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: 8

Artikel: Die Entwicklung der Vermessungsinstrumente, dargestellt an kulturgeschichtlichen Entfaltungen

Autor: Härry, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-218456

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: 11.07.2025

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

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

Vermessungsinstrumente und Kulturgeschichte

Die Vermessungsinstrumente sind Werkzeuge zum Messen von Größen auf der Erdoberfläche und zur Übertragung von Größen in das Gelände, zur Ortung von Punkten und Linien auf der Erdoberfläche. Die *zivilisatorische und kulturelle Entwicklung,* das Bedürfnis der Menschen, unter Beachtung einer Ordnung zusammenzuleben und sich die Erdoberfläche zu möglichst gutem Zusammenleben einzurichten, ergab die *Notwendigkeit zum Messen.* Selbst primitive Bedürfnisse, wie z. B. die Ausscheidung von Bodenteilen für die Einrichtung von Wohnungen oder zur Nutzung des Bodens, die Ordnung des Grundeigentums, die Versorgung mit Wasser und die Einrichtung von Verkehrswegen, führten zum Messen und zur Entwicklung einer Vermessungstechnik. Diese Technik ist offenbar so alt wie die Vereinigung von Menschen zu Lebensgemeinschaften. Tatsächlich kann man zum Beispiel während der Blütezeit städtischer Ordnung, im alten Babylon, Ägypten, China, Rom, stets auch eine geregelte Feldmessung feststellen, mag sie wissenschaftlich noch so roh sein. Die Feldmesser waren im klassischen Staat meistens staatliche Organe. Ihre ordnende und treuhänderische Tätigkeit brachte sie da und dort zur Religion in Beziehung, was auch darin zum Ausdruck kommt, daß sie, zum Beispiel im alten Ägypten, zugleich Priester und Kalendermacher waren.

Mit dem Wachsen des Interesses am Boden und mit der Verbesserung der technischen Einrichtungen im Lebensraum sind auch die Vermessungstechnik und damit die Vermessungsinstrumente höher entwickelt worden. Der jeweilige Entwicklungsstand der Technik nach der Seite der Feinarbeit zeigt sich nirgends so deutlich wie bei der Herstellung der Beobachtungs- und Meßinstrumente, deren Grad der Vollkommenheit sich ja an ihren Ergebnissen scharf überprüfen läßt. Die Vermessungsinstrumente und ihre Einordnung in die Technik als Gegenstand kulturgeschichtlicher Untersuchungen und Erkenntnisse bieten sicherlich genügend Interesse, um in Entwicklungsreihen auch in einem Technischen Museum dargestellt zu werden, sofern dieses Museum im Dienste der Überwindung des Dualismus von Technik und Humanismus steht.

Zum Naheliegenden, der Einrichtung der Erdoberfläche zum guten Zusammenleben, gesellten sich die höheren Bedürfnisse nach *naturwissenschaftlichen Erkenntnissen.* Die Entwicklungsgeschichte der Mathematik, der Astronomie, der Nautik, der Geodäsie als Wissenschaft zur Bestimmung der Form und Größe des ganzen Erdkörpers oder großer

