Das Astrolab — Aufgang und Untergang

Stefan Drechsler, Barbara Haeberlin

Hamburg, 14. April 2012

Zusammenfassung

Das planisphärische Astrolab, eine Kombination aus Messgerät und mechanischem Analogcomputer, ist mehr als ein Jahrtausend lang in Orient und Okzident nahezu unverändert verwendet worden. Auf mittelaterlichen Darstellungen wurde es Astronomen und weisen Männern als Attribut beigegeben. Seine Anwendungsfälle finden sich in der Zeit- und Kalenderrechnung, Navigation, Landvermessung, Astronomie und Astrologie.

Dieser Text soll einen kurzen Überblick über Verbreitungsgeschichte dieses astronomischen Universalinstruments und die seiner Funktion zugrundeliegenden mathematischen Prinzipien geben.

Außerdem wird an ausgewählten Beispielen die Verwendung aufgezeigt.

1 Aufbau

In eine metallische Grundplatte, die *Mater*, werden auf der Vorderseite Einlegscheiben (*Tympanon*), die für eine bestimmte geographische Breite ausgelegt sind, fest eingepasst (Abbildung 1 und 2).
Der Rand der Mater, der *Limbus*, ist einerseits in 24 Stunden, andererseits in 360 Grad unterteilt. Zwölf Uhr (Mittag) ist oben auf dem Astrolabium, die Marken für sechs Uhr morgens und abends finden sich links bzw. rechts. Über dem Tympanon ist drehbar die *Rete* montiert und über dieser ein ebenfalls drehbares Lineal (Abbildung 3)
Durch die Mitte des Tympanon verläuft die Achse, um die die Rete und das Lineal frei rotieren. Dieses Rotationszentrum entspricht dem Himmelsnordpol. Um diesen Himmelsnordpol sind konzentrische Kreise für den Wendekreis des Krebses, den Himmelsäquator und den Wendekreis des Steinbocks, der meist mit dem Rand der Scheibe zusammenfällt, angeordnet.

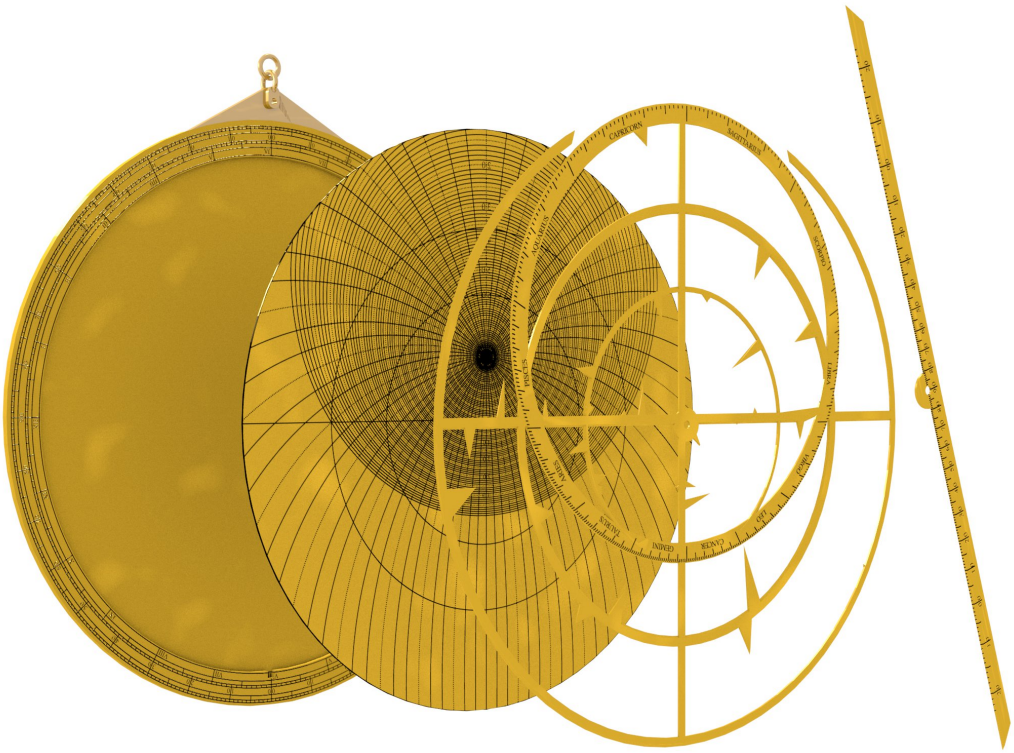
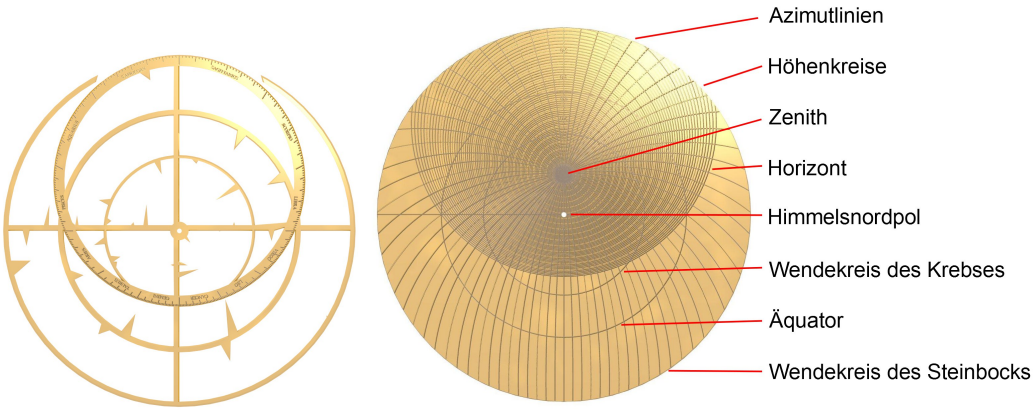


