

MESS-

Ausstellung vom 20. Oktober bis 18. November 2005

KUNST



im Landesamt für
Vermessung  und Geoinformation

München

PRAXIS GEOMETRIAE **Messen im Altertum**

Geräte - Meßverfahren - Genauigkeit

Eine Ausstellung von Konrad Peters und Lothar Weis

Zur Ausstellung

Die Geschichte der Land- und Bauvermessung läßt sich über 5000 Jahre zurückverfolgen. Alle Kulturvölker waren an der Entwicklung des Messens beteiligt. Die Genauigkeit, mit der die Monumentalbauten des Altertums errichtet und die umfangreichen römischen Landaufteilungen (Limitationen) durchgeführt wurden, zeigen, dass die Landmesser und Baumeister hervorragende Arbeit leisteten. Wie und mit welchen Geräten sie diese erstaunliche Genauigkeit erreichten, ist eine Frage, die sich der Forschung stellt. Das gilt besonders für die Meßgeräte, da von ihnen nur Fragmentfunde bekannt sind. Der Grund hierfür ist das zumeist benutzte Holz, das den ‚Zahn der Zeit‘ nicht überstand. Die Geräte müssen daher nachgebaut werden, wenn man alte Vermessungen nachvollziehen und Fehleranalysen durchführen will. Der Nachbau erfolgte in Auswertung der Fragmentfunde, der schriftlichen Überlieferungen und in Anwendung der aus dem Altertum bekannten Lehrsätze. Mit den Nachbauten ausgeführte Messungen zeigen die Funktionsfähigkeit der Geräte und ihre Zuordnung zu bestimmten Meßverfahren sowie die zu erreichende Genauigkeit.

Die Forschungsergebnisse sind wesentlicher Bestandteil der Ausstellung. Sie zeigt mit Gerätenachbauten und Modellen sowie auf Schautafeln, wie im Altertum gemessen wurde. Die Ausstellung macht Zusammenhänge sichtbar, läßt Entwicklungen erkennen und ist mit Analysen und Experimenten eine Entdeckungsreise in die Meß- und Baukunst des Altertums. Sie ist nicht nur für Insider, sondern auch für Lehrer und Schüler wegen ihrer pädagogisch-didaktischen Bearbeitung empfehlenswert.

Der Besucher hat zudem die Möglichkeit, sich als Landmesser zu betätigen.

Konrad Peters

Münster, Juli 2005

Konrad Peters

Geboren am 24. Oktober 1921 in Münster (Westf.).

Vermessungspraktikum im Eisenbahndienst.

1941 bis 1949 Wehrdienst und Kriegsgefangenschaft in Rußland.

1950 Ingenieur-Examen in Frankfurt am Main;

anschl. Tätigkeit in der Ingenieurvermessung bei den Bundesbahndirektionen Münster und Essen.

Seit 1983 im Ruhestand.

Schon seit 1951 Forschungen zur Vermessungsgeschichte mit dem Schwerpunkt des experimentellen Nachbaus antiker Meßgeräte. Mitarbeit an der Schausammlung ‚Praxis Geometriae‘ als Kernstück der Ausstellung ‚5000 Jahre Vermessungswesen‘. Gründungsmitglied des VDV-Arbeitskreises ‚Geschichte des Vermessungswesens‘ und des Förderkreises Vermessungstechnisches Museum e.V.

Zahlreiche Veröffentlichungen und Vorträge sowie Beratung und praktische Mitarbeit an verschiedenen Ausstellungen.

Lothar Weis

Geboren am 31. Juli 1937.

Reallehrer a.D. mit Schwerpunkt Technik, Chemie und Kunst.

Er hat antike Meßgeräte nach den Vorbildern von Konrad Peters für das Straßenmuseum in Germersheim, für das Römermuseum in Stettfeld und für eine eigene Wanderausstellung nachgebaut. Er hat mit seinen Modellen zahlreiche Vorträge gehalten. Lothar Weis entwickelte ein fächerübergreifendes Schulprojekt mit dem Thema „Römische Meßgeräte“. In Vorbereitung ist eine 8-tägige Kulturreise, Juni und September 2006: „Mit Groma & Chorobat zu Römerstädten in Tunesien“. Mit Nachbauten antik-römischer Meßinstrumente, wie Setz- und Wasserwaage, Winkelkreuz, Groma und Chorobat, werden in Tunesien an römischen Siedlungen und Wasserleitungen in vermuteter antiker Manier Vermessungsarbeiten vorgenommen.

Einführung

Um die Erde darzustellen und zu erforschen, waren immer schon Maße, Geräte und Meßverfahren erforderlich. Ihre Geschichte läßt sich etwa 6000 Jahre zurückverfolgen. In den alten Kulturen war die Meßkunst hoch entwickelt. Nachmessungen an antiken Großbauten und deren Auswertung bezeugen, daß Baumeister und Landmesser in der Lage waren, mit großer Genauigkeit zu messen und abzustecken.

Mit welchen Geräten wurde das erreicht? Eine Antwort ist nicht einfach, da von den vielen im Altertum eingesetzten Geräten nur wenige archäologische Fundstücke vorliegen. Der Hauptgrund hierfür ist das beim Bau der Geräte meist benutzte Holz, das den „Zahn der Zeit“ nicht überstand.

Die Geräte müssen nachgebaut werden, will man sie untersuchen und mit ihnen messen.

Dies ist zeitaufwendig und schwierig, jedoch unter Berücksichtigung der Gesamtüberlieferung möglich. Die Meßkunst des Altertums ist ein Forschungsgebiet, das der Archäologie zugeordnet wird. Doch auch Altertumskunde, Altphilologie, Mathematik, Kunst-, Bau- und Vermessungsgeschichte sind betroffen. Darin liegt die Schwierigkeit für die Forschung.

Die alten Vermessungen wurden von den Autoren selten ganzheitlich, sondern fast nur unter dem Aspekt ihres Fachgebiets dargestellt. Da von ihnen in der Forschung keine Experimente durchgeführt wurden, enthalten ihre Veröffentlichungen häufig widersprüchliche und falsche Angaben, die, wie vergleichende Studien belegen, auch kritiklos übernommen wurden.

Die Quellen:

Kurze Angaben und Hinweise von Historikern, Schriftstellern und Technikern in der antiken Literatur.

Die Bücher Herons und Vitruvs.

Dies sind die einzigen Schriften, die Meß- und Baukunst des Altertums umfassend überliefern. Entsprechend ist ihre Bedeutung für die Forschung. Das gilt besonders für die Bücher „Dioptra“ und „Metrica“ des Mechanikers Heron aus Alexandria. Schöne, H.: Herons von Alexandria Vermessungslehre und Dioptra. 3. Band von Herons Werken. Leipzig 1903.

Fensterbusch, Curt (Hrsg.): Vitruvii de architectura libri decem / Vitruv - Zehn Bücher über Literatur. Darmstadt 1981.

Die Schriften der römischen Feldmesser.

Sie bilden eine wertvolle Quelle für die Geschichte der Limitation und Bodenordnung. Das „Corpus Agrimensorum“ ist eine Sammlung der Schriften aus der Zeit um 450 n. Chr.

Zur neueren Literatur zu diesem Thema siehe:

Huber, Florian: Der St. Galler Klosterplan im Kontext der antiken und mittelalterlichen Architekturzeichnung und Meßtechnik. In: Studien zum St. Galler Klosterplan II. Hrsg.: Peter Ochsenbein und Karl Schmuki. Mitteilungen zur vaterländischen Geschichte. Herausgegeben vom Historischen Verein des Kantons St. Gallen. Band 52. St. Gallen 2002. S. 233 - 284, bes. S. 256 - 260.