Teile davon, die Entdeckung der Erde mit der Ermittlung von Befunden und der Darstellung der Befunde auf Karten und Plänen, führt immer zur Beschäftigung mit dem Werkzeug: mit dem Vermessungsinstrument. Die geometrischen Wissenschaften sind aus praktischen Messungen erwachsen; darüber wird man sich nicht hinwegtäuschen wollen aus der Erscheinung, daß sie sich in allen Zeitepochen aus der praktischen Vermessungstechnik gelöst und ihre eigenen erkenntnistheoretischen Denkweisen entwickelt haben. In der alten und mittelalterlichen Geodäsie haben sich neben fortgeschrittenen Verfahren einfachste mathematische Betrachtungsweisen erhalten. Der Gebrauch selbst primitiver historischer Vermessungsinstrumente gibt uns heute psychologisch wertvolle Aufschlüsse über die Anfänge des quantitativen Denkens, insbesondere über die Entwicklung der Grundbegriffe, Länge, Kongruenz, Flächengröße, Maßzahl, Winkelfunktionen und anderen mehr. Der Rückblick auf die antiken Meßkünste zeigt den leitenden Grundsatz, daß das Maß eines Dinges dadurch bekannt wird, daß es mit einem andern Ding, das zu derselben Art gehört, verglichen und durch allgemeine Übereinstimmung als Einheit angenommen wird. Das Werkzeug zum Vergleichen sind die Meßgeräte. Die Verbesserung dieser Werkzeuge, die Erfindung neuer Meß- und Beobachtungsinstrumente, haben die Grundlagen für erweitertes und genaueres empirisches Wissen über die Natur geschaffen. Der Fortschritt im Verständnis der Natur und schließlich die mathematische Formulierung von Naturgesetzen haben den Weg für neue Anwendungen dieses Wissens in der Technik geöffnet. Als Beispiel seien die *Visiervorrichtungen* angeführt, mit denen sich schon *Archimedes,* der schöpferische Mathematiker, Physiker und Techniker des griechischen Altertums um das Jahr 250 v. Chr., eingehend beschäftigte. Trotz der frühen Erkenntnis der Schwierigkeiten mit den körperlichen Dioptern, wie wir sie heute etwa noch von den Visiereinrichtungen an den Handfeuerwaffen her kennen (Streuung der Sehstrahlen, geringe Sehweite, Akkommodationsschwierigkeiten), kam eine wesentliche Verbesserung erst nach einer über anderthalb Jahrtausende währenden Zeitspanne durch die *Erfindung des Fernrohrs* um das Jahr 1600 n. Chr. zustande. Erst das Fernrohr, in Verbindung mit der Verbesserung der Teilkreise, setzte die Astronomen in die Lage, die Bewegung der Sterne genauer zu messen, als es vorher möglich war. Damit wurden beträchtliche Fortschritte, unter anderem in der Himmelsmechanik, erzielt. Die bessere Kenntnis dieser mechanischen Gesetze wirkte in die Verbesserung mechanischer Werkzeuge, unter anderem für die Konstruktion energieliefernder Maschinen. Die neue Mechanik und ihre meßtechnische Erfassung führten zur Entwicklung der Infinitesimalrechnung (Newton, Leibniz), zur Begründung einer Theorie der Beobachtungsfehler (C. F. Gauss) und zur Entwicklung eines Algorithmus der Fehlerausgleichung. Das Fernrohr ist das Beispiel eines naturwissenschaftlichen und technischen Fortschritts, der von holländischen Glasschleifern und Brillenmachern ausging und von Galilei, Kepler, Newton, Leibniz und Gauss in den Dienst eines erkenntnistheoretischen Messens gestellt wurde. Das Beispiel erinnert an den *Kant*schen Leitsatz: «So

fängt denn alle menschliche Erkenntnis mit Anschaulichkeit an, geht von da zu Begriffen und endigt mit Ideen.»

