Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 110 (2012)

Heft: 1

Artikel: Die besten Instrumente ihrer Zeit : geometrische Höhenmessungen 1650-1800

Autor: Cavelti Hammer, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-236857

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.01.2026

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

Die besten Instrumente ihrer Zeit

Geometrische Höhenmessungen 1650–1800

Das Bestimmen von Berghöhen war eine der ganz grossen Herausforderungen der Aufklärung, denn sowohl bergsteigerische als auch vermessungstechnische Grenzen mussten überwunden werden. Mitte des 18. Jahrhunderts waren die meisten Gipfel der Hochgebirge noch unbestiegen, die Erstbesteigung des Mont Blanc folgte 1786. Die damals sensationellen 400 barometrisch bestimmten Höhenmessungen aus den Anden lieferte Alexander von Humboldt erst nach der Jahrhundertwende. Der Artikel erläutert die Geometrischen Höhenmessungen 1650–1800 und zeigt die besten Instrumente ihrer Zeit.

La détermination d'altitudes de sommets de montagnes était un des très grands défis de la pensée philosophique de l'Aufklärung car des limites aussi bien alpinistiques que de technique de mensuration devaient être surmontées. Au milieu du 18e siècle la plupart des cimes de haute montagne n'avaient pas encore été gravies. La première ascension du Mont Blanc eut lieu en 1786. A l'époque les 400 mesures barométriques d'altidudes ne furent exécutées par Alexandre de Humboldt qu'après le changement du siècle dans les Andes et constituèrent une sensation. L'article décrit les mesures d'altitudes géométriques entre 1650 et 1800 et illustre les meilleurs instruments de l'époque.

La fissazione delle altezze delle montagne ha rappresentato una delle grosse sfide a livello di rilevamento, in cui si dovute sormontare difficoltà sia a livello di scalata che di tecnica di misurazione. A metà del 18° secolo la maggior parte delle vette di alta montagna non erano ancora state scalate. Infatti la prima ascesa sulla cima del Monte Bianco risale al 1786. Solo alla svolta del nuovo secolo Alexander von Humboldt ha fornito le allora sensazionali 400 misurazioni dell'altezza delle Ande, barometricamente definite. Il seguente articolo spiega le misurazioni altimetriche dal 1650 al 1800 e presenta i migliori strumenti utilizzati a quel tempo.

M. Cavelti Hammer

Die Arbeit mit dem Barometer bedingte, dass die Orte begangen wurden. Alexander von Humboldt hatte den Vulkan Chimbarazo (6267 m) in Ecuador bis auf rund 5600 m bestiegen. Dieser Berg galt auf Grund von geometrischer Vermessungen des französischen Teams von Louis Godin (1704–1760), Pierre Bouguer (1698–1758) und Charles Marie de La Condamine (1701–1774) während der Längengradmessung von 1735 bis 1743 als höchster Berg der Welt. Die Gipfel des Himalaya waren noch nicht als Spitzenreiter erkannt. Alexander von Humboldt teilte uns in seiner Reisebeschreibung «Relation historique» einige seiner Forschungsschwerpunkte mit: «Ich bemerke schmerzlich, und alle Gelehrten teilen dieses Gefühl mit mir, dass, während sich die Anzahl der genauen Instrumente täglich vermehrte, uns doch die Höhen so vieler Gebirge und Plateaus, [...], die Grenze des Ewigen Schnees unter dem Polarkreis und an den Rändern der heissen Zonen, [...], noch völlig unbekannt geblieben waren.» Bereits drei Jahre vor seiner Abreise hatte er begonnen, die besten Instrumente seiner Zeit zu besorgen, so dass er im Juni 1799 – beim Start seiner Forschungsreise nach Amerika – rund 50 Instrumente mitführte. Es war ihm ein grosses Anliegen, die Gebiete seiner Reiseroute nach der Lage im Gradnetz und der Höhe über Meer genau zu erfassen.

