

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 61 (1963)

Heft: 9

Artikel: Die Entwicklung der Vermessungsinstrumente, dargestellt an kulturgeschichtlichen Entfaltungen [Fortsetzung und Schluss]

Autor: Härry, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-218457>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Samstag, 12. Oktober 1963

- 9.15 Prof. Dr. Richard: Der Bodenwasserhaushalt. Sorption und Desorption in schwer durchlässigen Böden
- 10.15 Dipl.-Ing. F. Kopf: Kulturtechnische Aufgaben und wasserwirtschaftliche Lösungen in europäischen Trockengebieten
- 11.15 Prof. Dr. H. Grubinger: Technische Entwicklungen in der Berglandbewässerung

Die Entwicklung der Vermessungsinstrumente, dargestellt an kulturgeschichtlichen Entfaltungen

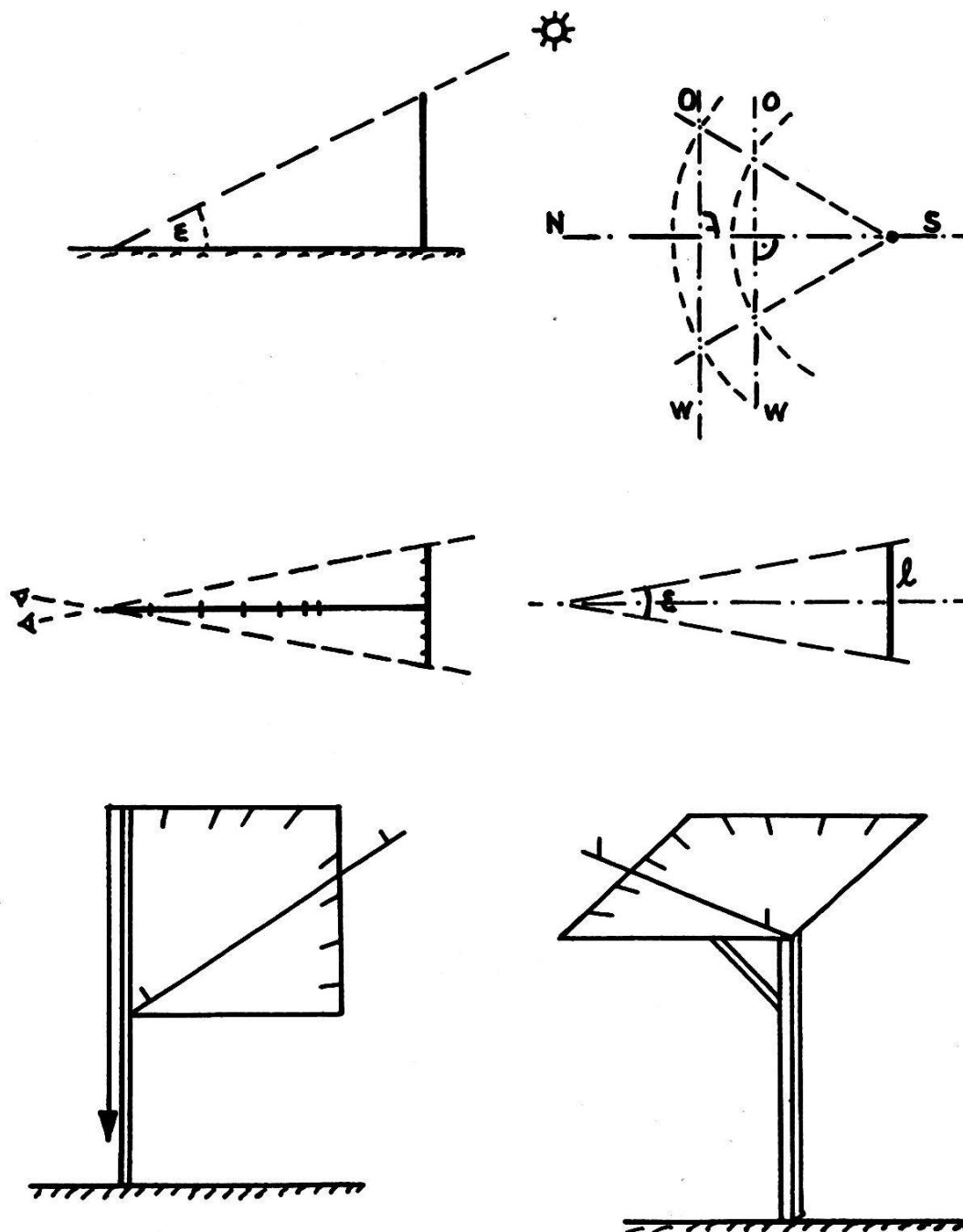
*Vortrag,
gehalten im Verein für ein Schweizerisches Technisches Museum
am 26. März 1963 in Winterthur*

Von H. Härry

(Fortsetzung und Schluß)

III. Winkelmeßinstrumente vom Schattenstab bis zum Theodoliten

Die Winkelmeßinstrumente im Altertum gehen auf Schattenstäbe zurück: Der lotrecht in den Boden gesteckte Schattenstab von bekannter Länge wirft im Sonnenlicht einen Schatten, aus dessen Länge in Beziehung zur Stablänge die *Sonnenhöhe* ermittelt wurde. Der senkrechte Schattenstab wurde auch zur *Absteckung der Mittagslinie* benützt, die in der ganzen antiken Kulturwelt bei der Anlage von größeren Bauten, Tempeln, Straßen, Städten als Grundrichtung eine große Rolle spielte. Von den verschiedenen Verfahren ist das bekannteste und zuverlässigste dasjenige des «Indischen Kreises», bei dem die Nord-Süd-Linie als Halbierende des Winkels zwischen zwei gleich langen Schatten am nämlichen Tag bestimmt wird. Der Fehlereinfluß der täglichen Änderung der Sonnendeklination war den Alten bekannt und wurde mit verschiedenen Verfahren korrigiert. Für die Ost-West-Richtung wurde dann der Rechte Winkel auf die Mittagslinie abgetragen. Mit der Zeit wurden die Schattenstäbe mit Absehvorrichtungen versehen, so daß sie auch ohne Mitwirkung der Sonne und zur Höhenwinkelmessung nach beliebigen Zielpunkten, nachts auch nach Sternen, verwendet werden konnten (Lochgnomone). Der Beobachter suchte den Standort auf, für den das obere Ende des Schattenstabes mit dem Zielpunkt (Stern, Bergspitze, Gebäudedachkante) zusammenfiel; mit der Entfernung des Standpunktes vom Gnomon war dann der Höhenwinkel bestimmt. Die geometrische Grundlage der Lösung, wie fast aller Lösungen der Altertumsvermessungstechnik, bilden zwei ähnliche rechtwinklige Dreiecke, von denen das große als «Geländedreieck», das kleine als ausmeßbares «Vergleichsdreieck» be-



Geräte für die Winkel- und Richtungsmessung und indirekte Distanzmessung der Ägypter, Babylonier, Inder, Chinesen und Griechen: Schattenstab, Jakobsstab, Schattenquadrat

zeichnet werden kann. In der Automatiksprache unserer Zeit würden wir von Analogie-Halbautomat reden. Die auf den Schattenstab zurückgehenden Vorrichtungen wurden seit den Griechen auch im Mittelalter mit «*Gnomon*» (Zeiger der Sonnenuhr) bezeichnet. Sie dienten zur Lösung einer Unzahl von Aufgaben, in der Vertikalebene für Höhenwinkel-, Höhen- und Distanzbestimmungen, in der Horizontalebene für Horizontalwinkelbestimmungen und Distanzmessungen. Im Altertum wurde somit auch die *indirekte Distanzmessung* ausgeübt, zum Beispiel die Messung

unzugänglicher Strecken: Flußbreiten, Abstand eines Schiffes vom Ufer. Immer wurde mit zugänglichen und ausmeßbaren Vergleichsdreiecken gearbeitet.

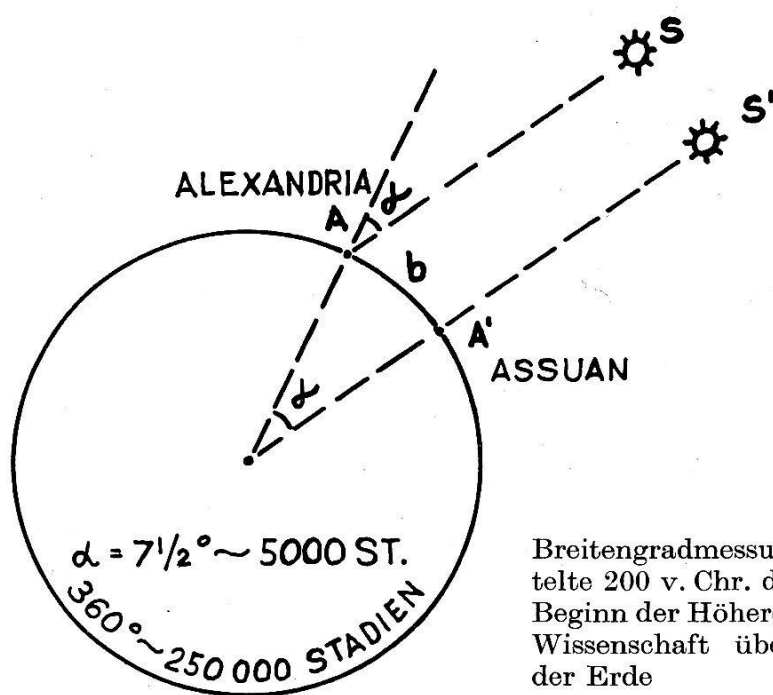
Für die indirekte Distanzmessung bot auch der «*Jakobsstab*» einen Schlüssel – diese Stabzusammensetzung in der Form des großen T –, mit dem der parallaktische Winkel, unter dem eine am andern Ende der zu messenden Strecke quergestellte Meßplatte gesehen wird, genau gemessen werden kann. Wir finden diesen *distanzmessenden parallaktischen Winkel* des Jakobsstabes an allen modernen optischen Distanzmessern wieder.

