mathematik und Naturwissenschaften, insbesondere Astronomie, an der Universität Würzburg von der Gründung bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts*, Quellen und Beiträge zur Geschichte der Universität Würzburg, Beiheft 1, Würzburg 1966.
- Schmidt, Fritz: *Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter*, Kaiserslautern 1935; Nachdruck: Stuttgart 1988.
- Schneider, Ivo: *Der Proportionalzirkel – Ein universelles Analogrecheninstrument der Vergangenheit*, München 1970.
- Schott, Kaspar: *Pantometrum Kircherianum*, Würzburg 1660.
- Schott, Kaspar: *Cursus mathematicus*, Würzburg 1661.
- Schott, Kaspar: *Mathesis caesarea*, Würzburg 1662.
- Schott, Kaspar: *Organum mathematicum*, Würzburg 1668.

Schwenter, Daniel: *Geometriae practicae novae, Tractatus III*, Nürnberg 1618.

Vollrath, Hans-Joachim, Hans-Georg Weigand, Thomas Weth: Spezialisierung und Generalisierung in der Entwicklung der Zirkel, in: Max Liedtke (Hrsg.): *Relikte – Der Mensch und seine Kultur*, Graz 2000, 123-158.

Vollrath, Hans-Joachim: *Grundlagen des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe*, Stuttgart 2001

Wolff, Christian: *Vollständiges mathematisches Lexicon*, Leipzig 1734, von Wolff nicht autorisierte Neubearbeitung.

Zubler, Leonhard: *Novum instrumentum geometricum*, Basel 1625, (Nachdruck in 2 Bänden, Dortmund 1978).

Danksagung

Herrn Werner Loibl, Gauting, danke ich für die Anregung, mich etwas näher mit Andreas Weick zu beschäftigen. Für biographische Angaben danke ich der Leiterin des Archivum Monacense Societatis Jesu, Frau Dr. Rita Haub.

Anmerkungen

¹ Heron: *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia*, IV, J. L. Heiberg (Hrsg.) Stuttgart 1976, S. 177.

² Vollrath, Hans-Joachim: *Grundlagen des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe*, Stuttgart 2001, S. 13.

³ Knobloch, Eberhard: *Instrumente*, in: Menso Folkerts, Eberhard Knobloch, Karin Reich (Hrsg.), *Maß, Zahl und Gewicht: Mathematik als Schlüssel zu Weltverständnis und Weltbeherrschung*, Wolfenbüttel 1989, 155-185.

⁴ Schott, Kaspar: *Cursus mathematicus*, Würzburg 1661, S. 189.

⁵ Kircher, Athanasius: *Institutiones mathematicae*, Würzburg 1630, (Manuskript).

⁶ Kircher, Athanasius: *Magnes sive de arte magnetica*, Köln 1643.

⁷ Kircher 1630 (wie Anm. 5), S. 61.

⁸ Vollrath, Hans-Joachim, Hans-Georg Weigand, Thomas Weth: Spezialisierung und Generalisierung in der Entwicklung der Zirkel, in: Max Liedtke (Hrsg.): *Relikte – Der Mensch und seine Kultur*, Graz 2000, 123-158.

-
- ⁹ Schneider, Ivo: Der Proportionalzirkel – Ein universelles Analogrecheninstrument der Vergangenheit, München 1970, S. 17-22.
- ¹⁰ Kircher 1643 (wie Anm. 6), S. 224-227.
- ¹¹ Schott, Kaspar: Pantometrum Kircherianum, Würzburg 1660.
- ¹² Schott, Kaspar: Cursus mathematicus, Würzburg 1661, S. 191-192.
- ¹³ Leupold, Jacob: Theatrum arithmetico geometricum, Leipzig 1727, S. 182-183.
- ¹⁴ Schott 1661 (wie Anm. 12), zu S. 191.
- ¹⁵ Wolff, Christian: Vollständiges mathematisches Lexicon, Leipzig 1734, von Wolff nicht autorisierte Neubearbeitung, S. 927.
- ¹⁶ Knobloch, Eberhard: Instrumente, in: Menso Folkerts, Eberhard Knobloch, Karin Reich (Hrsg.), Maß, Zahl und Gewicht: Mathematik als Schlüssel zu Weltverständnis und Weltbeherrschung, Wolfenbüttel 1989, S. 155.
- ¹⁷ Schott 1661 (wie Anm. 12), zu S. 191.
- ¹⁸ Schott 1661 (wie Anm. 12), zu S. 191.
- ¹⁹ Schott 1661 (wie Anm. 12), zu S. 191.
- ²⁰ Schott 1661 (wie Anm. 12), zu S. 191.
- ²¹ Schott 1660 (wie Anm. 11), S. 27.
- ²² Kircher 1643 (wie Anm. 6), S. 224.
- ²³ Kircher, Athanasius: Selbstbiographie des P. Athanasius Kircher aus der Gesellschaft Jesu, übers. von Nikolaus Seng, Fulda 1901.
- ²⁴ Merkle, Sebastian: Die Matrikel der Universität Würzburg, I.1, München 1922.
- ²⁵ Reindl, Maria: Lehre und Forschung in Mathematik und Naturwissenschaften, insbesondere Astronomie, an der Universität Würzburg von der Gründung bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts, Quellen und Beiträge zur Geschichte der Universität Würzburg, Beiheft 1, Würzburg 1966, S. 170.
- ²⁶ Schott 1660 (wie Anm. 11).
- ²⁷ Kircher 1643 (wie Anm. 6), S. 227.
- ²⁸ Godwin, Joscelyn: Athanasius Kircher – Ein Mann der Renaissance und die Suche nach verlorenem Wissen, Berlin 1994, S. 94.
- ²⁹ Leupold 1727 (wie Anm. 14), S. 182.
- ³⁰ Zubler, Leonhard: Novum instrumentum geometricum, Basel 1625, (Nachdruck in 2 Bänden, Dortmund 1978), Bd. 2, S. 28.
- ³¹ Schott 1660 (wie Anm. 11).
- ³² Schott 1660 (wie Anm. 11), zu S. 279.
- ³³ Kircher, Athanasius: Ars magna lucis et umbrae, Rom 1646, S. 164.
- ³⁴ Schmidt, Fritz: Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter, Kaiserslautern 1935; Nachdruck: Stuttgart 1988, S. 55-65.
- ³⁵ Kircher 1901 (wie Anm. 23), S. 26.
- ³⁶ Loibl, Werner: Athanasius Kircher (1602-1680) und Aschaffenburg, Aschaffburger Jahrbuch Bd. 21, Aschaffenburg 2001, 11-48, S. 33-34.
- ³⁷ Kircher 1901 (wie Anm. 23), S. 31.
- ³⁸ Brischar, Karl: P. Athanasius Kircher, Würzburg 1877, S. 55.