Gerätedarstellungen auf Bildern, Steinen und Grabstelen.

Von Malern und Steinmetzen ausgeführt, sind sie keine genauen, sondern mehr künstlerische Wiedergaben.

Teilfunde

aus Metall, wie Lote, Meßlattenschuhe, Fluchtstabspitzen, das Eisenkreuz aus Pfünz, Bauteile der Pompeji-Groma und der Stativkopf aus Aquincum sowie die Funde aus Koblenz und Ennemain.

Antike Bauwerke.

Durch Neuvermessung werden sie zur überlieferten Geometrie in Stein. Meßdaten ermöglichen ihre Rekonstruktion und Genauigkeitsuntersuchungen. Die Genauigkeit ist der Maßstab für das Können der Baumeister und die Qualität der eingesetzten Geräte.

Die „Araber“ sind die Bewahrer der alten Meßkunst. Ihre Schriften, in der Frührenaissance bereits vielfach übersetzt, enthalten bedeutende Angaben über Geräte und Meßverfahren.

In der Renaissancezeit wird sichtbar, was 2000 Jahre vorher im griechischen Ionien sowie in Alexandria erforscht und erkannt wurde. Ein vergleichendes Studium für die Meßkunst zeigt, daß zwischen vielen Geräten der Antike und denen der Renaissance Übereinstimmungen bestehen. Dadurch ist es möglich, aus dem Altertum nicht überlieferte Gerätedaten und -merkmale zu erkennen und für die Forschung und den Gerätenachbau zu nutzen.

Zur Meßkunst des Altertums gibt es noch keine praxisbezogene Gesamtdarstellung der Geräte und Meßverfahren. Veröffentlichungen hierzu sind im Wesentlichen nur Beschreibungen und Darstellungen von Einzelgeräten unter dem Aspekt eines bestimmten Fachgebiets. Sie enthalten keine Angaben über Genauigkeit und Einsatz der Geräte. Das gilt auch für das besonders durch die Quellenangaben bedeutende Standardwerk von Schmidt. Es fehlt das Experiment.

Um die Forschungslücke zu schließen, wurden die Geräte unter Berücksichtigung der Gesamtüberlieferungen und Anwendung der aus dem Altertum bekannten mathematischen Lehrsätze nachgebaut, und zwar mit einfachen Hilfsmitteln und Werkzeugen in Handarbeit.

Als Baumaterial diente hauptsächlich Fichtenholz. Schon beim Nachbau fanden erste Prüf- und Testversuche mit den Geräten statt. So konnten Probleme festgestellt, Besonderheiten erkannt und beim weiteren Nachbau berücksichtigt werden. Dadurch war es möglich, sich in die Gedankengänge der alten Gerätebauer zu versetzen und dabei auf Konstruktionsprobleme zu stoßen, mit denen auch sie sich auseinandersetzen hatten.

Für die Messungen mit den Geräten war die Berufserfahrung als Vermessungsingenieur eine wichtige Voraussetzung. Die nachgebauten Geräte ließen ihre Funktionsfähigkeit und die mit ihnen zu erreichende Genauigkeit erkennen. Die Auswertung der überlieferten Schriften, in denen Herons „Dioptra“ die bedeutendste Quelle ist, war für die Darstellung der Meßverfahren und ihr Einsatz zur Lösung vermessungstechnischer Aufgaben wichtig.

Zu Heron und Vitruv

Alexandria war zur Zeit Herons der Mittelpunkt des geistigen Lebens im Mittelmeerraum. Das Museion mit der angeschlossenen größten Bibliothek des Altertums gilt als ‚der Tempel des Wissens‘. Herons Lebenswerk umfaßt die gesamte Mechanik seiner Zeit. Analysiert man seine Arbeit, so führt dies zu der Erkenntnis, daß er die Mechanik nur kritisch wertete, zusammenfaßte und darstellte. Ob er die Geräte baute und einsetzte, läßt sich nicht nachweisen. Herons Bücher sind für die Forschung zur Mechanik des Altertums die einzigen komplett überlieferten Schriften.

Dies zeigt ihren Stellenwert. Das gleiche gilt für Herons Buch ‚Dioptra‘, in dem er nicht nur das Gerät, sondern auch dessen Einsatz zur Lösung von 29 Vermessungsaufgaben beschreibt. Über seine Arbeitsweise berichtet er im ersten Abschnitt des Buches:

„Ferner haben auch diejenigen, welche über den Gegenstand geschrieben haben, sich zur Ausführung der Operationen nicht eines und desselben Instruments, sondern vieler und immer verschiedenen bedient, und doch haben sie vermittelst derselben nur wenige Aufgaben gelöst. Wir nun haben gerade auf diesen Punkt besonderen Wert gelegt, so daß durch ein und dasselbe Instrument die uns vorliegenden Aufgaben gelöst werden.“

Nach Herons Aussage wurde für die Lösung einer Aufgabe jeweils das entsprechende Meßgerät eingesetzt. Er belegt damit, daß eine Anzahl einfacher Geräte bekannt war. Geräte, die - vielfach in Eigenbau hergestellt - noch bis ins 19. Jahrhundert zur Grundausrüstung jedes Messenden gehörten. Leider erwähnt Heron die Geräte nur pauschal. Daß er sie nicht beschreibt, ist für die Forschung ein großes Defizit. Herons Bücher ‚Dioptra‘ und ‚Metrika‘ beinhalten die Vermessungskunde seiner Zeit.

Ihre Bedeutung für die Forschung begründet sich darin, daß nur sie die Wirren der Jahrhunderte überstanden und in unsere Zeit überliefert wurden.

Das gleiche gilt auch für Vitruv und seine ‚10 Bücher über Architectur‘. Seine Motivation und Arbeitsweise beschreibt er in der Vorrede zum 4. Buch:

„Da ich festgestellt habe, daß einzelne Baumeister über das Bauwesen Anweisungen und zusammenhanglose Abhandlungen nur in Anfängen oder losen Bruchstücken hinterlassen haben, hielt ich es für eine würdige und zweckdienliche Aufgabe, das gesamte Wissen eines so weit gespannten Tätigkeitsgebiets zusammenhängend zu ordnen und die kunstgerechten Regeln der Teilgebiete in einzelnen Büchern niederzulegen.“

Das ist Vitruv gut gelungen. Über sein Leben gibt es nur wenige Hinweise. Er war zur Zeit Cäsars wohl als Pionieroffizier eingesetzt. Nach eigener Aussage schrieb er seine Bücher erst im Ruhestand. Seit der Renaissance bilden sie, oft publiziert, eine Studiengrundlage für Architekten und Baumeister. Zur Vermessungsgeschichte finden sich bei Vitruv nur einige kurze Angaben, aber eine genaue Konstruktionsbeschreibung des Chorobats mit Hinweisen über den Einsatz des Nivelliergeräts beim Bau der römischen Wasserleitungen.

Jakob Burckhardt schreibt in seinem Buch ‚Über die Renaissance in Italien‘ zur Bedeutung Vitruvs:
„Fortan glaubte man vor allem das Altertum nach seinen eigenen Aussagen richten zu können. Vitruv nahm in der Baukunst bald eine ähnliche Rolle ein, wie vorher Cicero in der Latinität, und es bildete sich eine höchst eifrige Partei in seinem Namen.“

Heron und Vitruv stand das praktische und theoretische Wissen ihrer Zeit zur Verfügung. Heute kann die Forschung neben ihren Schriften nur auf einige Angaben im überlieferten Schriftgut und wenigen Teilfinden von Geräten zurückgreifen. Darin liegt die Schwierigkeit für Analysen zu Heron und Vitruv sowie zur Meßkunst des Altertums.