«Messen in exaktem Sinne heißt Vergleichen von weniger bekannten Gegenständen mit völlig bekannten in möglichster Unmittelbarkeit nach Ort, Zeit und Sinneseindrücken» [1]. Die Meßkunst und -technik als *quantitatives naturwissenschaftliches Experiment* ist das erfolgversprechendste Arbeitsverfahren in den technischen Wissenschaften und in weiten Bereichen der Naturwissenschaften (Maxwell: «Der wichtigste Schritt in der Entwicklung einer jeden Wissenschaft ist das Messen von Größen.» [1]). Der Vermessungsfachmann wird aber nicht so vermessen sein wollen, in seiner Meßtechnik und in den Vermessungsinstrumenten die Quelle allen Fortschrittes zu sehen. Er wird auch den Blick offen halten für die ganz anderen Arbeitsverfahren und Denkmethoden, zum Beispiel diejenigen der Geisteswissenschaften. Es ist nur eine unglückliche, wenn auch nach Galilei Jahrhunderte dauernde Episode, wenn sich Philosophie und Naturwissenschaften immer mehr auseinandermanövrierten und heute noch Fachleute der Technik und Naturwissenschaften so wenig Verständnis aufbringen für die Erkenntnisse der Geisteswissenschaften wie geisteswissenschaftliche Fachleute für die naturwissenschaftlichen und technischen Denkkategorien und Erkenntnisse. Die schöpferischsten unter den modernen Physikern haben erkannt, daß es sich auch bei einer bewundernswerten Beherrschung der Materie letzten Endes doch auch um Probleme des Menschen handelt, und sie bemühen sich, die *Brücken zwischen Philosophie, Naturwissenschaft, Technik und Geisteswissenschaften* zu schlagen und auszubauen (zum Beispiel Born, Heisenberg, Meurers, Planck) [2]. Sie haben erkannt, daß mehr mitspielt als nur die Problematik der Arbeits- und Denkmethoden, als die unterschiedlichen Betrachtungsweisen und Erkenntniserfolge. Sie wissen wie wenige, daß von einer Gesellschaft, in der vom Geisteswissenschafter der Naturwissenschafter als Banause und der Geisteswissenschafter vom Naturwissenschafter als Lyriker oder gar als Schaumschläger gesehen wird, nichts Gutes zu erwarten ist. Sie suchen nicht die utopische Fiktion einer Einheit der Wissenschaften; sie stehen aber unter dem ethischen Zwang der Mitberücksichtigung der andern Erkenntnisse und des Verständnisses der andern Sprache auf gemeinsame Sachbegriffe.

Allgemeine Entwicklungslinien

Bevor nun von einzelnen Instrumenten die Rede ist, soll versucht werden, an den Vermessungsinstrumenten allgemeine Entwicklungslinien zu sehen [3].

Im *Altertum,* besonders im griechischen, anerkannte man als Zweck der Wissenschaft lediglich die reine Erkenntnis. Für den Philosophen *Platon* (427–347 v. Chr.) war die Mathematik im wesentlichen nur die Einführung in die Philosophie. Die Anwendungen, darunter die Geodäsie, zählten zu den «Künsten». Auch für andere griechische Wissenschafter beruht die Bedeutung der Geometrie nicht auf ihrem praktischen Nutzen,

sondern darauf, daß sie «ewige und unwandelbare Gegenstände untersucht und strebt, die Seele zur Wahrheit zu erheben». *Aristoteles* (384 bis 322 v. Chr.) faßt die Anwendungen der Geometrie im Begriff der «Geodäsie» zusammen und stellt ihn in schroffen Gegensatz zu dem der Geometrie. Diese geht auf das Unsichtbare, Geistige, jene auf das Sinnliche, Greifbare. Auch *Ptolemäus* (200 n. Chr.), *Gemius, Anatolius* stellen die Geodäsie tiefer als die Geometrie, schon darum, weil in ihr dem rein Geometrischen durch die Rechnung ein wesensfremder Bestandteil beigemengt ist. Daher vermeidet auch *Euklid* (300 v. Chr.) in seinen «Elementen» jegliche Anleitung zu Berechnungen.

Diesem stolzen Vorrang der reinen Mathematik, deren Wachsen aus praktischen geometrischen Messungen aber nachgewiesen ist, schreiben es die Historiker zu, daß uns außer den Arbeiten des griechischen Mathematikers und Naturforschers *Heron von Alexandria* (um 150 v. Chr.) von seiten der Griechen keine schriftlichen Darstellungen aus dem Gebiete der Geodäsie erhalten sind. Und diese bei Heron sich hervorwagende Betonung des Praktischen gegenüber dem Spekulativen des hellenischen Geistes wird in hohem Grade als eine Äußerung ägyptischen Geistes erklärt, der in Herons Wirkungskreis Alexandria seinen Einfluß ausübte. Die Feldmeßkunst der Griechen stand sicher schon vor Heron auf beträchtlicher Höhe, aber zuverlässige Kunde vom Stand der griechischen Vermessungs- und Instrumententechnik ist erst mit dem großartigen Werk «Dioptra» von Heron überliefert.