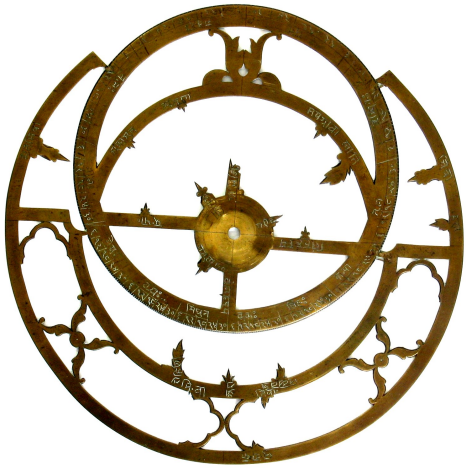
Abbildung 1: Vorderseite eines Astrolabs. Von links nach rechts: Mater mit Skalen auf dem Limbus, Tympanon, Rete und Lineal.

Darüber befindet sich ein Netz von Horizontkoordinaten, die von dem Breitengrad abhängen, für den die Scheibe gefertigt wurde.
Man beachte, dass sich auf dem Astrolabium der Süden oben und der Osten links befinden.
Die *Rete* — das lateinische Wort bedeutet auf Deutsch (Spinnen–) Netz — besteht neben rein mechanisch-funktionalen Verstrebungen aus einer Ekliptik, mit den zwölf Tierkreiszeicen, von denen jedes 30 Grad umfasst. Dazu spitze, meist beschriftete, Sternzeiger, die die Positionen einer Anzahl von Fixsternen anzeigen. Die Rete dreht sich (und damit das Bild der Himmelskugel) auf dem Tympanon um den Himmelsnordpol.
Auf der Rückseite der *Mater* ist der Kreisumfang nochmals in 12 Tierkreiszeichen à 30 Grad aufgeteilt, sowie in die zwölf Monate des Jahres mit ihren jeweiligen Tagesanzahlen. Das ist im Prinzip eine Umrechnungstabelle zwischen Tierkreis- und Kalenderdatum. Außerdem findet sich auf der Rückseite eine um den Kreismittelpunkt der Mater frei rotierende Peilvorrichtung, die *Alhidade*.



(a) Rete (b) Tympanon

Abbildung 2: Vorderseite



(a) Rete eines indischen Astrolabs (ca 1890))

(b) Rete und Tympanon (1608))

Abbildung 3: Vorderseite

2 Mathematik und Funktionsweise

Es geht die Sage, dass Ptolemäus, auf einem Esel reitend, eine Himmelskugel oder Armillarsphäre fallen ließ. Durch den Esel soll diese dann flachgetreten worden sein, wodurch dann zufällig das Astrolab entstand.
Ein schönes Bild, denn das Astrolab ist in der Tat nicht viel mehr als ein intelligent plattgedrückter Himmelsglobus, bzw. eine geeignete Projektion der Sphäre in eine Ebene.