Aus der Renaissance und deren Folgezeit gibt es keinen Hinweis, daß Dioptra, Chorobat und Groma in der Meßpraxis zum Einsatz kamen. Die Veröffentlichungen zeigen die Geräte nur in ihrer geschichtlichen Bedeutung. Fehlendes vermessungstechnisches Wissen der Übersetzer und Altertumskundler sowie nicht durchgeführte Experimente sind dafür verantwortlich, daß die Geräte falsch oder erst durch spätere Funde richtig identifiziert und rekonstruiert wurden. Das belegen z. B. Chorobatdarstellungen von der Renaissance bis noch ins 20. Jahrhundert. Sie zeigen nicht nur erhebliche Unterschiede, sondern auch einige nicht funktionsfähige Geräte.

Nachbauten der Meßinstrumente

1. Lot- und Setzwaage

Am Beginn der Vermessungsgeschichte steht das Lot. Mit Hilfe des Lots fertigten die ägyptischen Baumeister die ersten Meßgeräte, die sie Lot- und Setzwaage nannten. Die Lotwaage diente zur Herstellung und Prüfung einer kurzen Senkrechten. Die als Dreieck gebaute Setzwaage zeigte die Waagrechte an. Durch Aufsetzen der Setzwaage auf ein Richtscheit konnte die Höhe für eine längere Strecke bestimmt werden. Über 5000 Jahre erfüllten beide Geräte die Funktion der heutigen Wasserwaage. Die Setzwaage ist zudem ein bedeutendes Bauelement des Setzwaagennivelliers und des Staffelmessgeräts.

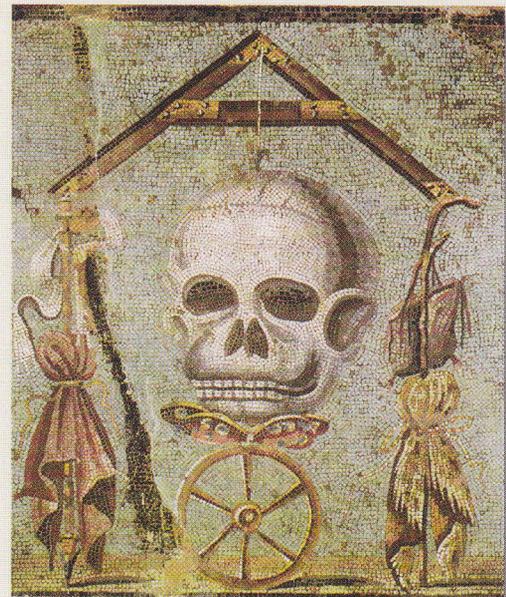


Abb. 22: Setzwaage auf Mosaik aus Pompeji

2. Die offene Wasserwaage als Nivelliergerät

Sie ist das einfachste Nivelliergerät des Altertums und von der Konstruktion her leicht zu bauen. Die Oberkante der Wasserrinne muß auf ihrer ganzen Länge parallel zur Zielachse laufen, damit das Gerät in der Waage steht. Die Anbringung von zwei Nägeln in der Wasserrinne (gleicher Abstand zur Zielachse) vereinfacht die Konstruktion. Für den Meßvorgang wird die Wasserwaage auf ein Stativ gesetzt. Experimente zeigten die komplizierte Aufstellung und Handhabung der offenen Wasserwaage. Dies dürfte der Hauptgrund sein, daß sie von dem Setzwaagennivellier verdrängt wurde.

3. Das Setzwaagennivellier

Es besteht aus Setzwaage, Richtscheit und Stativ. Von dem Gerät gibt es weder einen archäologischen Fund noch eine ausführliche Beschreibung. Es wird jedoch von Heron, Vitruv und einigen anderen Autoren der Antike kurz benannt. Das Nivellier wurde wohl deshalb nie ausführlich beschrieben, weil es wegen der einfachen Konstruktion von jedem Baumeister leicht herzustellen war und im Gegensatz zu den Sonderkonstruktionen von Heron (Kanalwaage) und Vitruv (Chorobat) das Gebrauchsgerät der Antike war. Erst in der Renaissance ist das Setzwaagennivellier fester Bestandteil der Fachliteratur. Hauptkonstruktionselement ist die hängend oder stehend angebrachte Setzwaage. Da weder ein archäologischer Fund noch eine Gerätebeschreibung des Nivelliers vorliegt, wurde es in Anlehnung an den aus der Renaissance bekannten Geräten nachgebaut.

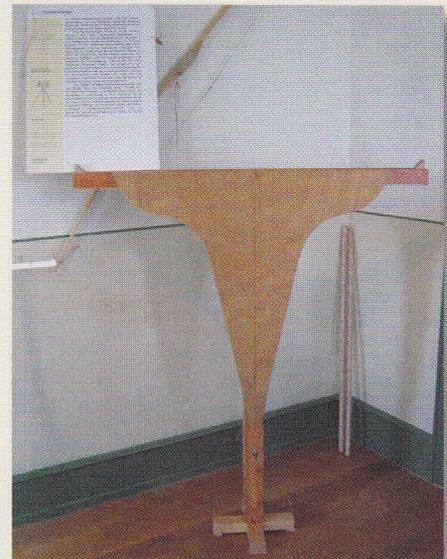


Abb. 23: Nivellier mit hängender Setzwaage, Nachbau von Lothar Weis

4. Vitruvs Chorobat

Nach Vitruv (1. Jh. v. Chr.) ist der Chorobat ein Nivelliergerät, das beim Bau der römischen Wasserleitungen zum Einsatz kam. Die Konstruktion ist eine Verbindung von Setz- und Wasserwaage an und auf einem langen Richtscheit mit zwei Stützen.

Die offene Wasserwaage tritt nach Vitruv nur in Funktion, wenn starker Wind das Einpendeln der Lote verhindert. Mit dem langen Richtscheit und den Setzwaagen an den Enden des Geräts wollte der Baumeister wahrscheinlich die Genauigkeit steigern. Mit dem Richtscheit müssen Stützen und Streben fest verbunden sein, damit die Lote bei Aufstellung des Geräts auf der Kerbmarke einpendeln. Der Einsatz des Gerätes ist für das Altertum und die Renaissance nicht nachzuweisen.



Abb. 24: Vitruvs 6m-Chorobat,
Nachbau von und mit Lothar Weis



Abb. 25: Vitruvs Chorobat,
Nachbau von und mit Konrad Peters

Vitruvs „perlibratio“ und die Beschreibung des Chorobates, De architectura, Liber octavus, V:

„1. Jetzt will ich darüber sprechen, wie die Wasserleitungen zu den Wohnungen und Städten angelegt werden müssen. Die erste Arbeit ist das Nivellieren. Nivelliert wird aber mit dem Diopter oder der Wasserwaage oder dem Chorobat, aber ein genaueres Ergebnis erreicht man mit dem Chorobat, weil Diopter und Wasserwaage täuschen. Der Chorobat aber besteht aus einem etwa 20 Fuß langen Richtscheit. Dieses hat an den äußersten Enden ganz gleichmäßig gefertigte Schenkel, die an den Enden (des Richtscheits) nach dem Winkelmaß (im Winkel von 90 Grad) eingefügt sind, und zwischen dem Richtscheit und den Schenkeln durch Einzapfung festgemachte schräge Streben. Diese Streben haben genau lotrecht aufgezeichnete Linien, und jeder einzelnen dieser Linien entsprechend hängen Bleilote von dem Richtscheit herab, die, wenn das Richtscheit aufgestellt ist und alle Bleilote ganz gleichmäßig die eingezeichneten Linien berühren, die waagerechte Lage anzeigen.