Als Abschluß der Entwicklungsreihe mit Stabwinkeln und Visierlinealen gilt das «*Schattenquadrat*». Es ist ein als Tafel oder Rahmen hergestelltes Quadrat mit einem um einen Eckpunkt des Quadrates drehbaren Visierlineal. Die beiden dem Drehpunkt gegenüberliegenden Quadratseiten tragen Winkelteilungen. Das Schattenquadrat konnte mit Hilfe eines Lotes sowohl in die Vertikalebene für Höhenmessungen als auch in die Horizontalebene für Horizontalwinkelmessungen gestellt werden. Am Schattenquadrat wurde somit wie mit dem Gnomon das ausmeßbare oder ablesbare Vergleichsdreieck abgesteckt. Die Verwandtschaft des im Horizont gebrauchten Schattenquadrates mit dem neueren *Meßtisch*, der häufig als Erfindung des Professors Prätorius zu Altdorf, Württemberg (1537–1616), bezeichnet wird (Tabula Praetorana), ist augenfällig. Am Schattenquadrat werden aber Horizontalrichtungen abgelesen, auf dem Meßtisch dagegen Horizontalrichtungen mit Hilfe der Kippregel aufgezeichnet. Der Meßtisch hat im vergangenen Jahrhundert die Blütezeit seiner Anwendung in Katastervermessungen und in topographischen und kartographischen Aufnahmen durchgemacht. Unsere alten kantonalen Steuerkatasterpläne und die Dufour- und Siegfriedkarte sind aus Meßtischaufnahmen entstanden. Das Meßtischverfahren wird heute noch gerne als Lückenbüßerverfahren neben der Photogrammetrie verwendet.

Als klassische Sonnenhöhenmessung mit dem Schattenstab gilt die *Breitengradmessung* des griechischen Mathematikers der alexandrinischen Schule *Eratosthenes* (276–195 v. Chr.). Seit dem 6. Jahrhundert v. Chr. hatte die Überzeugung von der Kugelgestalt der Erde Fuß gefaßt. Aus jahrelangen Beobachtungen wußte Eratosthenes, daß Alexandria und das 5000 Stadien davon entfernte Assuan (Syene) fast genau auf dem Wendekreis des Krebses liegen. Während er in Alexandria am Gnomon zur Zeit der Sommersonnenwende eine Sonne–Zenith-Distanz von $7\frac{1}{5}^\circ$ maß, wußte er, daß zur gleichen Zeit in Assuan die Sonnenstrahlen senkrecht in einen Sodbrunnen fallen (Wasserspiegelbeobachtung). Da $7\frac{1}{5}^\circ$ ein Fünftel des Erdumfanges von 360° ist, schloß er, daß der Erdumfang 50mal 5000 Stadien = 250 000 Stadien sein müsse. Diese Stadienzahl entspricht 46 250 000 m und ist gegenüber dem neuen Wert von 40 000 000 m um 16 % zu groß. Obwohl die Breitenmessung von Eratosthenes als wissenschaftliches Unternehmen gilt, wurde die Kenntnis von der Größe der Erde für die Schifffahrt von unschätzbarem Wert. Ob Eratosthenes die 800 km lange Strecke von Alexandria bis Assuan abschreiten oder mit Seilen messen ließ, ist eine umstrittene Frage. Damit werden die *Meßräder*

berührt, die in den alten Kulturen für die Wegdistanzbestimmung schon mit teilweise gut ausgebildeten Zählwerken in Gebrauch waren und für deren mechanische Höherentwicklung sich hauptsächlich *Leonardo da Vinci* (1452–1519) angenommen hat. Jedenfalls hat das erfolgreiche Unternehmen Eratosthenes die *Höhere Geodäsie* begründet, die noch 2000 Jahre lang die Methode des griechischen Klassikers anwandte, ausgeübt selbstredend mit stetig verbesserten instrumentellen Mitteln.

Die *Höhere Geodäsie*, die angewandte Wissenschaft von der Figur und Größe der Erde, wird bei uns von der 102 Jahre alten *Schweizerischen Geodätischen Kommission* gepflegt, die der 100jährigen *Internationalen Assoziation für Geodäsie* angeschlossen ist. Aufgaben über die Figur der



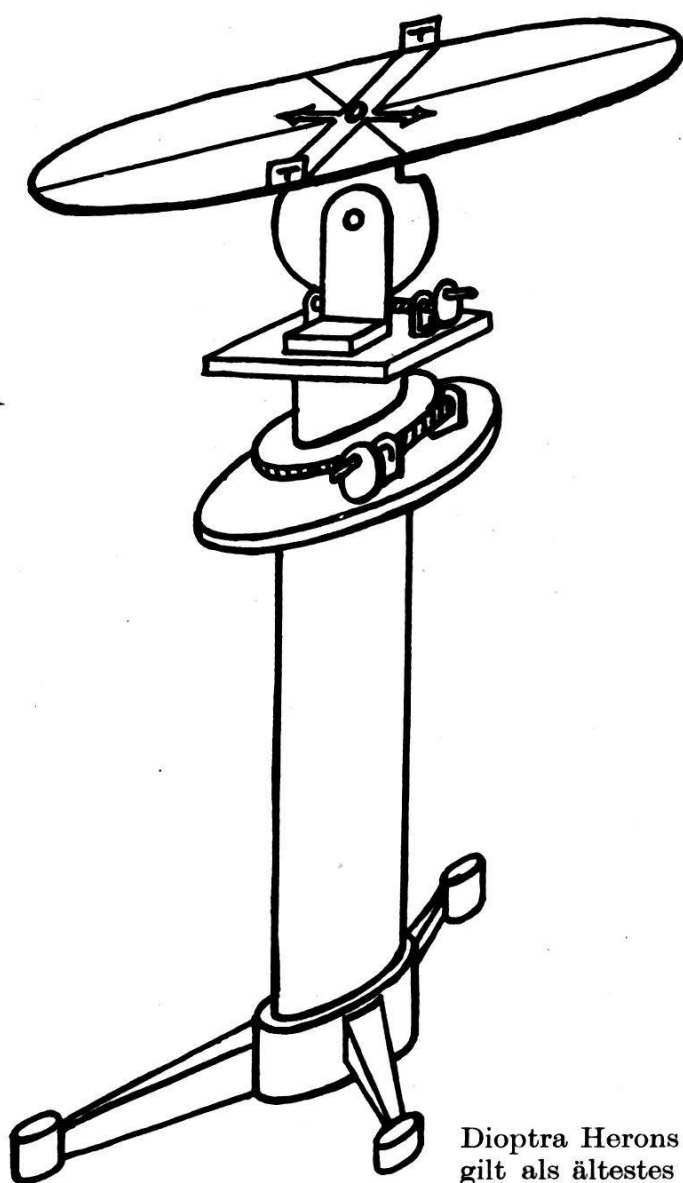
Erde sind meistens über weite Räume erstreckt und müssen selbstverständlich in internationaler Zusammenarbeit gelöst werden. Die Aufgaben umfassen Gradmessungstriangulationen, den Zusammenschluß der nationalen Nivellemente, Schweremessungen zur Bestimmung der Geoidform; denn die Form der Erde ist nicht durch die Mathematik, sondern durch die Physik gegeben. Heute steht im Vordergrund die meßtechnische Erfassung von Bahnen besonderer künstlicher Satelliten, womit auch die gegenseitige Lage weit auseinanderliegender Beobachtungs- und Meßstationen bestimmt wird. Die Basis der geodätischen Messungen wird damit gegenüber früher gewaltig vergrößert, und die bisherigen Ergebnisse geodätischer Messungen über beschränkte Teile der Erdoberfläche können zur besseren Kenntnis der Erdform zu einem Ganzen zusammengeschlossen werden. Die elektronischen Rechenanlagen ermöglichen heute die rechnerische Bewältigung von Aufgaben der Höheren Geodäsie, die bis vor wenigen Jahren noch als undurchführbar galten.