(a) Rückseite eines Astrolabiums des französischen Astronoms Michael Asineus aus dem Jahr 1602 (Replika)

(b) Astrolab des französischen Instrumentenbauers Jean Fusoris von ca. 1400

Abbildung 4: Astrolabien

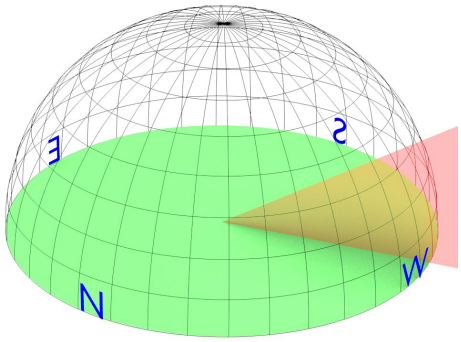
Bevor wir darauf näher eingehen, wollen wir uns zunächst die Fundamentalregeln des geozentrischen Weltbildes vor Augen führen:

- Die Sonne durchwandert von der Erde aus gesehen im Laufe eines Kalenderjahres den Tierkreis einmal vollständig. Diese Bahn, die Ekliptik, ist eine Kreisbahn, die schief zum Himmelsäquator steht und diesen in zwei Punkten, dem Frühlings- und dem Herbstpunkt, schneidet.

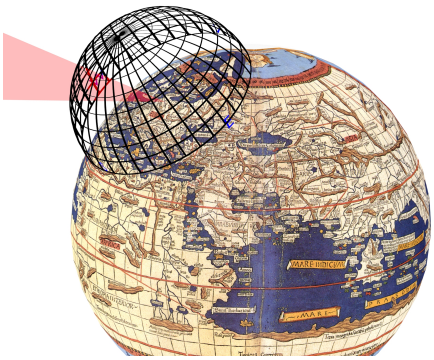
- Die Himmelskugel mit Sonne und Sternen umkreist jeden Tag einmal die Erde. Die Drehung erfolgt um die durch Himmelsnord- und -südpol bestimmte Achse.

Aus diesen beiden Regeln folgt, dass sich aus der Position der Sonne relativ zu den Sternen an der Himmelskugel das Datum eindeutig ermitteln lässt, während die auf den Betrachter bezogene relative Position eines Sterns oder der Sonne dann die örtliche Uhrzeit bestimmt.
Die Position eines Sterns bezogen auf einen Beobachter wird in einem zweidimensionalen Koordinatensystem eindeutig beschrieben. Die erste Koordinate, der Azimut oder Horizontalwinkel, gibt die Abweichung von der Südrichtung an. Die zweite Koordinate, die Höhe, misst den Winkel des Objekts über dem

Horizont. Ein Stern mit einer Höhe von Null Grad berührt gerade den Horizont, während ein Stern mit der Höhe von 90 Grad im Zenit des Beobachters steht (Abbildung 5 a).
Dieses lokale Koordinatensystem ist abhängig vom Breitengrad des Betrachters. Steht der Beobachter auf dem Nordpol, fällt sein Zenit mit dem Himmelsnordpol zusammen. Je weiter er sich aber gen Süden bewegt, desto mehr entfernt sich auch sein individueller Zenit vom Himmelsnordpol (Abbildung 5 b).



(a) Horizontkoordinatensystem mit Azimut und Höhe



(b) Lokales Horizontkoordinatensystem auf der Weltkugel

Abbildung 5: Horizontkoordinaten

Um nun die beiden Kreisbewegungen, die der Sonne in der Ekliptik im Lauf eines Jahres und die der Himmelssphäre um die Erde im Lauf eines Tages, in eine Ebene abzubilden und mechanisch als Kreisbewegungen auf dem Gerät verfügbar zu machen, bedarf es einer Abbildung, die einerseits winkeltreu ist und andererseits Kreise wieder in Kreise abbildet.
Dazu taugt die sogenannte stereographische Projektion, eine Zentralprojektion, die eine Kugeloberfläche auf eine Ebene abbildet, und die über die beiden gewünschten Eigenschaften Kreistreue und Winkeltreue verfügt.
Die zu projizierende Kugeloberfläche ist in unserem Fall die Himmelskugel, auf der sich die Fixsterne befinden.
Als Projektionszentrum wird der Himmelssüdpol gewählt, und die Bildebene ist eine orthogonal zur Polachse verlaufende Ebene. Für jeden Punkt der Himmelssphäre ist sein Bild unter stereographischer Projektion der Schnittpunkt der durch Himmelssüdpol und den zu projizierenden Punkt bestimmten Gerade mit der Bildebene (Abbildung 6).
Die Teile des Firmaments, die aus der Sicht des Beobachters unveränderlich sind, nämlich Himmelsäquator, Wendekreise, sowie das feststehende unverän-