2. Wenn aber Wind störend einwirkt und durch die so hervorgerufenen Bewegungen der Bleilote die Linien keine zuverlässige Anzeige mehr bieten können, dann soll das Richtscheit am oberen Teil eine Rinne von 5 Fuß Länge, einem Zoll Breite und 1 ½ Zoll Tiefe haben, und dort hinein soll man Wasser gießen. Wenn nun das Wasser in genau gleicher Höhe die obersten Ränder der Rinne berührt, dann wird man wissen, daß die Lage waagerecht ist. Ebenso wird man, wenn mit diesem Chorobat so nivelliert ist, wissen, wie groß das Gefälle ist.“

Fensterbusch, Curt (Hrsg.): Vitruvii de architectura libri decem / Vitruv - Zehn Bücher über Literatur. Darmstadt 1981. S. 390-393.

Schuler, Stefan: Vitruv im Mittelalter. Die Rezeption von „De architectura“ von der Antike bis in die frühe Neuzeit. Köln / Weimar / Wien 1999.

Binding, Günther / Linscheid-Burdich, Susanne: Planen und Bauen im frühen und hohen Mittelalter nach den Schriftquellen bis 1250. Darmstadt 2002. Kap. V. Vermessung, S. 101 - 156, bes. S.133 - 139.

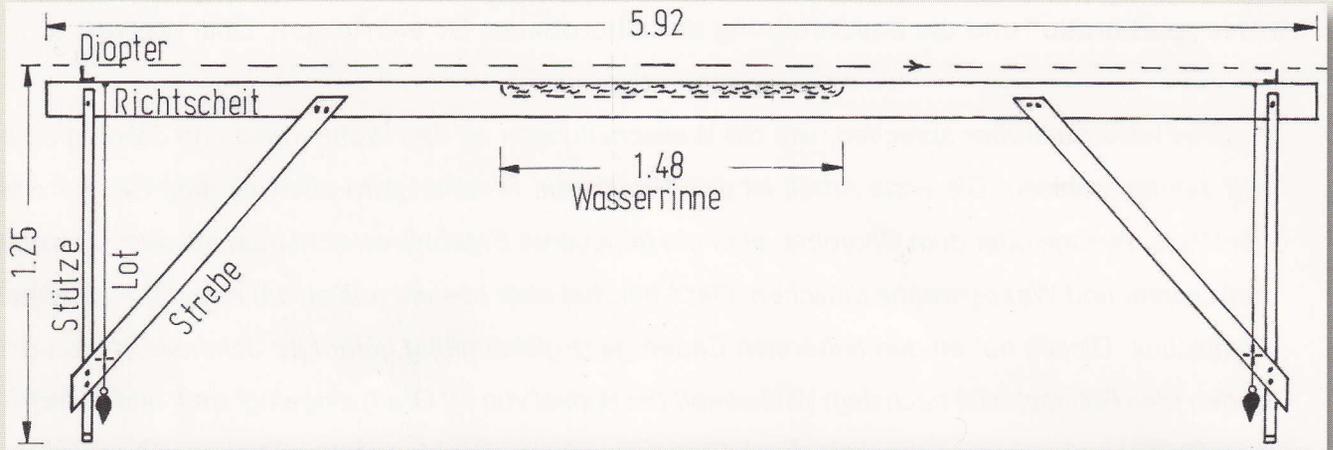


Abb. 26: Vitruvs Chorobat mit Konstruktionsdaten,
Zeichnung von Konrad Peters

5. Nivellierlatte mit Zielscheibe

Heron ist der einzige Autor, von dem eine Beschreibung des Geräts überliefert ist. Der Nachbau erfolgte in einfacher Ausführung in Anlehnung an Heron.

6. Das einfache Winkelkreuz

In den alten Hochkulturen und noch im 19. Jahrhundert war das einfache Winkelkreuz das am häufigsten benutzte Gerät für die Rechtwinkelabsteckung. Es besteht aus einem Stockstativ, auf dem drehbar ein Winkelkreuz mit stehenden Dioptern ruht. Meist aus Holz gefertigt, war es einfach herzustellen und besonders gut für Rechtwinkelabsteckungen im freien Gelände geeignet. Da als Material Holz verwendet wurde, ist kein komplettes Gerät bei Ausgrabungen entdeckt worden.

7. Die Groma aus Pompeji

Die Groma war ein Meßgerät der römischen Landmesser für die Absteckung von Rechtwinkeln. Es kam bei der Gründung von Lagern und Städten sowie den zahlreichen Limitationen (Aufteilung des Nutzlandes durch Vermessung) zum Einsatz. Die eigenartige Konstruktion (exzentrische Anbringung des Winkelkreuzes und hängende Lote als Zielvorrichtung) ermöglichte im Gegensatz zu den einfachen

Winkelkreuzen die Absteckung von Rechtwinkeln in steilem Gelände. Das Gerät war daher auch für die Absteckung von Brücken und Aquädukten gut geeignet. Es wurde in der Zeit von 300 v. Chr. bis 400 n. Chr. benutzt.



Abb. 27: Groma, Nachbau von Lothar Weis

Modelle

1. Absteckung des Limitationskreuzes mit der Groma

Bei der römischen Limitation erfolgte die Rechtwinkelabsteckung mit der Groma. Das Modell zeigt den Meßvorgang für die Absteckung des Hauptkoordinatenkreuzes (Kardo und Decumanus) mit der Quadrantenummerierung. Mit der rasterförmigen Aufteilung des Nutzlands in Zenturien sowie der einheitlichen Nummerierung derselben entwickelten die römischen Landmesser bereits vor über 2000 Jahren ein Katastermodell nach rechtwinkligen Koordinaten.

2. Staffelmessung am Steilhang

Für Brücken-, Aquädukt- und Tunnelbauten muß bereits für die Planung ein Profil (Geländeschnitt) vorliegen. Das Gerät für den Meßvorgang besteht aus Setzwaage, Richtscheit mit Längenskala, Stabstativ und Maßstab. Das Modell zeigt die Geräte bei der Profilaufnahme am Steilhang. Für die Messung ist vorab die Achsrichtung des geplanten Bauwerks abzustecken.

Mit der Staffelmessung wird auch die Länge und Höhe für die Bauwerksabsteckung bestimmt. Daher erfolgt die Messung (Genauigkeit) in zwei Lagen.

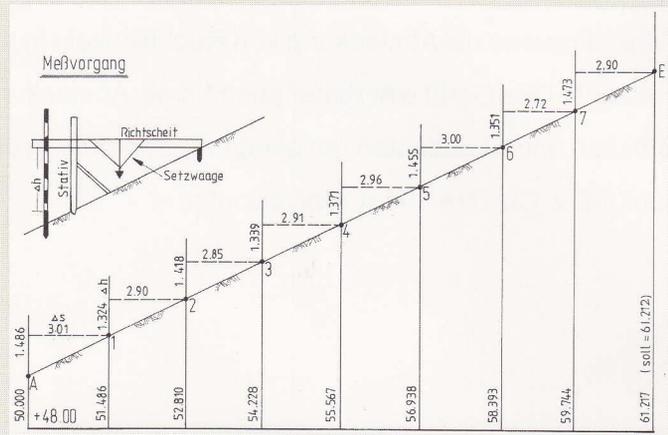


Abb. 28: Längenprofil mit Daten der Staffelmessung, Zeichnung von Konrad Peters

3. Trassierung um den Berg bei der Tunnelvermessung

Heron beschreibt in seiner Schrift ‚Dioptra‘ ein Meßverfahren, mit dessen Hilfe Länge und Richtung einer Tunnelachse bei einem zweiseitigen Stollenvortrieb durch Messung eines Orthogonalpolygons um den Berg bestimmt werden (indirektes Verfahren). Die Höhenmessung erfolgt ebenfalls um den Berg. Das Modell zeigt das Verfahren am Beispiel des Samostunnels (etwa 430 v. Chr.), da seine Topographie (Rand einer Bergkuppe) diese Geometrie zuläßt.