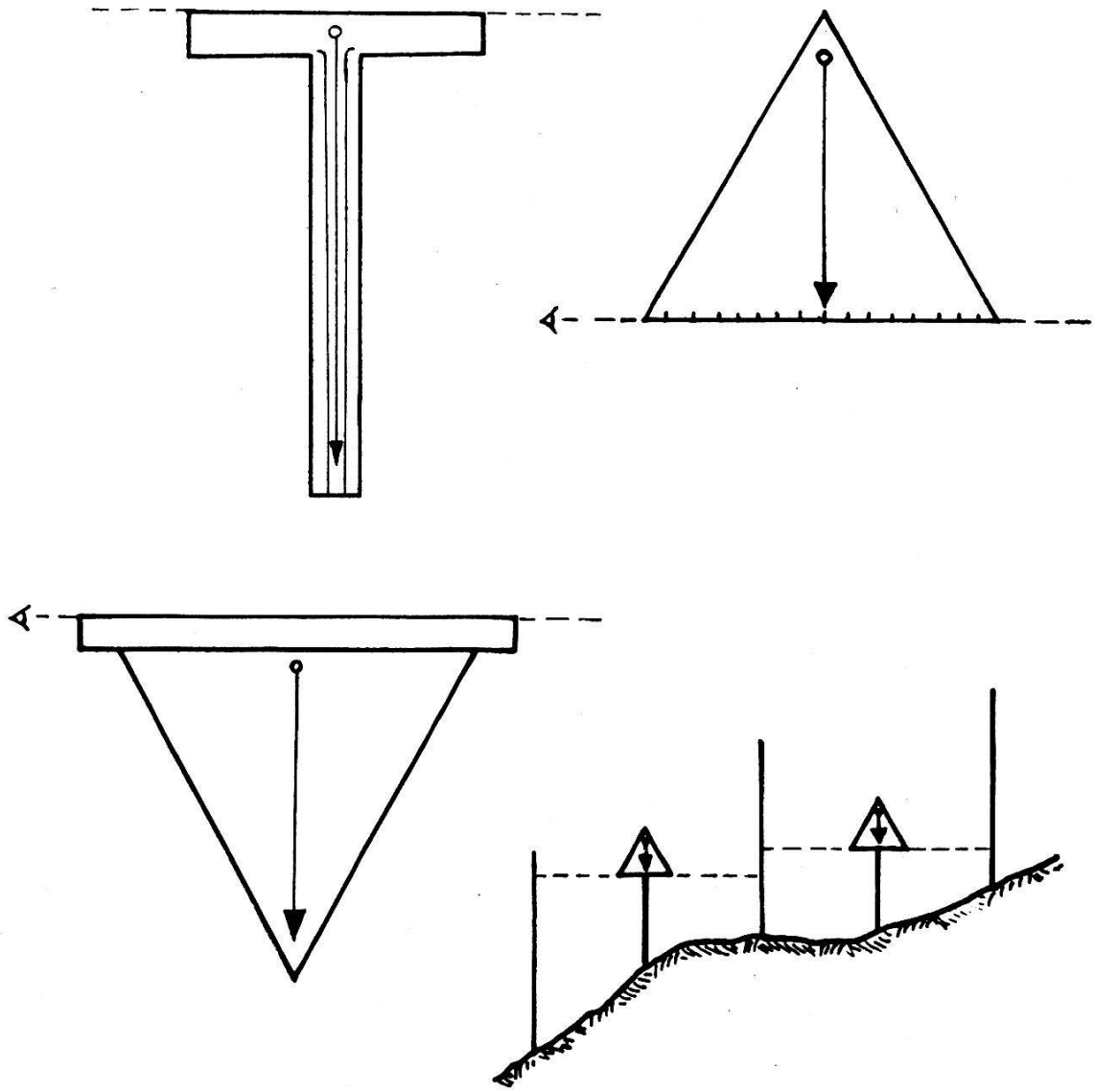
Das Auftreten ähnlicher Instrumente und ähnlicher mathematischer Betrachtungen in verschiedenen Völkern und in verschiedenen Epochen spricht dafür, daß mit den Wissenschaften auch die Vermessungskünste der Chinesen, Inder, Araber und Griechen um das Jahr 800 in Bagdad aufeinandertrafen und von dort aus zunächst von den Römern, vom Jahre 1000 n. Chr. an von den Arabern, über Spanien nach europäischen Ländern verbreitet wurden. Die einzelnen Völker zeigen aber immer charakteristische Züge, die mit der Verschiedenheit der Anwendungsgebiete, dem Stand der Mathematik und der Technik und mit der geistigen und staatlich-religiösen Art zusammenhängen. Während die *griechischen Gelehrten,* welche die Geodäsie als freie «Kunst» betrieben, auch die einfachsten Instrumente mit geistiger Überlegenheit und mathematischer Logik benützten, standen die staatlich organisierten *römischen Feldmesser* auf tieferer Stufe. Hier fand unter einfachsten mathematischen Regeln nur Beachtung, was für die Praxis unbedingt erforderlich war. Wir haben heute Verständnis dafür, hören wir doch gelegentlich auch von unseren amerikanischen Kollegen: «Say me not why, say me how!» Die römischen Agrimensoren schöpften die Lehren der Griechen nicht aus, und die römischen Instrumente sind zum großen Teil einfacher und roher als die griechischen. Die *Araber* pflegten die Mathematik und die Geodäsie gleichermaßen sorgfältig, so daß den Muslimen auch im Bau von Instrumenten der praktischen Geometrie mancher Fortschritt zu verdanken ist. Das *christliche Abendland* ist zunächst auf der Kindheitsstufe einer Kultur, in der eine geometrische Landverteilung noch nicht brennend war und