-
- ³⁹ Kircher 1643 (wie Anm. 6), S. 224.
⁴⁰ Kircher 1630 (wie Anm. 5).
⁴¹ Rastatt, Stadt (Hrsg.): *Universale Bildung im Barock – Der Gelehrte Athanasius Kircher*, Ausstellungskatalog, Rastatt 1981, S. 70-75.
⁴² Rastatt 1981 (wie Anm. 41), S. 70.
⁴³ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 60.
⁴⁴ Kircher 1630 (wie Anm. 41).
⁴⁵ Merkle 1922 (wie Anm. 24), S. 168.
⁴⁶ Schmidt 1935 (wie Anm. 34), S. 244-249.
⁴⁷ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 61.
⁴⁸ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 62.
⁴⁹ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 63.
⁵⁰ Schmidt 1935 (wie Anm. 34), S. 281-304.
⁵¹ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 64.
⁵² Schmidt 1935 (wie Anm. 34), S. 301.
⁵³ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 64.
⁵⁴ Schmidt 1935 (wie Anm. 34), S. 323-365.
⁵⁵ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 64.
⁵⁶ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 65.
⁵⁷ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 66.
⁵⁸ Zubler 1625 (wie Anm. 30), Bd. 1, S. 6.
⁵⁹ Kircher 1630 (wie Anm. 41), S. 67.
⁶⁰ Zubler 1625 (wie Anm. 30), Bd. 2, S. 8.
⁶¹ Schwenter, Daniel: *Geometriae practicae novae, Tractatus III*, Nürnberg 1618.
⁶² Leupold 1727 (wie Anm. 41), S. 174-177.
⁶³ Penther, Johann Friedrich: *Praxis geometriae*, Augsburg 1732, Nachdruck Stuttgart 1981, Tab. IV.
⁶⁴ Penther, Johann Friedrich: *Praxis geometriae*, Augsburg 1732, Nachdruck Stuttgart 1981, Tab. IV.
⁶⁵ Adams, George: *Geometrical and graphical essays*, London 1797; *Geometrische und Graphische Versuche*, Auswahl aus der deutschen Ausgabe von 1795 von Peter Damerow, Wolfgang Lefèvre, Darmstadt 1985, S. 231-252.
⁶⁶ Adams 1797 (wie Anm. 55), Plate 16
⁶⁷ Schott 1660 (wie Anm. 11).
⁶⁸ Schott 1660 (wie Anm. 11).
⁶⁹ Schott 1661 (wie Anm. 12).
⁷⁰ Schott 1661 (wie Anm. 12), S. 203.
⁷¹ Schott 1661 (wie Anm. 12), S. 390-391.
⁷² Schmidt 1935 (wie Anm. 34), S. 55-65.
⁷³ Schott 1661 (wie Anm. 12) zu S. 391.
⁷⁴ Knobloch 1989 (wie Anm. 16).
⁷⁵ Schwenter, Daniel: *Geometriae practicae novae, Tractatus III*, Nürnberg 1618.

⁷⁶ Zubler, Leonhard: *Novum instrumentum geometricum*, Basel 1625, (Nachdruck in 2 Bänden, Dortmund 1978).

⁷⁷ Leupold, Jacob: *Theatrum arithmetico geometricum*, Leipzig 1727.

⁷⁸ Adams, George: *Geometrical and graphical essays*, London 1797; *Geometrische und Graphische Versuche*, Auswahl aus der deutschen Ausgabe von 1795 von Peter Damerow, Wolfgang Lefèvre, Darmstadt 1985.

⁷⁹ Schott, Kaspar: *Mathesis caesarea*, Würzburg 1662.

⁸⁰ Schott, Kaspar: *Organum mathematicum*, Würzburg 1668.