Während Schattenstäbe und geometrische Quadrate die Winkel an Linealteilungen ablesen ließen, beschrieb Heron von Alexandria zum erstenmal ein Instrument, das einen Horizontalteilkreis und gleich auch noch einen Höhenkreis aufwies. Das von *Heron* ebenfalls mit «*Dioptra*» bezeichnete Instrument ging aus der Kreuzscheibe hervor, die nur eingeschränkt brauchbar war. Es läßt, wie Heron berichtete, alle vorliegenden Aufgaben lösen, was wir heute aus dem theodolitartigen Aufbau zustimmend verstehen. Das Instrument, das schon Tangentenschnecken für die Kreisdrehung zeigt, eilte der Zeit weit voraus und hat entsprechend wenig Verbreitung gefunden. Es wurde zum Beispiel von den römischen Agrimensoren nur in vereinzelten Exemplaren gebraucht. 1962 wurde in Vindonissa eine in einem Ring kardanisches eingehängte schmiedeiserne Platte ausgegraben, die zur starken Vermutung Anlaß gibt, es handle sich um den Meßkreis einer «*Dioptra*» nach Heron. Viel verbreiteter waren die *Astrolabien*, die aus dem Schattenquadrat oder geometrischen Quadrat hervorgingen, aber für die Winkelmessung neben Linealteilungen auch Kreisteilungen aufwiesen, daneben oft noch eine Sinusteilung und die stereographische Projektion der Himmelskreise. Die *Astrolabien* wurden besonders intensiv von den muslimischen Astronomen und Geometern entwickelt und sowohl in der Vertikalebene für Höhenmessungen, auch zum Nivellieren, als auch in der Horizontalebene für Richtungsmessungen benützt. Es ist bezeichnend für die vorwiegend handwerkliche Ausbildung vieler römischer Agrimensoren und ihren Mangel an mathematischer Bildung, daß sie astrolabienartige Neigungsmesser für den Wasserbau benützten, die statt einer Kreisteilung eine Kreiszone «*possibilis*» und die andere Zone «*impossibilis*» zeigten. In den «*Possibilis-Neigungen*» floß das Wasser in der einen, in den «*Impossibilis-Neigungen*» in der andern Richtung.

Die in der berühmten *Zürcher Vermessungsschule* der Eberhard, Zubler, Ardüser, Bürgi um 1600 verwendeten Instrumente waren Richtungs- und Kreisteilungslineale, astrolabienartige Halbkreise und Quadranten, Schattenquadrate, die meist in Verbindung mit einer Bussole gebraucht und mit dem Lot vertikal oder horizontal an einem senkrechten Bodenstab befestigt wurden. Der vom Davoser *Ardüser* 1627 beschriebene *Perpendikular-Quadrant* ist ein auf Feldmeßzwecke zugerichtetes Astrolabium [9]. Aus den ausgezeichneten vermessungstechnischen Unterlagen der Zürcher Schule ging 1667 die berühmte und der Zeit weit voraus-eilende Karte des Kantons Zürich von *Hans Conrad Gyger* hervor.

Die Bevorzugung der *Linearteilungen auch für Winkelteilungen* muß ihren Grund in den Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten der Herstellung von *Kreisteilungen* gehabt haben. Die Kreisteilungen wurden, ausgehend vom regelmäßigen Sechseck, mit dem Zirkel abgestochen und dann linear unterteilt. Die Muslime verstanden bereits, von einem guten, größeren Mutterkreis kleine Teilkreiskopien herzustellen. Sie benützten im Vorgang, wie das heute noch geschieht, Wachs-Gravierschichten und färbten dann die Gravur ein, während heute auf Metall oder Glas geätzt wird.

Aus den Schattenquadraten, Astrolabien und wahrscheinlich auch der «Dioptra» von Heron entstanden im 16. Jahrhundert die *ersten Theodolitformen*, die von den Engländern *Leonhard Digges* (etwa 1552) und *Humphrey Cole* (1569) bekannt gemacht wurden. Eine sehr schöne, zwi-

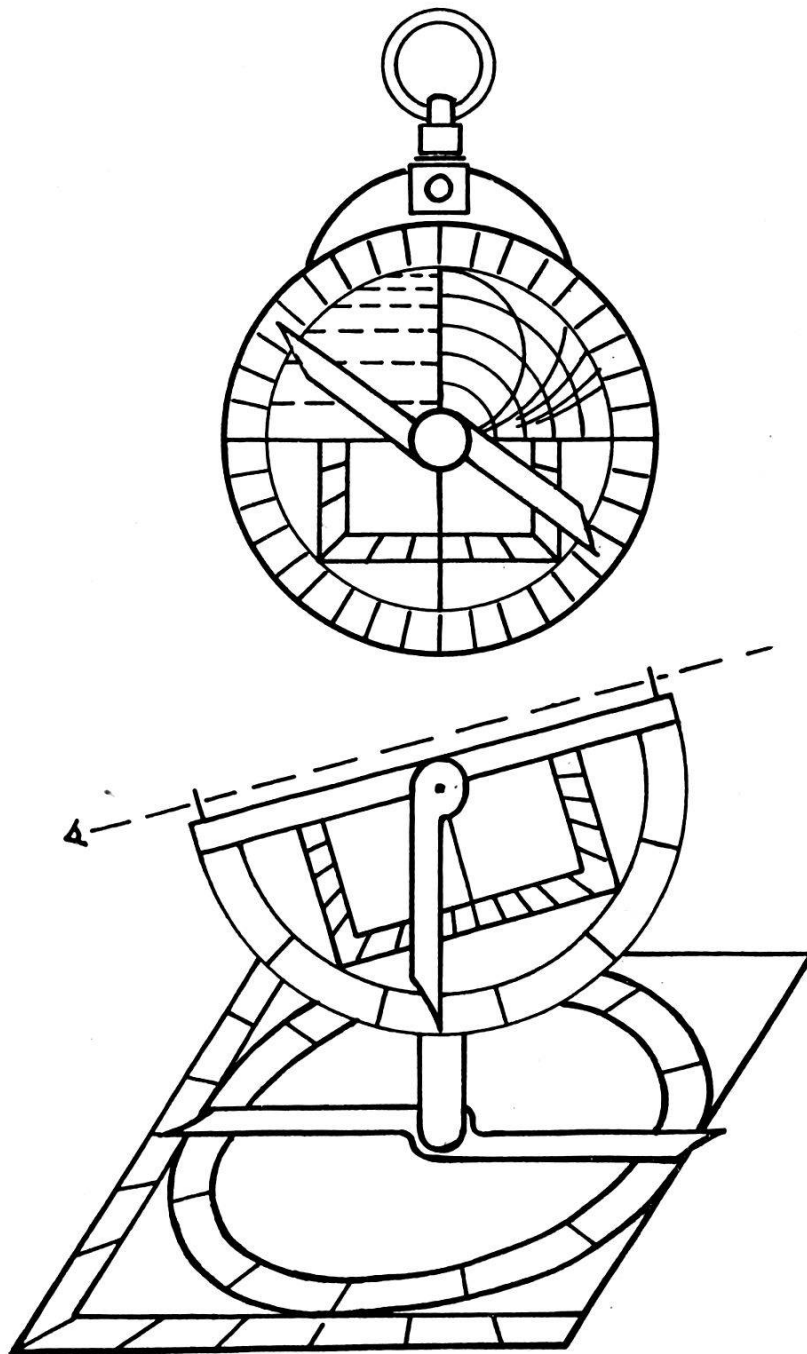


NACH H. SCHÖNE

Dioptra Herons von Alexandria (150–100 v. Chr.) gilt als ältestes bekannt gewordenes Winkelmeßinstrument, das Elemente eines Universalinstrumentes und des späteren Theodoliten (1570 n. Chr.) aufweist

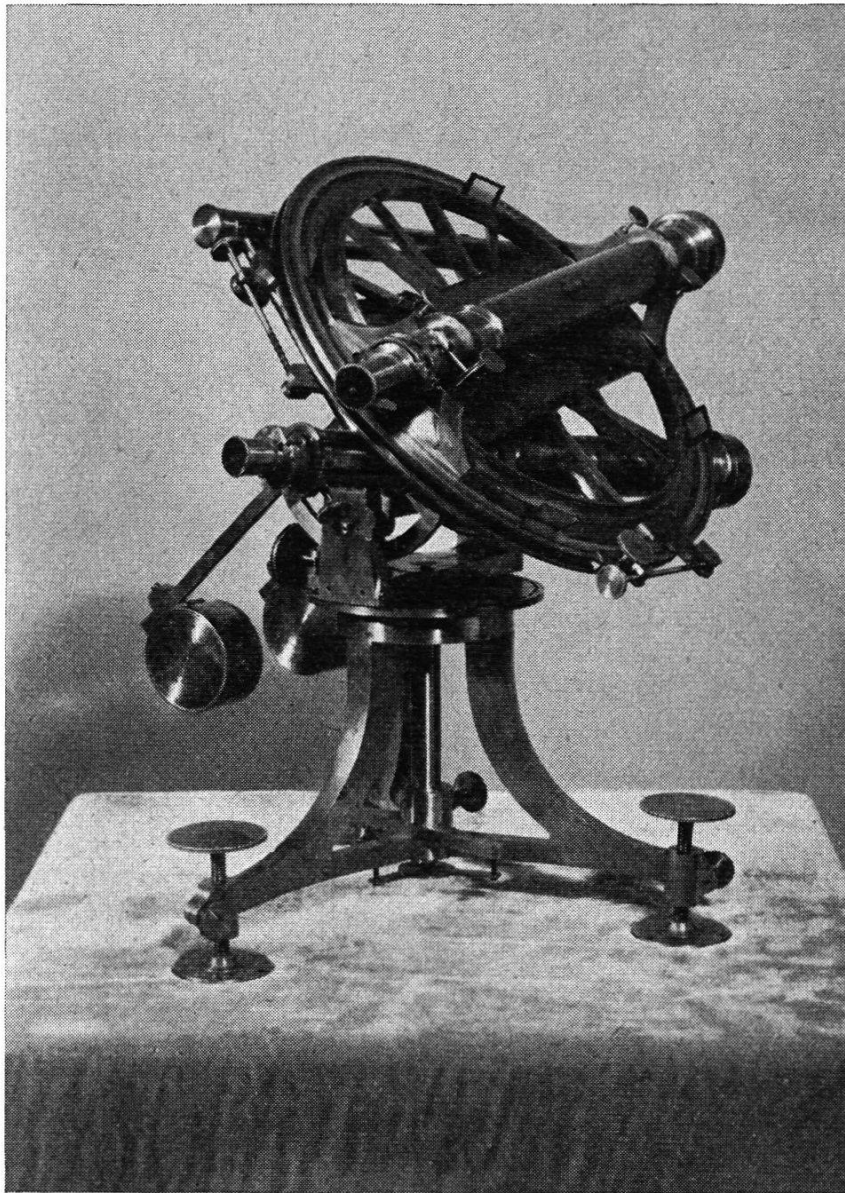
schen Astrolabium und Theodolit liegende Nachbildung besitzt der Verein für ein Schweizerisches Technisches Museum in einem Horizontalkreis mit Dioptern und Bussole, die der Uhrmacher des Zeitglockenturmes in Bern, Blaser, vor etwa 200 Jahren verfertigt hat.