derliche Bezugskoordinatensystem des Beobachters, bestehend aus Azimut- und Höhenlinien, werden nun auf den feststehenden Teil des Astrolabs, das Tympanon, projiziert. Auch für die Abbildung des Koordinatensystems auf das Astrolab gilt, dass der Abstand zwischen Himmelsnordpol und Zenit auf dem Tympanon umso größer ist, je südlicher der Breitengrad ist, für den das Tympaon gefertigt wurde.
Auf die Rete wird nun die um die Polachse kreisende Sternensphäre projiziert: Die Kreisbahn der Ekliptik und eine Auswahl gut sichtbarer Sterne, die sich einigermaßen gleichmäßig um die Ekliptik herum verteilen.
Da die Rete drehbar um das Bild des Himmelsnordpols angebracht ist, wird jede Drehung des Sternenzelts um den geozentrischen Beobachter durch dieselbe Drehung der Rete auf das Astrolab abgebildet.
Die Drehung der Rete über dem Koordinatensystem des Tympanons enspricht der Drehung der Himmelskugel um die Erde.
Die Position der Sonne im Tierkreis lässt sich auf dem Ekliptikkreis der Rete mit dem Lineal markieren.
Damit ist das Astrolab ein zweidimensionales Abbild des Ptolemäischen Kosmos.

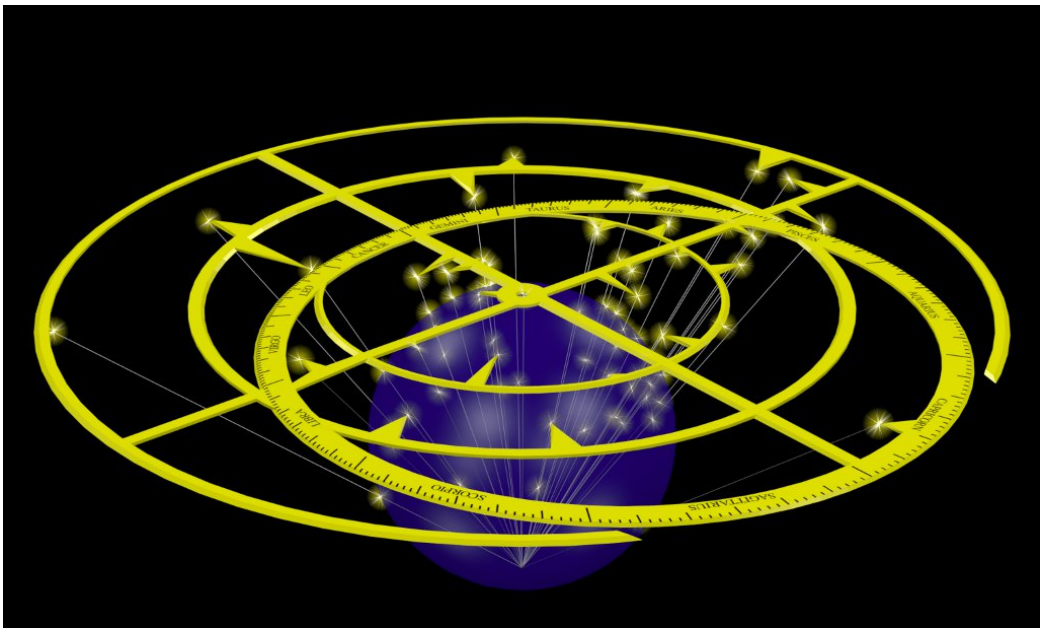


Abbildung 6: Stereographische Projektion der Sterne der Himmelskugel auf die Rete