Grundsätzlich setzte man damals drei Arten der Höhenbestimmung ein: Die bereits im Altertum angewandte geometrische Höhenbestimmung mit einem Nivellier (Nivellierinstrument, Wasserwaage), die trigonometrische Höhenbestimmung mit einem Winkelmessinstrument (Halbkreisinstrument/Graphometer, Vollkreisinstrument, Theodolit) und die barometrische Höhenbestimmung mit dem Barometer (Reisebarometer/Quecksilberbarometer).

Ein Pionier der geometrischen Höhenmessung der Alpen war Jacques-Barthélemy Micheli du Crest (1690–1766), dem es 1754 als Berner Staatsgefangener auf der Aarburg gelang, die Höhen von 40 Bergen geometrisch festzuhalten. Das Ergebnis publizierte er ein Jahr später im «Prospect géométrique des montagnes neigées» und schuf damit das erste wissenschaftliche Panorama. Aufgrund von Mangel an Winkelmessgeräten und Fernrohren hatte er mit einer sieben Meter langen, mit Wasser gefüllten Dachrinne gearbeitet. Während der Messung stand der Beobachter am den Bergen entfernteren Ende der Dachrinne, ein Gehilfe am andern Ende. Dieser verschob ein bewegliches Holzstäbchen solange nach oben und unten, bis dessen Spitze für den Beobachter mit dem anvisierten Berggipfel zur Deckung kam. Mit Hilfe einer einfachen Dreiecksrechnung wurden dann die Höhen ermittelt. Micheli du Crest hat zwar die Erdkrümmung berücksichtigt, nicht aber die Refraktion des Lichtes. Die Ungenauigkeit der Ergebnisse beruhen jedoch vor allem auf der Tatsache, dass die damals verfügbaren Karten bei der Bestimmung der Distanzen zu den anvisierten Gipfeln zu ungenau waren. Die Ausgangshöhe von Aarburg hatte Micheli Du Crest auf Grund seiner vierjährigen Beobachtungen barometrisch bestimmt. Generalleutnant Franz Ludwig Pfyffer (1716–1802) hatte die besten Instrumente in halb Europa eingekauft und das Ge-

biet vermessen, bevor er in den 1760er Jahren mit seinen sowohl geometrisch und als auch barometrisch ermittelten Höhenwerten die Zentralschweiz auf seinem rund sieben auf vier Meter grossen Relief der Urschweiz darzustellen begann. Dieses gilt heute als weltweit älteste Landschaftsrelief dieser Ausdehnung und zugleich als Symbol einer visuellen, dreidimensionalen Eroberung der Alpen. Pfyffers detailreiche Karte 1:125 000 der Zentralschweiz «Carte en Perspective du Nord au Midi» von 1786 wird dieser Innovation ebenfalls gerecht, indem sie die weltweit erste Karte mit systematischen Höhenquoten ist.

Strecken- und Winkelmessungen bildeten seit dem Altertum das Fundament der Kartografie. Häufig wandten die Feldmesser die Methode des grafischen Einschneidens an, indem sie von zwei Punkten ausgingen und dort Richtungslinien zeichneten, deren Schnitt den dritten Punkt des Dreiecks bestimmte. Dabei mussten die Koordinaten der beiden Punkte bekannt sein, respektive es musste eine Basis gemessen werden. Entscheidender Fortschritt in der Aufklärung war der Einsatz des in der Astronomie verwendeten Fernrohrs für terrestrische Zwecke. Eine Zwischenabbildung erzeugte aufrechte Bilder und das später eingefügte Fadenkreuz aus schwarzem Seidenfaden diente zur Zielvisur. Jean Picard (1620–1681) hat 1674 erstmals ein Fernrohr zum Nivellieren verwendet und damit das Vermessungswesen entscheidend reformiert. Gängige Hilfsmittel für Streckenmessungen, hier aufgezählt mit zunehmender Genauigkeit, waren: Schrittzähler, Feldzirkel mit zwei Metern Zirkelöffnung, Messräder, Messketten, Messlatten, Massstäbe. Damit vermassen die Feldmesser und Topografen die Strecken oft Stück für Stück, ohne die Neigung das Geländes zu berücksichtigen. Dies führte zu Verzerrungen. Das Kartenbild des 18. Jahrhundert zeigt deshalb oft bei Passübergängen zu grosse Ausdehnungen. Die Distanzen wurden zudem seit dem Altertum indirekt mit Hilfe von Winkeln grafisch oder numerisch bestimmt. Falls die zu messenden Geländepunkte nicht begehbar waren, war dies die einzige Möglichkeit zur Ermittlung deren Distanzen. Dazu musste man eine Basis direkt messen. Dies geschah mit Hilfe von Messlatten oder Messstäben. Auch beim graphischen Einschneiden muss vorher eine Basis gemessen werden.