Die *Höherentwicklung des Theodoliten* in der Periode 1700–1900 im Sinne einer Verbesserung der Stabilität und der Erhöhung der Meßgenauigkeit wuchs mit folgenden Maßnahmen heran: Ausbildung des Fußgestelles und des Statives (Dreipunkt-Stativkopf), Ersatz der Diop-



Oben: Astrolab, wie es in verschiedenen Ausführungsformen von den Muslimen für die Messung von Sternhöhen und Höhenwinkel (Vertikalstellung) und Richtungen im Horizont (waagrechte Stellung) verwendet wurde. Gilt als Vorgänger des Theodoliten, dessen erste Form des Engländers Digges (um 1570 n. Chr.) die *untere* Figur zeigt

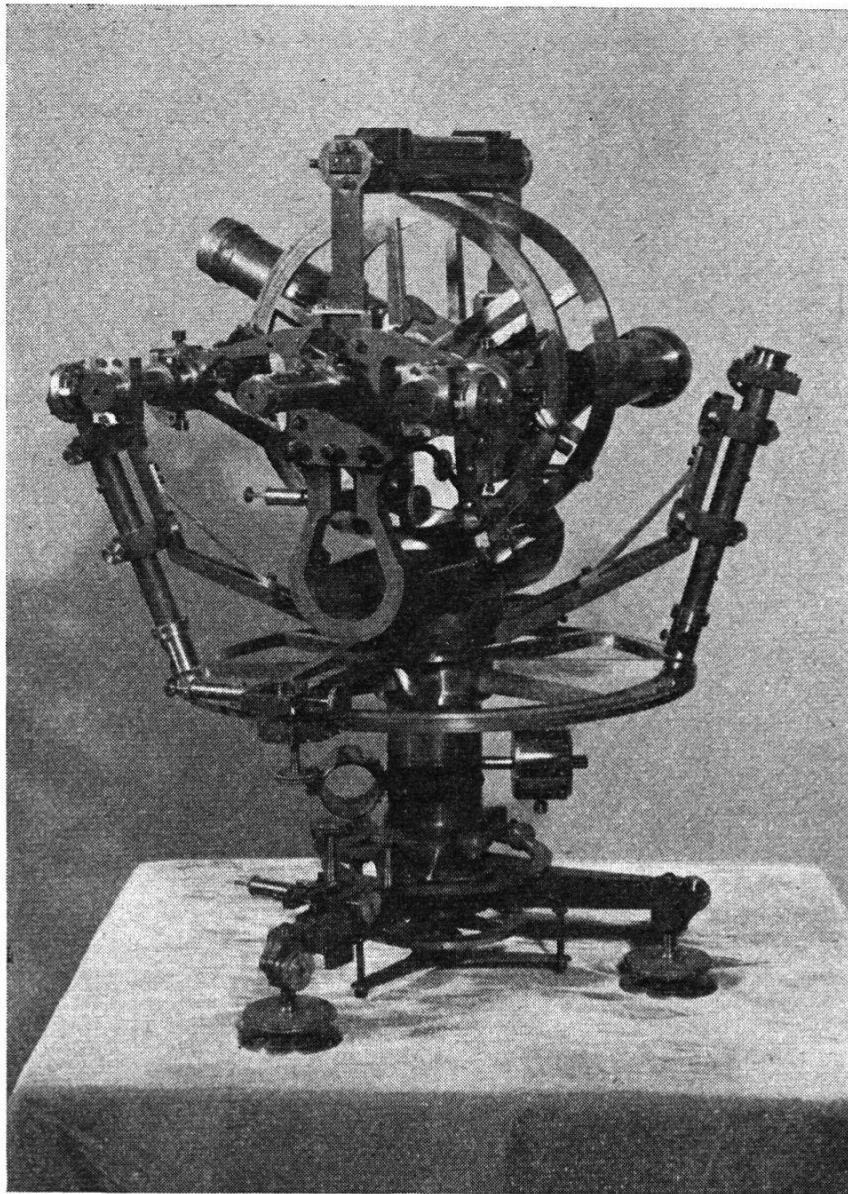
ter-Absehvorrichtungen durch Fernröhren mit Fadenkreuz, feinmechanische Verbesserung der vertikalen und horizontalen Laufachsen, Ausbildung der Kreisablesungen durch Nonien, Lupen, Strich-, Skalen- und Fadenmikrometer-Mikroskope, Ausbildung der Klemmvorrichtungen und Kreisfeinbewegungen, stete Erhöhung der Genauigkeit der Kreisteilungen. Über kein Instrument ist wohl im Laufe der Zeit eine so scharfe



Theodolit Buchwalder vom Typ «Gambey» mit 10-Zoll-Kreis, konstruiert von Ulrich Schenk, Bern, 1825. Benützt von Buchwalder in der ersten eidgenössischen Triangulation unter Oberstquartiermeister G. H. Dufour. Der Kreis wurde sowohl als Horizontal- als auch als Höhenkreis verwendet (Borda-Kreis)

Instrumentenfehlertheorie entwickelt worden wie über den Theodoliten und seine in der Astronomie gebrauchten Abarten. Die eingehende Beschäftigung mit der Theodolit- und Fehlertheorie gehört immer noch zu den erzieherischsten Studien der Vermessungsingenieure und Geometer.

Mit dem Aneinanderfügen von Verbesserungen wurden aber die Theodolite immer unförmiger, schwerer und insbesondere für die Arbeiten im Gebirge zu beschwerlich. Die umwälzende Reform führte seit 1920 Dr. h. c. *Heinrich Wild* (1877–1951) ein. Sein Ziel war, nicht in erster Linie die Fehler der Meßresultate weiter zu verkleinern, sondern die guten Resultate in einfacherer Weise, in kürzerer Zeit und mit geringeren Transport- und Meßanstrengungen zu erreichen. Man lache nicht: die Freude



Ertel Universaltheodolit der Schweizerischen Geodätischen Kommission, 1863: mit dem Anfügen von Verbesserungen wurden die Instrumente immer schwerer und unbequemer. Wild ging seit 1910 neue Wege

des Geometers an seinem leistungsfähigen, bequemen und formschönen Instrument soll seine Arbeit günstig beeinflussen. Er verzichtete auf unnötige Justiervorrichtungen, in der Erkenntnis, daß mit dem statisch verbesserten Bau, der Verwendung härterer Metalle und Glas (Kreise) und mit der hochentwickelten feinmechanischen und optischen Herstellungstechnik Dejustierungen eingeschränkt sind und gewisse Rest-Instrumentenfehler mit zweckmäßigen Meßanordnungen eliminiert werden können. Die Mittel zur Erreichung dieser Ziele waren zylindrische Stehachsen aus härtestem Metall, an Stelle der bisher konischen, verkürztes anallaktisches Fernrohr mit Innenfokussierlinse, Koinzidenzlibellen, Verlegung des ganzen optischen Strahlenganges für die Mikroskop-Kreisablesungen mit optischen Mikrometern in das Innere der Instrumente, Anordnung der



Präzisionstheodolit Wild T3 für Triangulationen höherer Ordnung

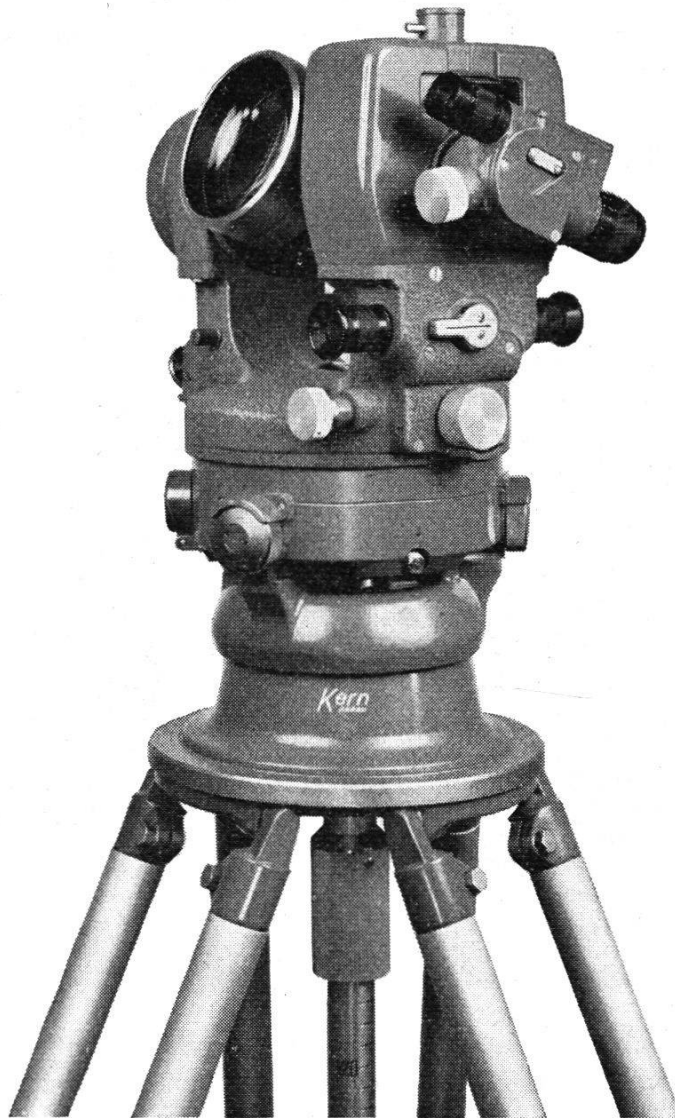
Ziel- und Ableseokulare an den für den Beobachter bequemsten Ort. Die von Wild-Heerbrugg und Kern-Aarau gebauten Wild-Theodolite haben die Welt erobert.