von dort her Impulse für eine Instrumentenentwicklung ausblieben. Die geodätischen Kapitel der *Geometrie Gerberts* (Erzbischof von Reims, seit 999 Papst Sylvester II.), einer um das Jahr 1000 entstandenen Schrift, enthalten nur noch Reste der untergegangenen römischen Kultur, von den höherstehenden griechischen und arabischen Vermessungskulturen ganz zu schweigen. Bei den Feldmessern, Bau- und Kriegsleuten mangelte das Verständnis für Methoden und Instrumente; fehlerhafte Anwendungen sind nicht selten. Von der Mathematik bleibt die Geometrie im Hintertreffen, und damit kam auch die praktische Geometrie, das Vermessungswesen, bis zum 16. Jahrhundert in die Verkümmerung. Erst die Berührung mit muslimischer und griechischer Wissenschaft, die allgemeine geistige Umstellung, die mit dem Absterben der Scholastik und mit den Anfängen der induktiven, herleitenden Forschung gekennzeichnet ist, das neue Weltbild, das der Mensch aus Beobachtung und Erfahrung aufzubauen begann, die Entstehung der Universitäten als neue Pflegestätten der Wissenschaft, entwickelte auch eine selbständige Beschäftigung mit der praktischen Geometrie. Seit der Erfindung des Fernrohres 1600 n. Chr., die übrigens nur 10 Jahre auf die Erfindung des Mikroskopes folgte, erfuhren die Vermessungsinstrumente parallel mit den astronomischen und nautischen Instrumenten eine stete Höherentwicklung. Die Fortschritte in der Physik und in der mechanischen und optischen Herstellungstechnik nach der Seite der Feinarbeit, zum Beispiel in der Technik der Herstellung der besten Teilkreise oder von Laufachsen mit Toleranzen von der Größe eines tausendstel Millimeters, zeigen sich besonders deutlich an der Vervollkommnung der Beobachtungs- und Meßinstrumente. Mit der umwälzenden Verbesserung der Vermessungsinstrumente in den vergangenen 40 Jahren muß der Name Heinrich Wild (1877–1951) genannt werden, der das Aneinanderfügen von Verbesserungen verließ, von Grund auf einfachere Lösungen suchte und die Möglichkeiten der modernen Fernrohr-, Mikroskop- und Prismenoptik, die Bearbeitung härtester Metalle für die entscheidenden mechanischen Teile für den Bau möglichst bequem zu handhabender Vermessungsinstrumente ausgezeichneter Präzision in erfindungsreichen Neuanordnungen ausgenützt hat. Die Bedeutung Wilds in der Herstellung von Vermessungsinstrumenten ist dadurch gekennzeichnet, daß die Instrumentenfabriken aller Kulturstaaten die Wildschen Überlegungen oder gar seine Konstruktionen übernommen haben.