4. Nivelliervorgang mit dem Chorobat

Das Gerät wird bei der Aufstellung zunächst grob- und dann feinhorizontalisiert, bis die Lote auf den Kerbmarken einspielen. Das Einfluchten der Zieltafel an der Nivellierlatte erfolgt über die Diopter. Der Chorobat ist wegen seiner Überlänge (6 m) nur für flaches Gelände geeignet.

5. Nivelliervorgang mit Seil und Setzwaage

Das Modell zeigt den Vorgang. Um ein leichtes Durchhängen des Seiles auszugleichen, muß die Setzwaage in der Mitte der Meßstrecke am Seil angebracht sein. Das Verfahren ist aus dem Altertum bekannt. Es wurde bereits von den Arabern angewandt. In der Renaissance setzten es besonders die Markscheider ein.

Schautafeln

Tafel 1:

Historische Quellen zur Land- und Bauvermessung im alten Ägypten. Nach Herodot hat die Geometrie ihren Ursprung in Ägypten. Die Priester-Landmesser, nach ihrem Meßseil ‚Harpedonapten‘ (Seilspanner) genannt, führten neben den Landaufteilungen und Grenzerstellungen auch Bauwerksabsteckungen durch.

Das Meßseil war bereits in Ägypten zur Zeit der Pyramidenbauer und im Zweistromland das Gerät für die Messung langer Strecken. Mehrere altägyptische Wandbilder zeigen Landmesser bei der Feldmessung mit dem Seil. Auf einigen Seilen ist die Längenteilung als Punkte dargestellt, die in der Forschung vielfach als „Knoten“ angesehen werden. Da ein geknotetes Seil kaum herzustellen und zu ungenau ist, konnte die Längenteilung nur aus feinen Strichen oder Marken bestehen. Von den Ägyptern ist die Seillänge bis zu 100 Ellen und im Zweistromland bis zu 120 Ellen überliefert. In beiden Kulturkreisen kamen auch Meßlatten unterschiedlicher Längen aus Holz oder Rohr zum Einsatz.

Tafeln 2 und 3: Geometrie in Stein – Maße und Absteckung der großen Pyramide bei Gizeh

Die Tafeln zeigen die Daten der Pyramide, die der Archäologe Ludwig Borchardt (1921) unter Mitarbeit englischer Landmesser bestimmte. Sie belegen, daß die alten Ägypter in der Lage waren, mit einer erstaunlich hohen Genauigkeit abzustecken. Mit den Daten sowie den aus der Zeit des Pyramidenbaus bekannten Absteckverfahren sind Untersuchungen darüber dargestellt, welche Messungen (Grundriß, Höhen, Seitenneigung) für die Errichtung des Bauwerks in Frage kamen.

Redaktionelle Ergänzung zum Thema der Vermessung der Cheops-Pyramide; Stadelmann, Rainer: Die großen Pyramiden von Giza. Graz 1990. S. 111 - 112 (Hervorhebungen durch Red.):

*„In Giza wurde um den stehengelassenen Felskern unter der Cheopspyramide das **Gelände sorgfältigst nivelliert**, wobei die höher anstehenden Felspartien abgestuft, sämtliche Risse, Karstlöcher und tieferliegenden Flächen aufgefüllt und, wenn nötig, noch mit großen Blöcken ausgemauert wurden,*

um damit eine Ebene vorzubereiten, auf der das äußere Fundamentpflaster der Pyramide gelegt und vermessen wurde. Dieses ist so **unfaßbar genau verlegt und nivelliert**, daß die größten Höhenunterschiede zwischen der Mitte der Nordseite, dem tiefsten Punkt, und der Südostecke, der höchsten Ungleichheit, nicht mehr als 0,021 m [21 mm] betragen, ein Ergebnis, das selbst bei Anwendung moderner Geräte auf diese Strecken und ohne die Möglichkeiten, über den Felskern diagonal zu messen, als optimal angesehen werden muß. (...) Mit der gleichen **höchsten Präzision** ist die Nordung der Pyramide festgelegt und die Berechnung der Winkel und Seitenlängen erfolgt.

Der Azimut, die Abweichung von der Nordrichtung, betrug nur 2' 28" bei der Nordkante und im Durchschnitt nicht mehr als 3' 6" für alle Richtungen. Ebenso **unwahrscheinlich genau** ist die Winkelbestimmung der vier Ecken, die im Mittel nur um 2' 48" abweichen; neueste Messungen ergaben:

Nordostecke	90° 00' 58"
Südostecke	89° 59' 41"
Südwestecke	90° 00' 16"
Nordwestecke	89° 59' 05"

Die Kantenlängen der Pyramiden weichen gleichfalls nur um wenige Zentimeter voneinander und von dem gewünschten Mittel von 440 E [Ägyptische Königsellen, 1 E = 52,355 cm] = 230,36 m ab:

Nordkante	230,328 m
Ostkante	230,369 m
Südkante	230,372 m
Westkante	230,372 m

d.h. die größte Abweichung beträgt nach den neuesten Messungen von J. Dorner [Die Absteckung und astronomische Orientierung ägyptischer Pyramiden, Diss. Innsbruck 1981] nur 4,4 cm. (...) Wie die alten Baumeister mit ihren einfachen Geräten diese Genauigkeit erreichen konnten, können wir nur bewundernd erahnen."

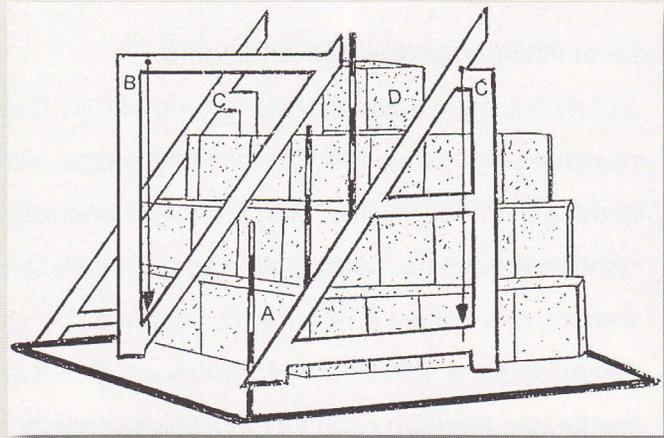


Abb. 29: Absteckvorgänge an einer Pyramidenecke, Konrad Peters

Tafel 4: Heron aus Alexandria (um 100 n. Chr.)

Heron gilt als Vater altgriechischer Meßkunst, die er in den Büchern ‚Metrika‘ und ‚Dioptra‘ zusammenfaßte. Es sind die einzigen Handschriften dieses Fachgebiets, die vollständig erhalten in unsere Zeit überliefert sind. Daraus ergibt sich ihre Bedeutung für die Forschung. Der Physiker und Mechaniker Heron baute mit der Dioptra ein Universalgerät, mit dem fast alle Meßaufgaben gelöst werden konnten. Es ist von der Konstruktion her den Geräten seiner Zeit weit voraus und gilt heute als Vorläufer des Theodoliten. Zu dem Gerät gehören ein Höhenmaßstab und ein Nivellieraufsatz (Kanalwaage). Dieser arbeitet nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. In der Antike ist er nur bei Heron nachgewiesen. Erst um 1700 erscheint die Kanalwaage in der Fachliteratur.