3 Bedienung

Um für einen gegebenen Zeitpunkt die Position der Sonne oder eines Sterns bestimmen, ist es zunächst erforderlich, die Position der Sonne im Tierkreis festzustellen.
Dazu schlägt man auf der Rückseite des Gerätes nach, welche Positon im Tierkreis dem vorgegebenen Tag des Jahres entspricht.
Stellt man auf der Vorderseite das Lineal auf genau diese Position im Tierkreis, so ist damit die Position der Sonne an der Himmelskugel und damit das Datum eingestellt.
Dreht man nun die Rete mit dem Lineal zusammen, bis das Lineal auf die gewünschte Uhrzeit auf dem Limbus zeigt, so werden alle Sterne der Rete an ihre zugehörigen Koordinaten positioniert.
Befindet sich nun die Sonne (der Schnittpunkt von Lineal und Ekliptik) unterhalb der Horizontlinie auf dem Tympsnon, so ist die Sonne bereits untergegangen.
Für die Sterne der Rete kann man am Horizontkoordinatensystem auf dem Tympanon Azimuth und Höhe direkt ablesen, insbesondere sind die Sterne, die unterhalb des Horizonts liegen, zum gegebenen Zeitpunkt nicht sichtbar.
Analog kann man zu einem gegebenen Datum die Sonnenauf- und Untergangszeit bestimmen, indem man wieder zunächst die Position der Sonne auf der Ekliptik einstellt, und anschließend Lineal und Rete zusammen so lange dreht, bis das Lineal die Horizontlinie schneidet. Die Uhrzeit kann nun am Limbus abgelesen werden.
Möchte man umgekehrt aus einer gemessenen Sternposition die aktuelle Uhrzeit bestimmen, so ermittelt man zunächst mit der Alhidade den Höhenwinkel des Sterns. Dann dreht man die Rete so weit, bis der Zeiger des betreffenden Sterns die zugehörige Höhenlinie berührt. Da der Stern jede Höhenlinie zweimal kreuzt, einmal vor und einmal nach seiner Kulmination, gibt es zwei mögliche Schnittpunkte, einen auf der östlichen und einen auf der westlichen Hälfte des Astrolabs, hier ist der richtige zu wählen. Stellt man nun mit dem Lineal wieder die Position der Sonne auf dem Tierkreis und damit das aktuelle Datum ein, so kann am Schnittpunkt von Lineal und Limbus die aktuelle Ortszeit abgelesen werden.

4 Geschichte

Die Suche nach den Wurzeln des Astrolabs gleicht häufig einem Stochern im Nebel, da viele antike Quellen wenn überhaupt dann nur noch als Abschriften lateinischer Übersetzungen verschollener arabischer Übersetzungen der

griechichen Urtexte verfügbar sind.
Sicher ist, dass die mathematischen Grundlagen bereits im vorchristlichen Griechenland gelegt wurden. Die stereographische Projektion könnte bereits dem Geometer Apollonius von Perge, der um 210 vor Christus eine Arbeit über Kegelschnitte verfasst hatte, bekannt gewesen sein ([Bor89]). Auch der Astronom Hipparchos, der um 150 v. Chr. forschte, wird als möglicher Erfinder dieser Projektion genannt ([Bor89], [Neu49], [Wae56]).
Um 150 nach Christus beschreibt Claudius Ptolemäus von Alexandria die Stereographische Projektion und ein Instrument, das er "Horoscopium Instrumentum", Instrument zur Stundenschau, nennt und zur Zeitmessung verwendet. Ob es sich dabei bereits um ein Astrolab in unserem Sinne handelt, darüber gehen die Ansichten der Historiker auseinander ([Neu49, Seite 242]: "there cannot be any doubt that Ptolemy knew the Instrument which is later called 'the astrolabe'", Borst in [Bor89] hält das für eher unwahrscheinlich).
Der älteste erhaltene, über jeden Zweifel erhabene Text, der ein Astrolab beschreibt, stammt von dem spätantiken Philosophen Johannes Philoponos, der um 530 n. Chr. in Alexandria seine "Abhandlung über den Gebrauch und die Einrichtung des Astrolabs" verfasste ([Dre28]). Außer einer detaillierten Beschreibung des Geräts gibt er auch Anweisungen zur Bedienung der Visiereinrichtung und nennt als Anwendungsfälle insbesondere die Bestimmung der aktuellen Zeit sowie von Auf- und Untergangszeiten von Gestirnen.
Ein gutes Jahrhundert später, um 650, verfasste der syrische Bischof und Gelehrte Severus Sebokht auf seine Schrift über das Astrolab([Gun76, S. 82 – 103]). Das auf syrisch geschriebene Buch erläutert nach einem Einführungskapitel, in dem die Bestandteile des Geräts beschrieben werden, 25 Verwendungsarten.
Im achten und neunten nachchristlichen Jahrhundert verbreitete sich das Astrolab dann im islamischen Kulturkreis. Hier fand es Anwendung bei der Bestimmung von Gebetszeiten und der Festlegung des Fastenmonats, sowie zur Ermittlung der Richtung von Mekka ([Bor89, Seite 20f]), und zahlreiche Texte zu seiner Funktion und Bediehnung erschienen. So verfasste unter Anderen der große Gelehrte Al-Chwarizmi von Bagdad zwei Bücher, die das Astrolab zum Thema hatten.
Von Persien fand das Astrolab seinen Weg nach Indien, wo es in erster Linie zu astrologischen Zwecken verwendet wurde ([WW98]).
Über das islamische Spanien gelagte die Kenntnis über das Gerät schließlich nach Europa. Möglicherweise war Gerbert von Aurillac, der spätere Papst Sylvester II, der einige Jahre in Barcelona verbracht hatte, einer der Mittelsmänner. Eine frühe lateinische Schrift "De Utilitatibus astrolabii", "Über die Anwendungen des Astrolabs", wird wahlweise Gerbert oder dem Gelehrten Hermann von der Reichenau, der von 1013 bis 1054 lebte, zugeschrieben