Nach diesen allgemein-entwicklungsgeschichtlichen Hinweisen wenden wir uns endlich einzelnen Instrumenten zu, wobei in den Illustrationen aus der Überfülle von Instrumentenbeispielen einer internationalen Entwicklung nur wenige uns naheliegende schweizerische Beispiele berücksichtigt werden können.

I. Instrumente zum Nivellieren

Beim Nivellieren handelt es sich darum, eine Gerade oder eine Ebene in horizontale Lage zu bringen, ein Stück Erdoberfläche in eine horizon-



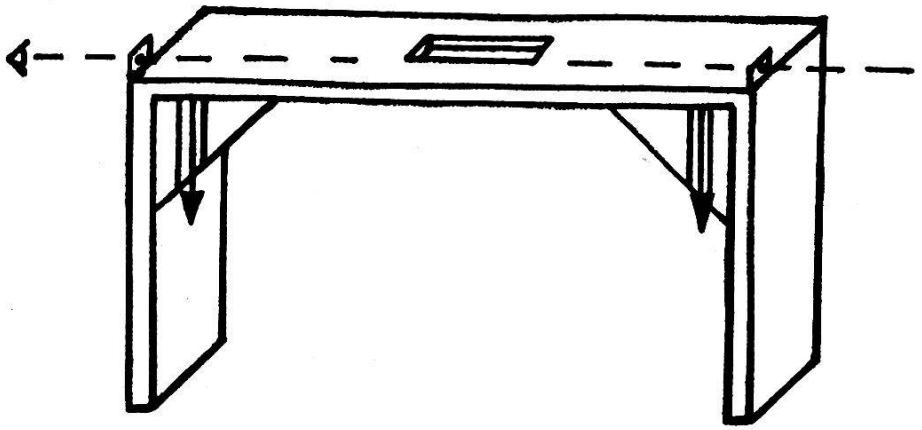
Nivelliereinrichtungen im Altertum: die horizontale Absehgerade ist über den rechten Winkel vom Lot gesteuert