Tafel 5: Einfache Geräte der Rechtwinkelabsteckung

Die Absteckung und Aufnahme von Rechtwinkeln ist eine Grundaufgabe der Meßtechnik. Für einfache Messungen wurden dazu vom Altertum bis noch ins 20. Jahrhundert Winkelkreuze, Kreuzscheiben und Winkeltrommeln eingesetzt. Die Tafel zeigt die Geräte, ihre Geschichte und ‚wie sich die Bilder gleichen‘. In den Überlieferungen aus dem Altertum sind sie – im Gegensatz zu Groma und Dioptra – nicht beschrieben. Aus römischer Zeit gibt es einige Teilfunde aus Metall und zwei Darstellungen auf Grabstelen, die einfache Winkelkreuze sein könnten. Die von der Forschung erfolgte Zuordnung dieser Geräte ist nicht zweifelsfrei.

Tafel 6: Nivelliergeräte des Altertums

Überlieferungen aus dem Altertum weisen für diese Epoche vier Geräte nach:

die offene Wasserwaage, Herons Kanalwaage, Vitruvs Chorobat und das Setzwaagennivellier. Von den in der Tafel dargestellten Geräten sind Kanalwaage und Chorobat nach den ausführlichen Beschreibungen Herons und Vitruvs gut nachzubauen. Die offene Wasserwaage und das Setzwaagennivellier werden von einigen Autoren kurz benannt.

Beide Geräte sind einfach nachzubauen. Daß Kanalwaage und Chorobat zum Einsatz kamen, ist weder für das Altertum noch für die Renaissance zu belegen. Dies gilt nicht für das Setzwaagennivellier. Es ist nachweisbar vom Altertum bis ins 19. Jahrhundert. Wegen seiner einfachen Bauweise und der leichten Handhabung war es das am häufigsten benutzte Nivelliergerät.

Tafel 7: Zur Meßgenauigkeit im Altertum (Nivelliergeräte)

Aussagen liegen durch Nachmessungen an Großbauten des Altertums vor. Sie beweisen, daß die Baumeister eine große Genauigkeit erreichten und zur Fehlerausschaltung in zwei Lagen gemessen wurde (Drehung der Geräte um 180°). Die Tafel zeigt mit Gerätenachbauten durchgeführte Testmessungen. Das sind: Prüfung der Aufstell- und Zielgenauigkeit sowie Ergebnisse der Längennivellements (400 m) mit Chorobat und Setzwaagennivellier und eines Längennivellements (200 m) mit dem Setzwaagennivellier (Hin- und Rückweg). Die Genauigkeit der Staffelmessung wird durch Nachvollzug einer Staffelmessung (Länge und Höhe) am Steilhang nachgewiesen. Im Ergebnis bleibt festzustellen: Mit den Nachbauten wurde eine Genauigkeit erreicht, die in dem Bereich liegt, den die Großbauten aufweisen.

Tafel 8: ‚Limitatio‘ – die Katastervermessung der Römer

Limitatio (limitieren = begrenzen) ist die Aufteilung des Grundbesitzes durch Vermessung mit nachfolgender Nummerierung und zeichnerischer Darstellung der Grundstücke sowie der Kommentierung des Grundeigentums. Damit wurde der amtliche Nachweis des Grundbesitzes festgelegt, ähnlich dem heutigen Kataster und Grundbuch.

Das Verfahren stellte den Ordnungsrahmen, ohne den die Aufteilung, Verwaltung und Besteuerung des Grundeigentums im römischen Weltreich nicht möglich gewesen wäre.

Die bei der Limitation eingesetzten Meßgeräte, wie Groma, einfaches Winkelkreuz, Meßlatten und Fluchtstäbe, sind dargestellt und beschrieben. Am Beispiel von Avignon-Orange wird der Zusammenhang zwischen einzelnen Limitationsnetzen gezeigt.

Tafel 9: Alle Straßen führen nach Rom

Plan mit den Hauptrouten des römischen Straßennetzes. Römische Wegekarte (Peutinger). Schematischer Aufbau einer Römerstraße. Vermessungsarbeiten beim Straßenbau. Die Darstellungen belegen: Der Straßenbau war ein wichtiges Rad im Getriebe der Methoden, ein Weltreich zu schaffen und zu verwalten.

Das Straßennetz umfaßte zur Blütezeit des Imperiums die geschätzte Länge von 100 000 km. Der Ausbau erfolgte im Zuge der römischen Eroberungen über einen Zeitraum von 700 Jahren. Ein solches Straßennetz ist weder für einen vorhergehenden, noch für einen nachfolgenden Kulturkreis nachweisbar.

Tafel 10: Vom Altertum über die Renaissance zur Neuzeit

Der Übersichtsplan zeigt die Ausbreitung der Bau- und Meßkunst von den alten Hochkulturen nach Westeuropa. Bilder belegen diesen Vorgang und zeigen, daß wahrscheinlich sogar ein Techniktransfer nach Ostasien bestand.

Tafel 11 und 12: Das Pantheon in Rom

Die Tafeln zeigen Bilder und Pläne des Pantheons sowie Planungs- und Absteckverfahren für die Errichtung des Bauwerks. Unter Kaiser Hadrian von 115 bis 125 n. Chr. gebaut, ist es der einzige noch vollständig erhaltene Hochbau des alten Roms und der größte Kuppelbau der Antike. Mit einem Durchmesser von 43,30 m war die Herstellung der gewaltigen Kuppel eine große Anforderung an die Baumeister.

Tafel 13: Tunnelbauten des Altertums

Sechzig bisher bekannte Tunnelbauten zählen zu den technischen Großtaten des Altertums, an denen fast alle alten Kulturvölker beteiligt waren. Die Tafel zeigt zwölf bedeutende Tunnelbauten mit ihren Bau- und Zeitdaten. Schriftliche Überlieferungen aus der Antike und zeichnerische Darstellungen vermitteln einen Einstieg in den Tunnelbau.

Tafel 14: Planungsdaten, Vortriebs- und Meßverfahren beim Tunnelbau

Trifft eine Trasse auf einen Berg, muß er durchtunnelt werden. Dazu sind für die Planung und den Stollenvortrieb Richtung, Höhe und Länge der Tunnelachse zu bestimmen. Die Wahl des Vortriebsverfahrens richtet sich nach der Topographie (Höhe des Bergs). Der Vortrieb kann direkt vom Ein- und Ausgang oder von Senkrechtschächten aus erfolgen. Die aus dem Altertum bekannten Verfahren für die Bestimmung der Richtungs-, Längen- und Höhendaten sind dargestellt. Welches Verfahren die Baumeister einsetzen – das gilt auch für die Geräte – ist für keinen Tunnelbau überliefert.

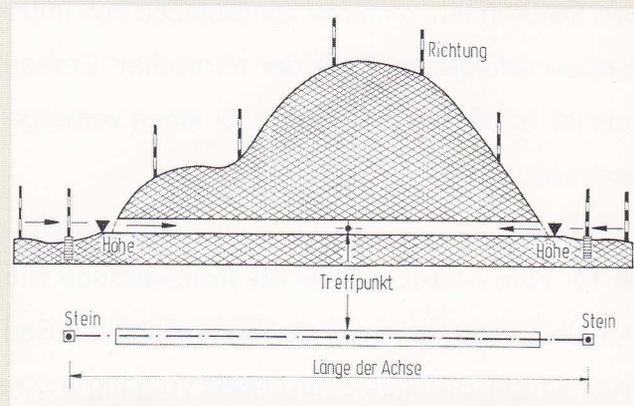


Abb. 30: Meßverfahren beim Tunnelbau,
Zeichnung von Konrad Peters

Tafel 15: Der Eupalinostunnel auf der Insel Samos

Für Forschungen zum Tunnelbau im Altertum hat er eine besondere Bedeutung.