Messfehler bei den Winkelmessungen wirkten sich enorm aus, höchste Präzision war gefragt und gerade hier leistete die Aufklärung in der Instrumententechnik bahnbrechende Innovationen, vor allem dank der Verfeinerung der Optik und der Gradeinteilung. Ausgehend von der Dioptra – der Vorgängerin des Theodoliten, welche bereits Heron von Alexandria beschrieben hatte – entstanden im 18. Jahrhundert diverse Winkelmessgeräte bis hin zu den ersten Präzisionstheodoliten. Man benutze das planisphärische (flache) Astrolabium als Vollkreisgerät (360°), das im 18. Jahrhundert allmählich durch den mit einem Fernrohr versehenen Graphometer (180°) ersetzt wurde. Als Varianten bei der Kreiseinteilung galten

Abb.1: Graphometer, um 1680. Signiert: Chapotot, Paris. (Alle Bilder: Mathematisch-Physikalischer Salon, Staatliche Kunstsammlungen Dresden.)

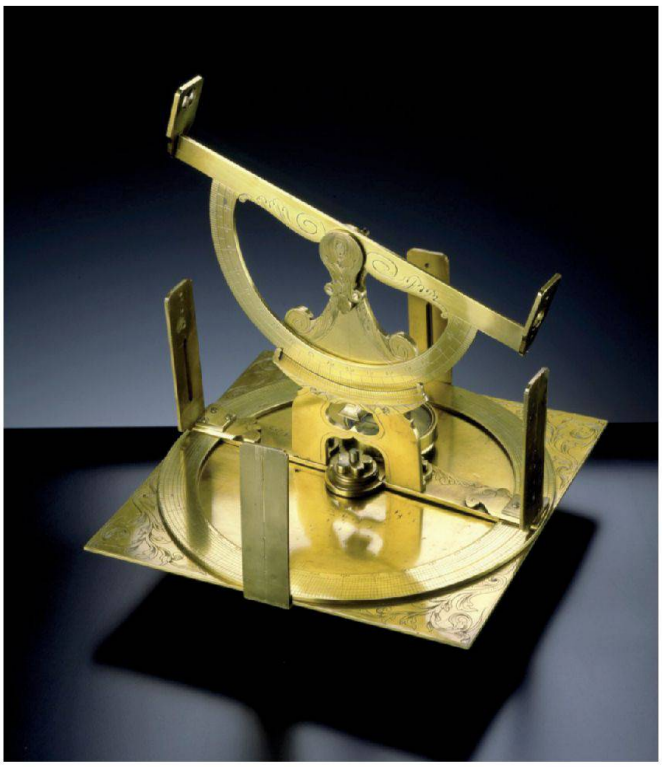

Abb. 2: Früher Theodolit ohne Fernrohr, um 1700.

Abb. 3: Theodolit um 1820 der Firma W.& S. Jones, London.