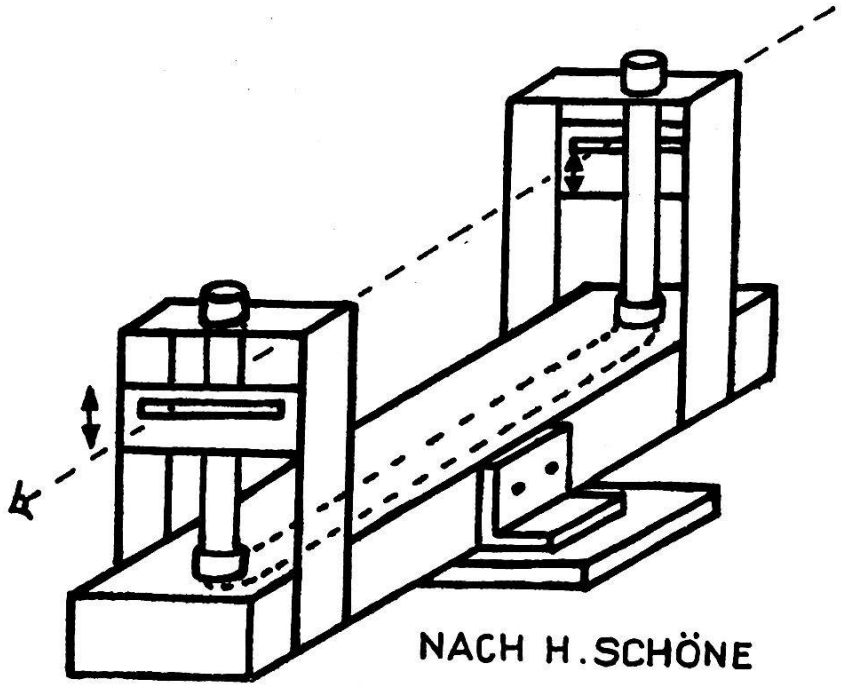
tale Ebene zu verwandeln, die Höhe eines Geländepunktes über oder unter dem eigenen Standort festzustellen und durch Fortsetzung des Verfahrens Höhenunterschiede über längere Strecken auf der Erdoberfläche zu messen oder abzustecken. Aufgaben dieser Art hat das praktische Leben von jeher in unabsehbarer Anzahl gestellt: die Errichtung von senkrechten und waagrechten Elementen beim Bauen, das Bedürfnis, Wasser auf künstlichem Wege zu Grundstücken und Wohnungen zu leiten, später das durchgehende Nivellieren für den Bau von Bewässerungs-, Vorflut- und Schiffahrtskanälen, von Verkehrswegen, die eine bestimmte Steigung nicht überschreiten dürfen, das durchgehende Nivellieren für topographische und kartographische Zwecke, in der Astronomie und Nautik die künstlich-instrumentelle Absteckung des Horizontes für die Messung von Höhenwinkeln nach Gestirnen, die Horizontierung der Grundplatten, Grundlineale und Absehlinien der hiefür dienenden Geräte, sind

Beispiele dafür. Die *ältesten Spuren des Nivellierens* sind in den großen wasserarmen Ebenen *Ägyptens und Mesopotamiens* festgestellt worden, da hier das geringe Gefälle des Bodens bei der Anlage der Wassertransportkanäle zu genauem Messen zwang. Es galt die Regel: auf 1000 Einheiten Länge 5 Einheiten Gefälle.