Abbildung 7: Arabische Astronomen ([Aug09, Seite 35])

([Dre31]). Kein Zweifel besteht an Herrmans Autorenschaft an dem Werk "De Mensura Astrolabii", einer ebenfalls lateinischen Bauanleitung für ein Astrolab.
Einmal in Europa angekommen, verbreitete das Astrolab sich zügig weiter und erreichte schließlich auch die britischen Inseln.
Hier entstand um 1390 herum die erste englischsprachige Abhandlung technischen Inhalts. Ihr Thema war das Astrolab und ihre Zielgruppe ein kleiner Knabe.
Der durch seine Canterbury-Tales bekannte englische Schriftsteller Geoffrey Chaucer verfasste für seinen damals zehnjährigen Sohn Lewis sein "Treatise on the Astrolabe". In der Vorrede, die mit den Worten "Lyte Lowys my sone, I aperceyve wel by certeyne evydences thyn abilite to lerne sciences touching nombres and proporciouns; and as wel considre I thy besy praier in special to lerne the tretys of the Astrelabie." beginnt, verspricht er, in fünf Teilen seiner Abhandlung Aufbau, Anwendung, Sternkoordinaten, Himmelsmechanik und Astrologie abzuhandeln.
Offenbar zeigte sich der Sohn dann doch nicht so lernbegierig wie vom Vater erhofft, denn das Werk endet im zweiten Teil mitten in einem Satz. Allerdings nicht ohne vorher vierzig verschiedene Anwendungen aufgeführt und beschrieben zu haben. "To fynde the degree in which the sonne is day by day, after hir cours a-boute", "To knowe the spring of the dawing and the ende of the evening", "To knowe for what latitude in any regioun the almikanteras of any table ben compouned" und "To prove evidently the latitude of any place in a regioun" sind einige davon.
Um 1513 verfasste der Tübinger Professor Johannes Stöffler eine lateinische

Abbildung 8: Indisches Astrolab aus dem späten 19. Jahrhundert

Abhandlung über Bau und Anwendung des Astrolabs, die in zahlreichen Auflagen erschien [Stö13]. Ein knapp 400-seitiges Werk, das neben zahlreichen astronomischen Beispielen auch Anwendungsfälle aus Geometrie und Landvermessung aufführt, bei denen die astronomische Vorderseite des Astrolabs garnicht verwendet wird (Abbildung 9).
Seinen Zenit hatte das Gerät im 16. Jahrhundert erreicht.
Mit einerseits steigenden Anforderungen und andererseits präziseren Produktionsmöglichkeiten entstanden spezialisierte Instrumente, die das Universal-