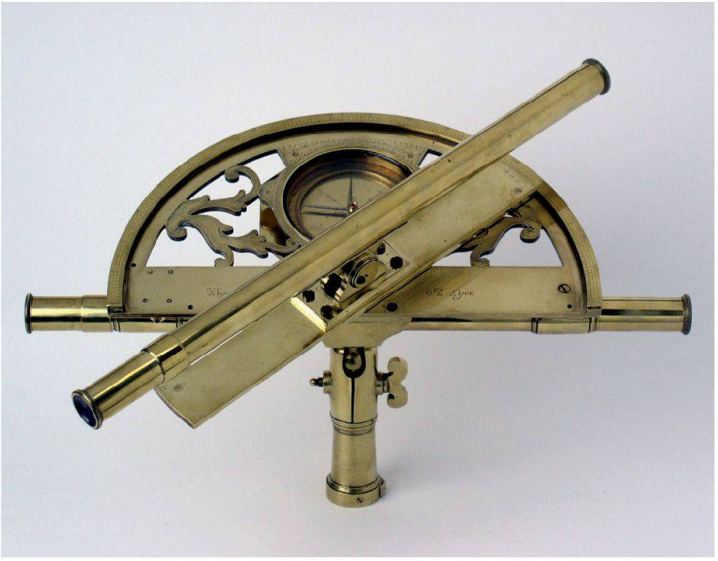

Abb. 4: Graphometer (Halbkreiswinkelmessgerät) mit Fernrohr und Bussole, 2. Hälfte 18. Jh.; Signatur: Pigeona Lyon.

die Quadranten (90°), Sextanten (60°) oder Oktanten (45°). All diese Instrumente setzte man für grafische und numerische Dreiecksbestimmungen ein, ersteres vor allem bei topografischen Aufnahmen, letzteres zur Bestimmung des trigonometrischen Netzes (Triangulationsnetz) als Grundlage für das Kartenwerk. Beim grafischen Verfahren zeichnete man die Strecken und Winkel direkt auf das Messtischblatt, während man beim numerischen Verfahren die Zahlen notierte und die Winkel trigonometrisch bestimmte.

Im Zeitalter der Aufklärung dominierte das französische Vermessungswesen. Dieses verhalf der Anwendung der Triangulation in der Landesvermessung zum Durchbruch. Jean Picard (1620–1682) hatte bereits 1668 mit der Triangulation Frankreichs begonnen, indem er Basis- und Winkelmessungen vornahm, so dass seine Nachfolger Jacques Cassini (1677–1756) und César-François Cassini de Thury (1714–1784) ein Dreiecksnetz erster Ordnung über ganz Frankreich legen konnten – ein Netz, das mit kleinmaschigeren Netzen zweiter und dritter Ordnung verdichtet wurde. Hier verwendete man einen Quadranten mit Fernrohr. Nach der rechnerischen Auswertung folgten ab 1747 die Detailaufnahmen mit Hilfe von Graphometern, die mit zwei Fernrohren ausgerüstet waren. So entstand die erste systematische Landesvermessung.

Der Publikation der ersten Kartenblätter 1756 – der so genannten Cassinikarte – folgten in diversen europäischen Ländern Beschlüsse zu neuen Kartenwerken. In der Österreichisch-Ungarischen Monarchie ordnete Maria Theresia 1763 die erste kartografische Erfassung des Erblandes an: die Josephinische Landesaufnahme. Von 1764 bis 1787 entstanden 4685 farbige handgezeichnete Aufnahmeblätter, wobei man aus Zeitgründen auf einheitliche vermessungstechnische Grundlagen verzichtete. Man arbeitete mit einem Messtisch, der mit einem Visierlineal (Diopterlineal) versehen war. Die Entfernungen wurden in Stunden und Schritten gemessen. Bemerkenswert ist der zwischen 1760 und 1769 entstandene «Atlas Tyrolenois», der ein Teilgebiet der Österreichisch-Ungarischen Monarchie abbildet und auf graphischer Triangulation beruht.

In Grossbritannien lancierte die Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce einen Wettbewerb und zeichnete 13 Karten von Landesteilen aus, die wohl meist mit Theodoliten aufgenommen worden waren. England war damals führend im Bau von Vermessungsinstrumenten und bereits ab 1730 waren die ersten modernen Theodoliten bei Feldmessern im Gebrauch. Die Landesvermessung mit Präzisionstheodliten fand erstmals zwischen 1787 und 1791 statt.