IV. Jakobsstab, Triangulationsstäbe und Schmiegen

Das Altertum und zum kleineren Teil das Mittelalter haben noch weitere *Winkelmeßgeräte* hervorgebracht, die trotz ihrer Originalität unter der überragenden Bedeutung des Theodoliten fast in Vergessenheit geraten sind.

Wird auf dem Längsstab des *Jakobsstabes*, von dem schon kurz die Rede war, ein Diopter verschoben, womit die Enden des symmetrischen Querstabes unter einem größeren oder kleineren Winkel gesehen werden, können mit der Diopterverschiebung Winkel gemessen werden. Eine Teilung auf dem Längsstab läßt die Größe der Winkel ablesen. Es müssen somit die beiden Enden des Querstabes mit den beiden Zielpunkten des zu mes-

senden Winkels zur Deckung gebracht werden. Der Landschaftszeichner wendet ja ein ähnliches Winkelmeßverfahren an mit dem ausgestreckten Arm und dem quer dazu gehaltenen Bleistift, trägt aber die Winkel als Distanzen auf die Projektionsfläche seiner Zeichnung ab. Die Seefahrer



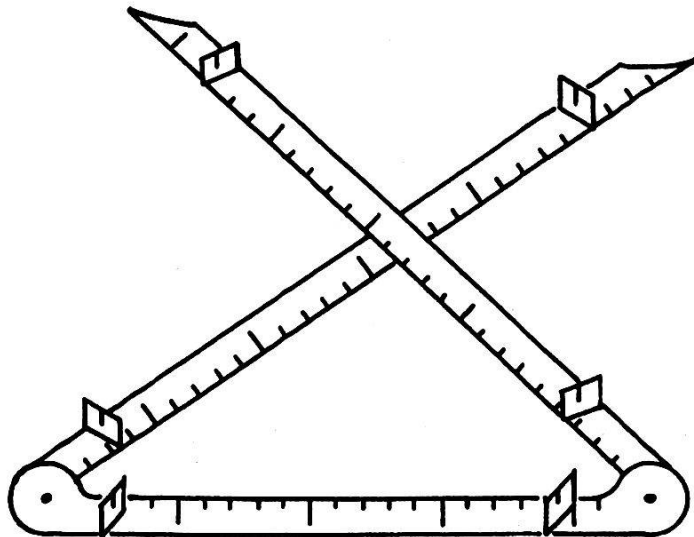
Großer Doppelkreis-Triangulationstheodolit von Wild, fabriziert von Kern-Aarau DKM3. Das leistungsfähige Spiegellinsenfernrohr ist dank einiger optischer Brechungen kurz gehalten. Spiegel- und Prismenanordnungen im Innern des Instrumentenkörpers vermitteln bequeme und leistungsfähige Mikroskop- und Mikrometerablesungen der Kreisteilungen

des Altertums und Mittelalters sollen eine unglaubliche praktische Fertigkeit gehabt haben, mit dem ausgestreckten Arm und der Hand- oder Fingerbreite Sternhöhen und damit den Ort des Schiffes zu bestimmen. Im arabischen und griechischen Altertum ist der Jakobsstab in mannigfaltigen Ausführungs- und Gebrauchsformen für verschiedenartige Aufgaben verwendet worden. Englische Seefahrer ersetzten das Diopter am Längsstab durch einen Spiegel und machten den Jakobsstab als

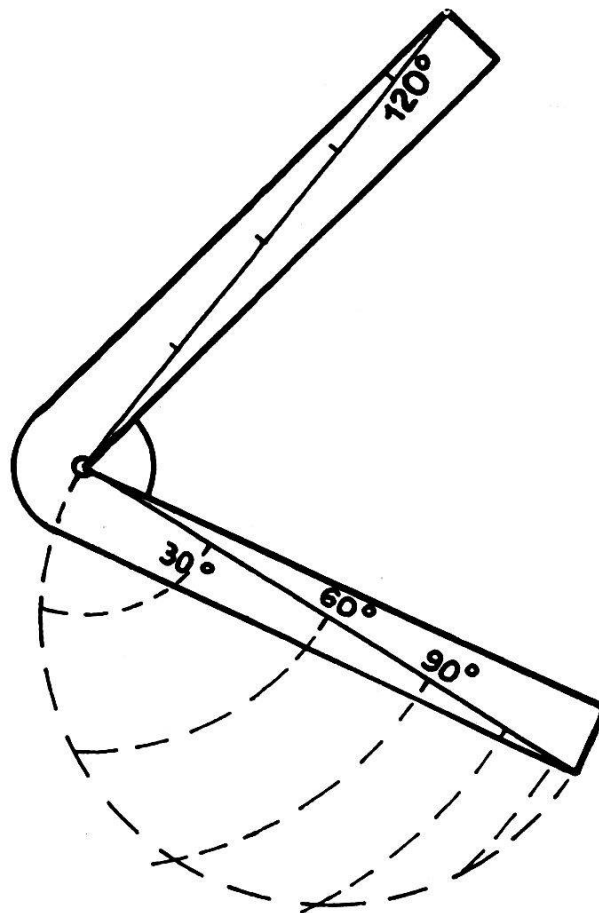
«back-staff» für Polhöhenbestimmungen aus freier Hand auf dem Schiff geeignet. Eine Absehlinie wurde auf den Meereshorizont gerichtet, die andere, durch den Spiegel reflektierte, durch Verschieben des Spiegels auf den Polarstern. Die Entwicklungsstufe zum Spiegelsextanten ist offensichtlich. Der Name «Baculus Jacob» soll an den Patriarchen Jakob erinnern, der an einem geringelten Stab ging. Die Teilungsstriche am Jakobsstab werden den ähnlichen Eindruck gemacht haben wie die Gehstabringe.

Mit dem Jakobsstab wurde wieder ein «Vergleichsdreieck» oder «Meßdreieck» abgesteckt, das dem «Geländedreieck», mit einem bekannten Stück, und im übrigen gesuchten Stücken ähnlich ist. Das Meßdreieck des Jakobsstabes oder deutlicher sein parallaktischer Winkel ist an allen modernen *optischen Distanzmessern* wieder anzutreffen, meist mit einem festen parallaktischen Winkel 1 : 100, 1 : 50 oder seltener 1 : 200. Beim *Fadendistanzmesser* des Tachymetertheodoliten, der auf eine italienische Erfindung vom Jahre 1674 zurückgeht, ist der parallaktische Winkel gegeben mit den beiden Distanzfäden in der Bildebene des Fernrohres und dem innern Strahlenschnittpunkt des Objektives. Bei den *Doppelbilddistanzmessern*, die mit eindrucksvollen Genauigkeitsleistungen gekennzeichnet sind (± 2 cm auf 100 m), wird der parallaktische Winkel 1 : 100 durch Ablenkprismen vor dem Fernrohrobjektiv erzeugt. Die optischen Distanzmesser einfachster Ausführung lassen an der am Ende der Strecke aufgestellten Meßplatte die schiefe Distanz vom Theodoliten zur Meßplatte ablesen. Den Geometer interessiert aber die auf den Horizont reduzierte Distanz, denn die Referenzfläche für alle Vermessungsdaten ist der Meereshorizont. Die rechnerische *Reduktion der Distanzen* von der Schiefe in den Horizont ist heute ersetzt durch eine *automatische Reduktionseinrichtung* am Instrument: bewegliche optische Teile, gesteuert durch die Fernrohrkipfung, besorgen die Veränderungen des parallaktischen Winkels nach dem Distanzreduktionsgesetz. Der Gebrauch der Tachymetertheodolite für Richtungsmessungen und optische Distanzmessung hat zu einer überaus rationellen *Detailvermessungsmethode mittels Polarkoordinaten* (Richtung und Distanz) geführt, mit der die Orthogonalkoordinatenmethode (Abszisse und Ordinate) zurückgedrängt wurde. Um die Entwicklung des optischen Doppelbild-Reduktionsdistanzmessers und der Vermessungsmethode mit Polarkoordinaten hat sich Grundbuchgeometer Rud. Bosshardt in St. Gallen verdient gemacht.