Um 530 v. Chr. gebaut, ist der Tunnel mit einer Länge von über 1000 m und einer Überdeckung von 165 m der erste ‚echte Tunnelbau‘ des Altertums, der zudem bereits nach heutigen Kriterien geplant, abgesteckt und gebaut wurde. Freigeräumt und neu vermessen, ist er der ‚Prototyp‘ in der Tunnelforschung. Die Bau- und Entdeckungsgeschichte des Tunnels, Herodots Bericht über das Bauwerk und die Zeitepoche des Tunnelbaus (Ionien und die Geburt des Abendlands) sind aufgeführt.

Tafel 16: Pläne des Eupalinostunnels

Lage- und Höhenplan zeigen den Tunnel. Sie lassen die Schwierigkeiten erkennen, die der Baumeister zu bewältigen hatte, um den Stollentreffpunkt zu erreichen.

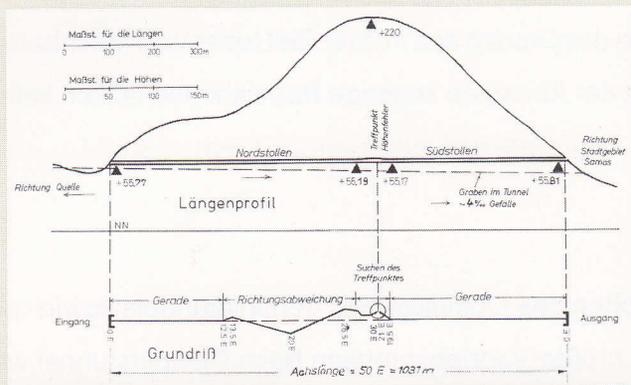


Abb. 31: Längenprofil des Eupalinos-Tunnels, Zeichnung von Konrad Peters

Tafel 17: Der Eupalinostunnel im Detail

Neben Bildern des Tunnels sind Pläne des Quellhauses, des Tunnelausgangs und das ‚Suchen‘ des Treffpunktes dargestellt. Der Nordstollen ist 200 m länger als der Südstollen. Der Plan zeigt zwei mögliche Lösungen.

Tafel 18: Zur Geschichte des Claudiustunnels

Die Geschichte des Tunnels ist aufgezeichnet. Zeitzeugen wie Sueton, Tacitus und Plinius berichten über die beim Tunnelbau aufgetretenen Schwierigkeiten, über Eröffnungsfeiern und Intrigen zwischen Kaiser, Günstlingen und Unternehmern. Plinius stellte fest: „Es (das Bauwerk) ist so gewaltig, daß die menschliche Sprache nicht ausreicht, es zu beschreiben.“

Tafel 19: Der Claudiustunnel

Durch den neuen Torloniatunnel, der der alten Trasse des von 41 bis 54 n. Chr. gebauten Claudiustunnels folgt, wird dieser völlig zerstört. Daher ist das schwierigste und gewaltigste Bauwerk der alten Römer heute kaum noch bekannt. Bei einer Länge von 5600 m und zahlreichen Senkrecht- und Schrägschächten bewegten sich die Baumeister an der Grenze des in ihrer Zeit technisch Machbaren. Lage- und Höhenpläne zeigen das in der Bergwelt der Abruzzen liegende Bauwerk und lassen seine gewaltigen Dimensionen erkennen.

Tafel 20: Der Claudiustunnel im Detail

Die Tafel zeigt das Längenprofil mit den Sohlenhöhen des Claudius- und Torloniatunnels sowie das der beiden Abflußkanäle für das Seewasser. Das größte Vortriebsproblem beim Claudiustunnel war das Teilstück unter dem Monte Salviano mit einer Länge von 890 m bei einer Überdeckung durch den Berg von fast 300 m. Das Planungsschema für diesen Abschnitt sowie die Meß- und Absteckverfahren für den Tunnelvortrieb und den Bau der Senkrecht- und Schrägschächte ist dargestellt.

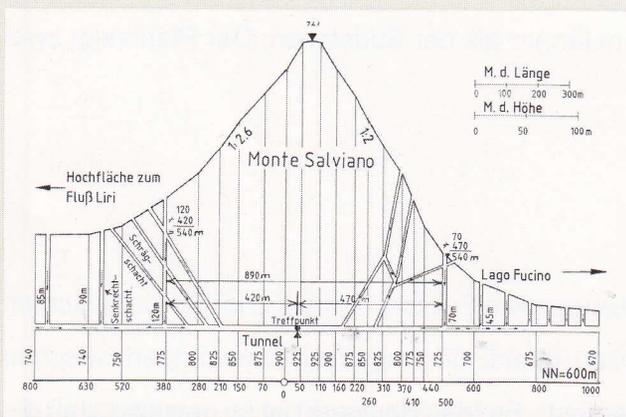


Abb. 32: Planungsschema des Tunnels unter dem Monte Salviano, Zeichnung von Konrad Peters

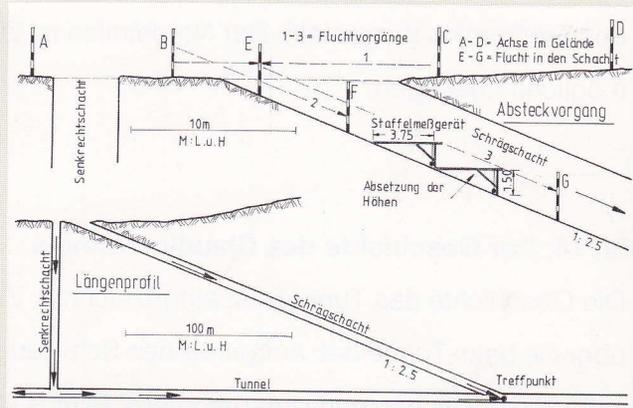


Abb. 33: Planung eines Schrägschachts, Zeichnung von Konrad Peters

Erkenntnisse zur Meßkunst des Altertums

1. Mit Nachbauten durchgeführte Experimente bestätigen die Funktionsfähigkeit der Geräte. Sie geben Hinweise über die mit ihnen möglichen Meßverfahren. Zudem zeigen sie, welche Genauigkeit mit den Geräten zu erreichen ist. Damit steht der Forschung eine Grundlage für vergleichende Untersuchungen zur Verfügung.
2. Zu berücksichtigen bleibt, daß Baumeister und Landmesser für die Herstellung und den Umgang mit den Geräten eine Erfahrung hatten, die heute nur schwer erreicht werden kann.
3. Dioptra und Chorobat sind die einzigen Geräte, von denen eine genaue Konstruktionsbeschreibung überliefert ist. Daraus ergibt sich ihre große Bedeutung für die Forschung.
4. Herons Dioptra ist von der Konstruktion her mit keinem Gerät des Altertums zu vergleichen. Da in der Herstellung für die Serienproduktion zu kompliziert und in der Anwendung zu schwierig, war sie, wie vielfach in der Forschung angenommen, nicht das ‚Universalgerät‘ der Baumeister und Landmesser.
5. Dies gilt auch für Vitruvs Chorobat, der in der Forschung als ‚das Nivelliergerät‘ des Altertums gesehen wird. Es wurde bisher nicht erkannt, daß die einfach zu fertigenden Setzwaagennivelliere die am häufigsten eingesetzten Geräte vom Altertum bis noch ins 18. Jahrhundert waren.
6. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts standen der Gromaforschung neben den Schriften der römischen Feldmesser nur einige künstlerische Darstellungen auf Grabstelen sowie wenige Fragmentfunde zur Verfügung. Erst die 1921 bei Ausgrabungen in Pompeji gefundenen Metallteile einer Groma ermöglichen eine einwandfreie Rekonstruktion dieses Geräts.