werkzeug Astrolab in ihren Spezialgebieten übertrafen und bald ersetzten.
Die steigende Qualität optischer Gläser machte Fernrohre möglich.
Für die Seeschiffahrt entstand das Seefahrerastrolab. Ein schweres Gerät mit durchbrochenem Korpus, das auf dem Schiff den Einflüssen von Wind und Wellen möglichst wenig Angriffsfläche bieten sollte. Dieses wurde später vom Sextanten abgelöst.
In der Landvermessung kamen die Theodoliten auf, die auf präzisen Montierungen ungleich exaktere Messungen erlaubten als das Astrolab.
Lediglich im religiösen und astrologischen Umfeld, wo eine großzügige Auslegungsfreiheit noch geringe Ansprüche an die Präzision zuließ, konnte das Astrolab seine Position behaupten.
So wurden in Indien (höchst unpräzise) Astrolabien bis ins 20. Jahrhundert gefertigt (Abbildung 8), und noch heute können in Deutschland astrologische Astrolabien zur Aszendenten- und Häuserberechnung erworben werden.

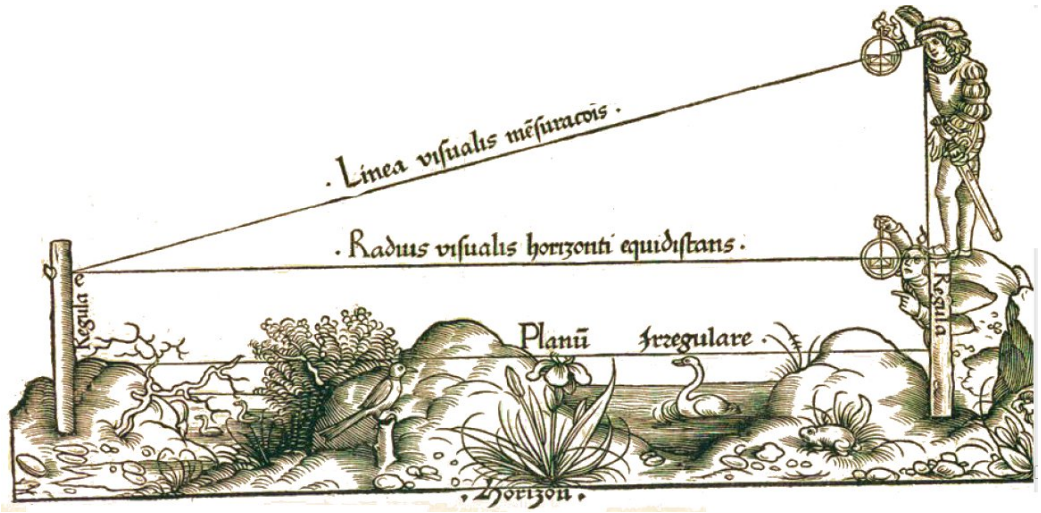


Abbildung 9: Verwendung des Astrolabs bei der Landvermessung ([Stö13])

Literatur

[Aug09] AUGHTON, Peter: *Die Geschichte der Astronomie: Von Kopernikus bis Stephen Hawking.* Autoris. dt. Ausg. Hamburg : National Geographic Deutschland, 2009

[Bor89] BORST, Arno: *Astrolab und Klosterreform an der Jahrtausendwende.* Heidelberg : Winter, 1989

[Dre28] DRECKER, Joseph: Des Johannes Philoponos Schrift über das Astrolab. In: *Isis* 11 (1928), Nr. 1, S. 15–44

[Dre31] DRECKER, Joseph: Hermannus Contractus Über das Astrolab. In: *Isis* 16 (1931), Nr. 2, S. 200–219

[Gun76] GUNTHER, Robert T.: *Astrolabes of the world.* Holland Press, 1976

[Neu49] NEUGEBAUER, Otto: The early history of the astrolabe: Studies in ancient astronomy IX. In: *Isis* 40 (1949), Nr. 3, S. 240–256

[Stö13] STÖFFLER, Johannes: *Elvcidatio Fabricae Vsvsq[ue] Astrolabii.* [Mikrofiche-Ausg.]. 1513

[Wae56] WAERDEN, Bartel L. d.: *Erwachende Wissenschaft Band 1: Ägyptische, babylonische und griechische Mathematik.* Basel : Birkhäuser, 1956

[WW98] WEBSTER, Marjorie ; WEBSTER, Roderick S.: *Western astrolabes.* Chicago and Ill, 1998