In der alten praktischen Geometrie sind Strecken fast ausschließlich als Katheten rechtwinkliger Dreiecke bestimmt worden. Die Konstruktion von Geräten, an denen schiefwinklige Vergleichsdreiecke reproduziert werden konnten, bedeutete einen Fortschritt sowohl für die Messung von Dreiecksseiten als auch von Winkeln und Flächen. Als Beispiel sei das mittelalterliche *Triquetrum* angeführt, eine Kombination von drei geteilten und mit Absehvorrichtungen versehenen Gelenkstäben. Das Gerät wurde nacheinander auf zwei Punkte des zu vermessenden Geländedreieckes aufgestellt, um die Stäbe gegenseitig in die Richtungen der Geländedreiecksseiten zu bringen. Es konnten so, ausgehend von einer bekannten Geländestrecke, ohne trigonometrische Rechnung die Seiten-



Triquetrum, Triangulations- und Trilaterationsgerät des Mittelalters, mit dem
vermittels dreier Absehlneale die Netzdreiecke verjüngt reproduziert wurden



«Schmiege», ein aus altmuslimischer Zeit stammendes Winkelmeßgerät, das in
Ausführungen für den Feld- oder Bürogebrauch im christlichen Mittelalter eine
Blütezeit hatte

längen schiefwinkliger Geländedreiecke aufgenommen werden, wobei an den Stäben die Dreiecksseitenlängen in einer bestimmten Verjüngung abgelesen wurden. Es gab auch Ausführungsformen mit Horizontalteilkreisen an den beiden Gelenkpunkten, damit am Vergleichsdreieck auch Winkel abgelesen werden konnten. Wurden *Winkel* gemessen und nach den Formeln der Trigonometrie gerechnet, sprach man von *Triangulation*; wurden hingegen *Dreiecksseiten* gemessen, von *Trilateration*. Die älteste bekannte trigonometrische Berechnung eines größeren Triangulationsnetzes ist vom holländischen Naturforscher *Wiltibrod Snellius* (1591 bis 1626) für die Bestimmung eines Meridianstückes (Abstand zweier Breitengrade) durchgeführt worden. Snellius gilt auch als der Begründer der modernen Optik. Er erreichte in seinem mit Stab- und Dioptergeräten gemessenen Netz einen mittleren Richtungsfehler von $\pm 2' 48''$, während in modernen, mit Theodolitmessungen durchgeführten Triangulationen I. Ordnung, zum Beispiel im schweizerischen Alpennetz, der mittlere Richtungsfehler bei $\pm 0,5''$ liegt.

Die *Triangulationen* und *Trilaterationen* dienen der vermessungstechnischen Ortung von Geländefixpunkten über weite Strecken und Flächen, um die Streckenlängen von Längen- und Breitengraden auf dem Erdellipsoid zu bestimmen, das Gerippe-Fixpunktnetz für kartographische Aufnahmen oder für das Grundstückkatasterwerk zu schaffen oder für bedeutende Tiefbauwerke, insbesondere große Tunnelbauten, die zuverlässigen Absteckgrundlagen und -elemente zu gewinnen. Genau so, wie man die Eierschale nicht ohne Risse und Sprünge in die Ebene drücken kann, wird man Triangulationen über größere Strecken nicht nach den Regeln der ebenen Trigonometrie rechnen können, ohne das Netz mit wirklichkeitsfremden Deformationen zu behaften. Die auf den Meereshorizont korrigierten Messungen im Gelände werden nicht auf einer Scheibe, wie die Alten vor 600 v. Chr. glaubten, ausgeführt, sondern auf einer Kugel, genauer auf einem Ellipsoid, noch genauer auf einem durch die unregelmäßige Verteilung der Erdmassen geformten Geoid. Es muß somit nach den Regeln der sphärischen Trigonometrie und mit Korrekturen, herkommend von den Ellipsoid- und Geoidformen, gerechnet werden. Für die Darstellung der Ergebnisse in Koordinaten in einer Schmiegungebene kommen noch Korrekturen, herkommend von der Projektion der Kugel auf die Ebene, hinzu. Denkt man noch an eine möglichst günstige Ausgleichung der unvermeidlichen kleinen Beobachtungsfehler, zum Beispiel an das Gesetz, die Summe aller Quadrate der zufälligen Fehler müsse ein Minimum sein (Methode der kleinsten Quadrate von Gauss), dann führt das Ganze zu einem praktisch kaum mehr zu bewältigenden Rechnungsaufwand. Auch hier brachten die modernen elektronischen Rechenautomaten Hilfe. Die *elektronischen Rechenanlagen* lassen heute mit annehmbarem Zeit- und Kostenaufwand Triangulationsaufgaben lösen, deren Durchführung früher frommer Wunsch bleiben mußte.

Im Altertum und im Mittelalter wurden noch mit einem besonders einfachen Instrument Winkel gemessen. Das Gerät bestand aus zwei an je einem Ende drehbar verbundenen Stäben, die wie ein Zirkel auf den

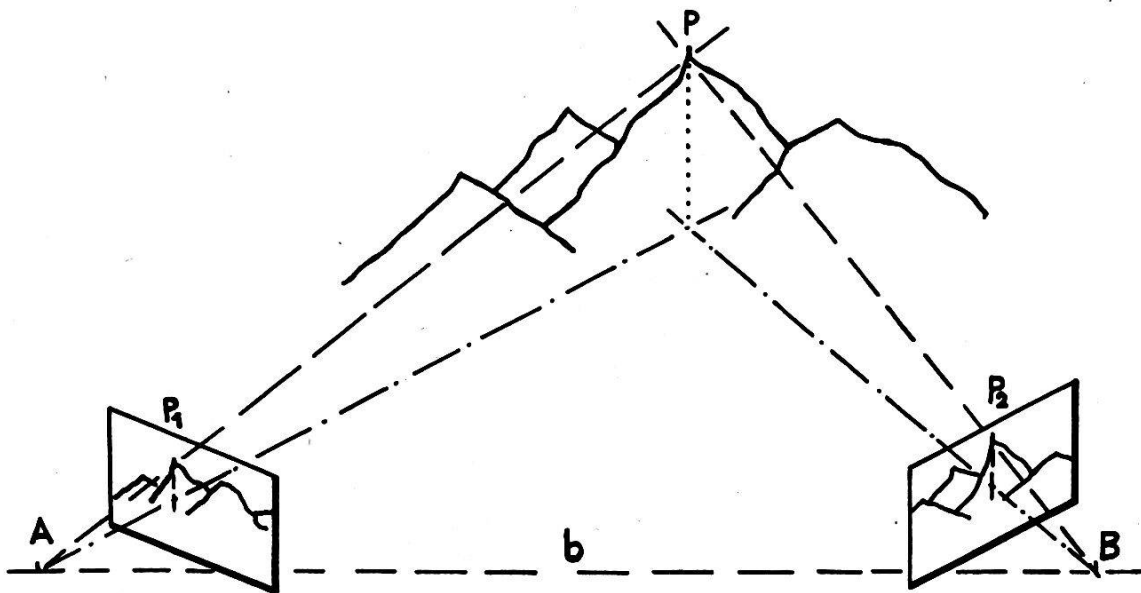
zu messenden Winkel geöffnet wurden und so besonders anschaulich den zu messenden Winkel materiell festlegten. Das Anlegen des Gerätes mit den Innenkanten der Schenkel an eine vorspringende Mauerecke erklärt den Namen «*Schmiegen*». Die Schenkelöffnung wurde mit Hilfe der auf den beiden Schenkeln angebrachten Teilungen mit dem Zirkel abgegriffen. Mit der Zirkelstrecke konnte an entsprechenden Schenkelteilungen die Winkelgröße in Grad-, Arcus-, Sinus- oder Tangensmaßeinheiten genauer abgelesen werden, als dies mit Kreisteilungen zur damaligen Zeit möglich war. Die Geräteabmessungen schienen zur Steigerung der Genauigkeit der Messungen kaum Grenzen gehabt zu haben. Schmiegen mit Diopter-Absehvorrichtungen wurden schon zur altmuslimischen Zeit für astronomische Messungen gebraucht und hatten ihre Blütezeit im christlichen Mittelalter. Kleinere, für den Gebrauch im Zimmer praktische Geräte dienten der Umwandlung vom Gradmaß in Arcus-, Sinus- oder Tangensmaß. Die Verwendung der Schmiegen wurde beschrieben zum Beispiel von *Galilei* (1596), in der Schweiz von *Ardüser* (1627). In der Feldmessung wurden die Schmiegen auf einem Stativ, in der Nautik von freier Hand verwendet. Für nautische Messungen wurde sie schon im ersten Jahrtausend n. Chr. mit einem Spiegel im Gelenkpunkt ausgerüstet. Es konnte so von freier Hand ein Schenkel auf den Meereshorizont, der andere auf den Polarstern gerichtet und beide Ziele mit Hilfe des reflektierenden Sternbildes zur Deckung gebracht werden. Aus der nautischen Schmiege entstand um das Jahr 1200 n. Chr. der *Spiegelsextant*, das aus freier Hand zu bedienende Instrument des Seemanns zur Messung von Stern- und Sonnenhöhen zum Zwecke der geographischen Ortsbestimmung.

V. Photogrammetrie

Eine der schönsten und nützlichsten Früchte angewandter Naturwissenschaften ist wohl die Photogrammetrie, das jüngste Vermessungsverfahren neben der elektronischen Distanzmessung, das schon weitgehend den Gebrauch der klassischen Vermessungsverfahren verdrängt hat und kraft seiner Leistungsfähigkeit weiterhin verdrängen wird. Die entscheidende und stürmische Entwicklung fällt in die letzten vierzig bis fünfzig Jahre.