7. Es war schwierig nachzuweisen, welche Geräte und Meßverfahren bei einem bestimmten Bauvorhaben zum Einsatz kamen. Gesichert ist die Anwendung von Loten und Lehren (Schablonen) bei einigen Bauwerken sowie die Staffelmessung am Steilhang.

Das gilt auch für die Groma als Spezialgerät für die Rechtwinkelabsteckung bei der Limitation.

8. Die bei Großbauten festgestellte Genauigkeit belegt, daß zur Fehlerausschaltung in zwei Lagen gemessen wurde. Beim Nivelliervorgang Drehung des Geräts um 180° und bei der Rechtwinkelabsteckung um 90° . Das zeigen auch unterschiedliche Lotformen als Zielvorrichtung der Groma.

9. Für die vielfältige Bautätigkeit (Monumentalbauten, Straßen, Aquädukte usw.) sowie für die Durchführung großflächiger Limitationen waren umfangreiche Vermessungen erforderlich. Arbeiten, die zwangsläufig ein großes Team von Fachleuten und den Einsatz zahlreicher Meßgeräte bedingten.

10. Von den Geräten gibt es leider nur einige Fragmentfunde und wenige Überlieferungen. Das reicht jedoch aus, um mit der Erfahrung eines Vermessungsingenieurs und in Auswertung des aus der Renaissance bekannten Schriftguts die Geräte, die zur Grundausstattung der Baumeister und Landmesser gehörten, nachzubauen und darzustellen. Vielfach aus Holz gefertigt, waren sie – im Gegensatz zu Dioptra, Chorobat und Groma – einfach herzustellen, leicht zu handhaben und für die Massenproduktion geeignet.

Literatur zur Ausstellung

Die Literaturangaben sind in der Folge der Schautafeln aufgeführt.

Schöne, H.: Herons von Alexandria
Vermessungslehre und Dioptra.
3. Band von Herons Werken. Leipzig 1903.

Stürzenacker, E.: Vitruv. De Architectura.
Essen 1938.

Peters, K.: Nivelliergeräte des Altertums.
In: Der Vermessungsingenieur 38. 1987. S. 97.

Schmidt, F.: Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter. Neustadt a.d. Haardt 1935.
Veröffentlichung des Förderkreises Vermessungstechnisches Museum.
Bd. 14. Stuttgart 1988. Mit fast 1400 Quellen- und Literaturangaben eine umfassende Bestandsaufnahme der alten Meßkunst.

Peters, K.: Die große Pyramide bei Giseh.
Maße – Planung – Absteckung.
Veröffentlichung des Förderkreises
Verm.-Techn. Museum.
Bd. 26. Dortmund 1998.

Heimberg, U.: Römische Landvermessung.
Stuttgart 1977.

Blume, F., Lachmann K., Rudorff, A.:
Die Schriften der römischen Feldmesser.
Hildesheim 1967.

Della Corte, M.: Groma.
In: Monumenta Antichi XXVIII. Milano 1922.

Peters, K.: Das Winkelkreuz der
römischen Landmesser.
In: Der Fluchtstab. 12. 1961. S. 129.

Röttel, K.: Römische Vermessungskunst –
ihre Instrumente und Verfahren.
In: Kultur und Technik. 5. 1981. S. 179.

Peters, K.: Das römische Meßgerät aus Pfünz
in der Analyse und im Experiment.
In: Der Vermessungsingenieur. 40. 1989. S. 57.

Szilágyi, J.: Aquincum.
Budapest. 1956.

Peters, K.: Römische Vermessungsgeräte im Museum zu Budapest. Ein Versuch ihrer Identifizierung und Zuordnung.

In: Der Vermessungsingenieur. 41. 1990. S. 103.

Peters, K.: Die Dioptra des Heron.

In: Der Fluchtstab. 11. 1960. S. 21.

Apian, P.: Instrument-Buch.

Ingolstadt. 1533.

Peters, K.: Meß- und Absteckverfahren beim Tunnelbau im Altertum.

In: Der Vermessungsingenieur. 6. 1991. S. 248.

Hotzel, P.: Die Centuration, eine Form der römischen Bodenordnung.

Darmstadt. 1972.

Peters, K.: Der Orthogonal-Polygonzug nach Heron. Eine Analyse der Heronschen Aufgabe im Zusammenhang mit der Absteckung des Eupalinostunnels auf Samos.

In: Der Vermessungsingenieur. 6. 1988. S. 189.

Minow, H.: Vermessungen mit der Zwölfknotenschnur und andere historische Konstruktionen mit dem Meßseil. Veröffentlichung des Förderkreises Verm.-Techn. Museum. Bd. 19. Dortmund 1992.

Peters, K.: Limitatio – die Katastervermessung im Imperium Romanum.

In: Der Vermessungsingenieur. 1. 1988. S. 25.

Peters, K.: Von Heron bis Apian.

Eine kurze Darstellung der Vermessungsinstrumente des Altertums und ihrer Bedeutung in der Renaissance.

In: Globulus. 3. 1995. S. 39.

Mendelssohn, K.: Die Rätsel der Pyramiden. Bergisch Gladbach 1974.

Peters, K., Peters, W.: Bogenabsteckung in der Antike am Beispiel des Pantheons in Rom.

In: Der Vermessungsingenieur. 2. 1993. S. 76.

Peters, K.: Der Claudiusstunnel - ein bedeutendes Bauwerk aus altrömischer Zeit.

In: Der Vermessungsingenieur. 6. 1994. S. 306.

Borchardt, L.: Längen und Richtungen der vier Grundkanten der großen Pyramide bei Giseh. Berlin. 1926.

Balss, H.: Antike Astronomie. München. 1948.

Minow, H.: Der Beitrag der Araber zur Entwicklung des Vermessungswesens im Mittelalter. In: Der Vermessungsingenieur. 3. 1979. S. 50.

Minow, H.: Comenius und die praktische Geometrie. In: Der Vermessungsingenieur. 2. 1985. S. 80.

Peters, K.: Der Tunnel – das Eupalineion auf der Insel Samos. Veröffentlichung des Förderkreises Verm.-Techn. Museum. Bd. 8. Dortmund. 1984.

Minow, H.: Levi ben Gerson zum 700. Geburtstag. In: Der Vermessungsingenieur. 1988. S. 156.

Cantor, M.: Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Bd. I. Halle. 1863.

Landels, J.G.: Die Technik in der antiken Welt. München 1989.

Burckhardt, J.: Die Kultur der Renaissance in Italien. Basel 1930.

Günther, A.: Römisches Landmesserinstrument aus Koblenz. In: Germania. 15. 1931. S. 271.

Grewe, K.: Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates, eines römischen Nivelliergerätes nach Vitruv. In: Allgemeine Vermessungsnachrichten. 88. 1991. S. 205.

Adam, J.P.: La construction romaine. Matériaux et techniques. Paris 1989.

Peters, K.: Meßgeräte des Altertums. Nachbau • Experimente • Genauigkeit. Dortmund 2002.