In Deutschland entstand die 943 blättrige Schmettausche Karte von Preussen, die auf graphischer Triangulation beruhte. Auch die Schmittschen Kartenblätter des südwestdeutschen Raumes entstanden durch graphische Triangulation, die Basis wurde mit Messketten gemessen. Erst den sächsischen Meilenblättenr von 1780 bis 1825 lagen eine rechnerischen Triangulation und eine Präzisionsbasismessung zu Grunde.

Dänemark beschritt einen eigenen Weg. Als 1761 die erste Landesaufnahme verordnet wurde, steckte man die vorgesehenen Kartenblätter im Gelände ab und führte vorerst die Detailvermessung mit dem Messtisch durch, um erst nachher die Kartenblätter auf die mit numerischer Triangulation bestimmten geodätische Grundlagen einzupassen.

Auf Grund der Korrespondenz zwischen den beiden in Frankreich geschulten Pfyffer und Micheli du Crest kann gezeigt werden, wie um 1760 ein konkretes Vermessungsprojekt bewältigt wurde. Zur Vorbereitung rekognoszierte Pfyffer das Gebiet mehrmals und markierte mit Hilfe von in den Boden getriebener Pfosten oder mit Eisen in den Felsen gegenseitig gut einsehbare Geländepunkte. Bei der ei-

gentlichen Vermessung installierten seine fünf bis sechs Gehilfen dort zwei Meter hohe Signale. Diese trugen oben einen Fassreifen und waren mit weisser Leine und einer Fadenkreuzmarkierung überzogen. Zur Kommunikation benutzte Pfyffer eine grosse schwarzweisse Fahne. Er wendete bei seiner Triangulation das Prinzip «vom Grossen zum Kleinen» an, indem er ein grossmaschiges Netz über die Gegend legte, welches er mit Hilfe der neusten in Europa erhältlichen Winkelmessgeräten vermass und stets durch Messungen auf dem dritten Eckpunkt des Dreiecks numerisch kontrollierte. Im Gegensatz dazu setzte er bei der nachträglichen Verdichtung des Netzes und bei den Detailaufnahmen einfachere Instrumente und den Messtisch ein. Dort wendete er die Methode des grafischen Vorwärtsschnitts an. Bei der Basismessung wiederum ging Pfyffer sehr sorgfältig und systematisch vor. Allein im Sommer 1761 vermass er ein halbes Dutzend Basen, obschon eine einzige genügt hätte. Gemäss einer Skizze unterteile Pfyffer die Basis in einem Zickzack-Muster, mass die Teile mit der Messkette und errechnete daraus die Basisstrecke. Die seiner Meinung nach beste Strecke von 5,5 Kilometern Länge verwendete er als Basis für die weiteren Berechnungen, die andern zur Kontrolle. Bei Hängen wurde die horizontale Distanz jeweils mit Eisenstangen und Senkblei ermittelt.

Literatur:

Bennett, James Arthur: The Divided Circle. A History of Instruments for Astronomy, Navigation and Surveying, Oxford 1987.

Niederöst Jana, Das Relief der Urschweiz von Franz Ludwig Pyffer (1716–1802), 2005.

Kretschmer I., Dörflinger J., Wawrik F.; Lexikon der Geschichte der Kartographie, Wien, 1986.

Pelletier, La cartes des Cassinis. la science au service de l'Etat et des régions. Paris, 2002.

Rickenbacher, Martin: Das Alpenpanorama von Micheli di Crest – Frucht eines Versuches zu Vermessung der Schweiz im Jahre 1754. Murten,1995.

Seeberger, Max: Geographische Längen, Breiten bestimmen und Höhen messen. Humboldts wissenschaftliche Instrumente und seine Messungen in den Tropen Amerikas. Bonn, 1999.

Torge, Wolfgang: Geschichte der Geodäsie in Deutschland, Berlin, New York, 2009.

Madlena Cavelti Hammer
Geografin
Untermattstrasse 16
CH-6048 Horw
madlena@editioncavelti.ch