Den ersten Anstoß zum Verfahren gab wohl der Luzerner Arzt und Ingenieur *M. A. Capperer*, der 1726 an die Luzerner Regierung schrieb, er könne mit Hilfe zweier perspektivischer Handzeichnungen vom Pilatus eine Karte des Pilatusgebietes anfertigen. Capperer hat dann mit einer veröffentlichten Pilatuskarte die Behauptung praktisch und erfolgreich bewiesen. Es handelt sich um die Umwandlung zweier Zentralprojektionen eines Gegenstandes – Handzeichnungen – in eine Orthogonalprojektion – Karte –. Mit der Erfindung der Photographie (*Daguerre*, *Arago*, 1839) konnten die handgezeichneten Perspektiven durch Photographien ersetzt werden. *Cpt. Laussedat* in Frankreich (1846), *Prof. Porro* in Italien (1853), *Arch. Meydenbauer* in Deutschland (1865) konstruierten für die praktische Ausübung der Ausmessung von Gegenständen mittels Photo-

graphie Kombinationen der Photokamera mit dem Theodoliten und wandten das Verfahren erfolgreich an für die Aufnahme von Festungsbauten, Gebäuden (Baudenkmälererhaltung) und allgemein des Geländes. In der Schweiz gaben Geometer *Niehans* (Katastervermessung Sigriswil, 1892) und Ing. *Rosenmund* (topographische Kartenaufnahmen, 1897) Anlaß zum Bau von *Phototheodoliten* und zur Verwendung des Einschnei-

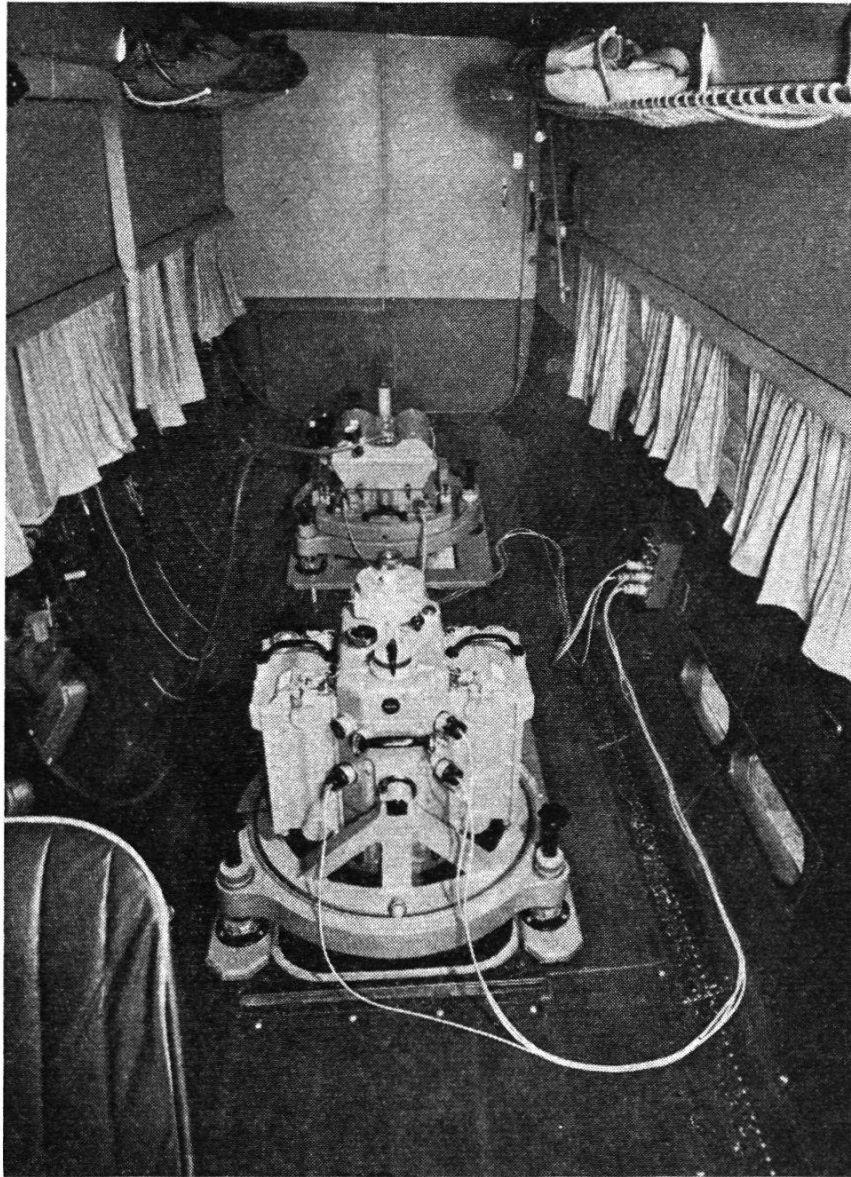


VORWÄRTSEINSCHNEIDEN AUS PERSPEKTIVEN (CAPPELER 1726)

Vorwärtseinschneiden aus Perspektiven, erstmals bekanntgemacht vom Luzerner Arzt M. A. Cappeler für die Erstellung einer Pilatuskarte (1726). Gilt in der Entwicklung der Photogrammetrie als Ausgangsverfahren (Meßtischphotogrammetrie)

deverfahrens mittels Photographie (Meßtischphotogrammetrie). Entscheidende Fortschritte veranlaßte *Pulfrich* mit der Vereinigung der beiden Meßbilder zu einem Stereobild, mit der räumlichen Ausmessung des entstandenen Photo-Stereomodelles mit Hilfe einer wandernden Marke im *Zeiss-Pulfrich-Stereokomparator* (1901). 1907 ersetzte der Engländer *Thompson* und 1908 der Österreicher *von Orel* die Rechnung von Distanzen und Landeskoordinaten aus Bildkoordinaten durch ein System lenkbarer und aus der Bildausmessung gelenkter Lineale (Analogie-Halbautomaten), womit eine rasche Entwicklung der Konstruktion von *Stereoautographen* eingeleitet wurde (Deville 1902, Predhumeau 1919, Hugershoff, Wild und Poivillier 1920, Bauersfeld, Nistri, Santoni 1921). Die schweizerischen Instrumentenfirmen Kern-Aarau und mit besonderem Erfolg Wild-Heerbrugg haben sich der Entwicklung und dem Bau von Stereo-Auswertegeräten, Wild-Heerbrugg auch der Aufnahmegeräte angenommen. Mit der Entwicklung der Aviatik vorwiegend im ersten Weltkrieg lösten Luftbilder die terrestrischen Meßbildpaare in den Stereoautographen ab. Die Meßbilder aus dem Flugzeug bieten günstigeren Einblick in das Gelände, vermitteln eine bedeutend ra-

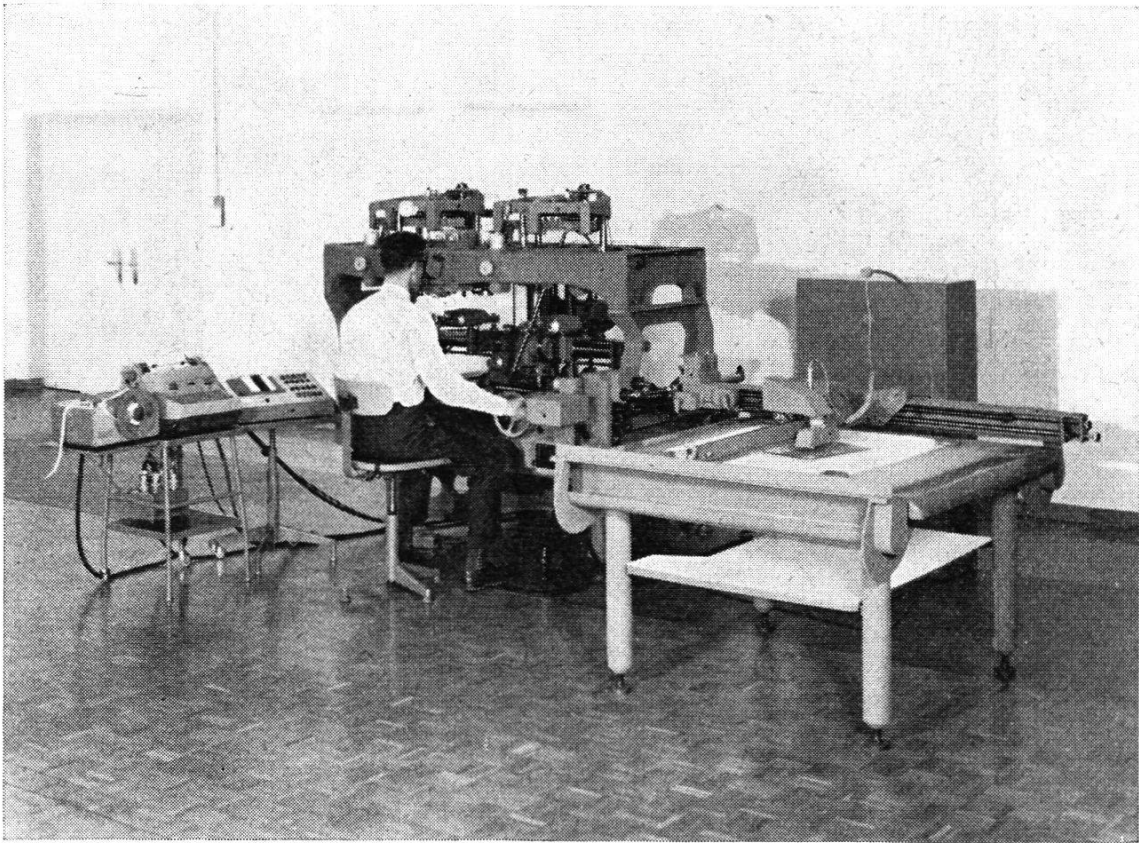
schere Geländeaufnahme, können allerdings nicht so genau raumgeometrisch orientiert werden wie Phototheodolit-Aufnahmen und bieten so einige überwindbare Schwierigkeiten in der Ermittlung der genauen raumgeometrischen Lage der Photo-Raumstrahlen-Büschel im Moment der Aufnahme. Schweizer Geometer sind in der praktischen Anwendung der Luftbild-Stereophotogrammetrie vorangegangen: schon im Jahre 1926 wurden die Grundbuchpläne und die Topographie der glarnerischen Gemeinden Bilten und Niederurnen von Bosshardt und Allenspach mit vollem Erfolg luftphotogrammetrisch aufgenommen, nachdem seit 1918 durch Dr. Helbling in Flums und durch die Landestopographie die terrestrische Stereophotogrammetrie in einer breiten Praxis für topographische Aufnahmen eingeführt war. An den modernen Stereoautographen werden mit der wandernden Marke Flugbild-Stereomodelle ausgemessen, wobei alle eingestellten Geländepunkte und abgefahrenen Geländelinien in einem bestimmten, gewählten Maßstab auf einem Zeichentisch nebenan mit einer Genauigkeit von 0,1 mm aufgezeichnet werden. Es können aber auch die Koordinaten der eingestellten Geländepunkte mit dem Druck auf einen Knopf automatisch registriert werden, nämlich in Klarschrift auf Formulare oder in Lochschrift auf Lochkarten oder -bänder. Die Lochkarten oder Lochbänder werden direkt elektronischen Rechenanlagen zugeführt zur Transformation von Autographenkoordinaten in Landeskoordinaten, zur Berechnung von Distanzen, Richtungen (Azimute), Flächen von Grundstücken oder Querprofilen, Erdvolumenrechnungen in der Anwendung der Luftphotogrammetrie auf die Projektierung von Tiefbauwerken. Die *Photogrammetrie und Rechenautomatik* haben zum Beispiel in der Projektierung der schweizerischen Nationalstraßen zu verblüffenden Ergebnissen bezüglich Raschheit der Projektbearbeitung, Reichtum des Variantenstudiums und Qualität der Projekte geführt. So werden heute auf der ganzen Welt am Luftbild-Stereomodelle des Geländes mit eindrucklichem Erfolg Triangulationen ausgeführt, topographische Karten und Pläne kartiert, Grundstückkataster erstellt – wofür allerdings die Grenzpunkte über die Rechte am Boden im Gelände vor der Überfliegung mit dem Vermessungsflugzeug mit kleinen Signaltäfelchen photosichtbar gemacht werden müssen –, Autobahnen bis zur Bereitstellung aller Absteckgrößen projektiert. Die Vermessungen größeren Umfanges sind so weitgehend von der Arbeit im Gelände losgelöst; das Gelände ist in der Form des photogrammetrischen Modelles in das Autographenzimmer gebracht worden. Aus dem ungeheuren Informationsreichtum der Flugphotographie werden die vermessungsinteressanten Informationen ausgewählt und, weitgehend automatisiert, zu Karten, Plänen, Koordinaten, Distanzen, Flächen und Volumen umgeformt. Neben dem Wert für das Messen bieten die Fliegerbilder ungezählte Informationen für das Erkennen, Identifizieren und Interpretieren. Geologen, Hydrologen, Förster, Archäologen usw. finden in den Flugbildern die sie interessierenden Informationen, die zu Befunden führen, und lassen diese am Stereoautographen ausmessen oder kartieren. Die einzigartige Informationsdichte der Flugbilder bietet die besten Voraussetzungen für die moderne Daten-



Fliegermeßkammern im Vermessungsflugzeug eingebaut. Vorn automatische Plattenkamera Wild RC7a, hinten automatische Filmkamera Wild RC8. Eine Aufnahmeemission kann 5 Stunden dauern und 400 bis 600 Aufnahmen umfassen

verarbeitungstechnik. Was vor 3000 Jahren der Mensch für die Vermessung der Erde und ihrer Erscheinungen auf der Bodenoberfläche mit der Aufteilung in Naturdreiecke und ihrer Wiedergabe in ähnlichen Vergleichsdreiecken anstellte, macht er heute mit dem Wirkungsgrad unserer Zeit mit der photographischen Wiedergabe des Antlitzes der Erde. Der Wirkungsgrad unserer Zeit ist hier zu begrüßen, denn erst um die 20% der Erdoberfläche sind auf topographischen Karten 1:50 000 bis 1:100 000 dargestellt, und erst über 4% liegen Karten und Pläne 1:10 000 bis 1:1 000 vor. Und doch sind Karten und Pläne, heute auch Fliegerbilder, die ersten und unentbehrlichen Arbeitsmittel für die kulturelle und wirtschaftliche Erschließung der Länder.

Mit dem vorliegenden Überblick wollte gezeigt werden, daß eine Darstellung der Entwicklung der Vermessungsinstrumente in einem



Universal-Stereoautograph Wild A 7 mit Zeichentisch, elektrischem Koordinaten-Registriergerät Wild EK 5 und Streifenlocher Wild SL 15. Die Anlage gestattet, das Modell des Geländes in der Form des Stereoluftbildes im Zimmer wiederzugeben und daran jede Art graphischer oder zahlenmäßiger Geländevermessung auszuführen

Technischen Museum, sofern die Darstellung dort Lebenshauch erhält, weite Bereiche der Kulturgeschichte berührt und junge Menschen fesseln kann, die empfänglich sind für die Zusammenhänge zwischen der Menschheitsgeschichte und der mitgehenden technischen Entwicklungsgeschichte. Das Werden einer Technik aus priesterlich-astronomischer Weisheit zur Instrumententechnik, die mit einer humanistischen Pflege vor dem Absinken in eine reine Maschinentechnik zu schützen ist, birgt Bildungswerte, die ein Technisches Museum neben den Ausbildungswerten zur Geltung bringen soll. Die Betrachtung des Alten kann den Blick für Wesentliches, im Neuen oft von großartigem Unwesentlichem verhüllt, öffnen. Wo Erinnerung, Tradition, Kontinuität und Ehrfurcht vor früheren Leistungen geschwunden wären, würde der Mensch aufhören, gesittet zu sein.

Hans Härry,
dipl. Ing. ETH; Dr. h. c. EPUL

[*Berichtigung:* Auf Seite 239 sind die beiden Bilder zu vertauschen.]

Literaturhinweise

- [1] *Brennecke, E.*: Meßkunst und «geistiges Messen» – eine Brücke zwischen Natur- und Geisteswissenschaften. Humanismus und Technik, Berlin 1953.

- [2] *Heisenberg*: Die Rolle der Physik in der gegenwärtigen Entwicklung des menschlichen Denkens. Universitas 1961.
Meurers: Philosophie – Naturwissenschaft – Geisteswissenschaft. Physikalische Blätter, 1959.
Born: Die Physik in der Problematik unseres Zeitalters. Universitas, 1962.
 Und andere Beispiele.
- [3] Eine zuverlässige und quellenreiche Darstellung ist gegeben in dem für den vorliegenden Vortrag benützten Werk:
Schmidt, F.: Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter. Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften; Neustadt an der Haardt 1935.
- [4] *Grosjean, G.*: Alte Vermessungsstrukturen in moderner Landschaft. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 1962/329.
- [5] *Stohler, H.*: Vermutete Spuren römischer Flurvermessung in der Schweiz. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie 1945/269.
- [6] *Schwidersky, K.*: Vermessungswesen und Technik. (Deutsche) Zeitschrift für Vermessungswesen, 1960/405.
- [7] *Kobold, F.*: Die Messung der Basis und des Basisvergrößerungsnetzes von Heerbrugg im Jahre 1959. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 1960/10.
- [8] *Wild-Heerbrugg*: Distomat Wild DI 50. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 1962/356.
- [9] Geräte von Zubler und Arduser («Zürcher Schule») sind beschrieben in:
Weisz, Leo: Die Schweiz auf alten Karten; Verlag NZZ, Zürich 1945;
Zölly, H.: Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz. Landestopographie Bern, 1948.

Bestimmung der Präzision und Genauigkeit eines Stereokomparators

B. Hallert, Stockholm

Einleitung

Im Institut für Photogrammetrie an der Technischen Hochschule in Stockholm sind einige Untersuchungen über die geometrische Qualität eines kürzlich gelieferten Stereokomparators Wild Stk 824 durchgeführt worden. Die benutzten Methoden und die Resultate sind unten zusammengestellt. Es wurde das Meßgitter Nr. 410 verwendet.

1. Die Prinzipien der Messungen und Berechnungen

Die Grundlagen der Untersuchungen sind in [1] veröffentlicht worden. Wie in der Statistik [2] wird zwischen Präzision und Genauigkeit des Instrumentes unterschieden.

Als *Präzision* wird die Standardabweichung einer Messung oder des Mittelwertes wiederholter Messungen angegeben. Sie wird nur durch direkte wiederholte Messungen der Gitterpunkte bestimmt. Da die Standardabweichung des Mittelwertes wiederholter Messungen bekanntlich