Die horizontale Fläche ist durch den ruhenden Wasserspiegel und, rechtwinklig dazu, die senkrechte Richtung durch den fallenden Stein oder das Lot bestimmt. Die ältesten Nivelliergeräte in Mesopotamien, Ägypten, China, Indien, Griechenland waren auf *das Lot* ausgerichtet, wahrscheinlich aus der Schwierigkeit heraus, die ruhende Wasserfläche am Instrument anzubringen und auf eine Absehlinie parallel dazu zu übertragen. *Der rechte Winkel,* der zur Übertragung der Vertikalen auf die horizontale Absehlinie (Lineal, Diopter) konstruiert werden mußte, folgte aus der Mittellinie des gleichschenkligen Dreieckes oder aus dem pythagoreischen Dreieck vom Seitenverhältnis 3 : 4 : 5, das aus praktischer Erfahrung schon lange vor *Pythagoras* (etwa 450 v. Chr.) bekannt war. Mit solchen lotgesteuerten Nivelliereinrichtungen, die in den mannigfachsten Formen aus Grabsteinaufschriften und anderen Aufzeichnungen bekannt sind und auch schon zum fortgesetzten Nivellieren verwendet wurden, sind ganz erstaunliche Genauigkeiten erreicht worden. Die obere Kante des Grundpflasters der Pyramide bei Giseh (etwa 2600 v. Chr.) zeigt nach dem Archäologen L. Borchardt den größten Höhenunterschied von 2 cm auf 900 m Länge, somit eine Nivelliergenauigkeit von 0,02 ‰. Als Durchschnittsergebnis wird aber eher die an andern ägyptischen Bauten festgestellte Genauigkeit von 10 cm auf 200 m anzusehen sein. Demgegenüber weiß man aber auch von Mißerfolgen, insbesondere bei Wasserleitungen durch Tunnels. So scheint man mit den beiden Vortriebstollen des 1 km langen Wasserleitungstunnels durch den Berg Castro auf Samos in der Höhe zunächst um Meter nicht zusammengetroffen zu sein. Berühmte Beispiele des genauen Nivellierens mit einfachsten Lot-Nivelliergeräten sind der Kanal zwischen dem Nil und dem Roten Meer, der nach 600jähriger Bauzeit um 250 v. Chr. in Gebrauch genommen werden konnte, oder der berühmteste alte Schiffahrtskanal durch den Berg Athos, den Xerxes im 5. Jahrhundert v. Chr. anlegte. Allgemein gilt, daß in den Überlieferungen über wichtige Tiefbauten viel weniger von bautechnischen als von vermessungstechnischen Schwierigkeiten die Rede ist. Heute blühen eindrucksvolle Leistungen des Vermessungsingenieurs an großen Bauwerken neben den bautechnischen Leistungen gerne im Verborgenen.

Seiner Zeit weit voraus war *Heron von Alexandria* (um 150 v. Chr.) mit seiner «*Dioptra*», die bereits eine Kanalwasserwaage aus einem Bronzerohr und zwei aufgesetzten Glasröhrchen zeigt. Zwei vertikal verschiebbare Bronzeplättchen mit horizontalen Diopterschlitzen konnten zur Festlegung der horizontalen Absehlinie auf die Höhen der beiden kommunizierenden Wasserspiegel eingestellt werden. Heron hat umfangreiche Aufzeichnungen über seine Instrumente, Vermessungsverfahren und Aufgabenlösungen hinterlassen, die er gesamthaft mit «*Dioptra*» be-



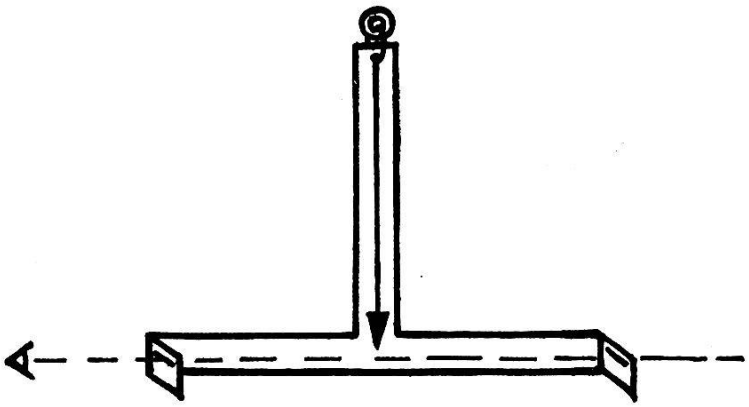


Erste Nivelliergeräte mit Flüssigkeitshorizont:
oben: Dioptra von Heron (Kanalwaage), 150 v. Chr.
unten: Chorobates von Vitruv (Wassercuvette im Richtscheit), 15 v. Chr.

titelt hat. Von ihm und von vielen seinen Nachfahren wird jede Meßvorrichtung mit einer verkörperten Absehlinie als «Dioptra» bezeichnet.

Wesentlich einfacher als die Dioptra Herons ist die «*Chorobates*» von *Vitruv* (15 v. Chr.). Das Gerät zeigt in den beiden Stützen je ein Lot und auf dem verbindenden horizontalen Richtscheit, auf dem die Diopter-einrichtung aufgesetzt war, eine *Wassercuvette.* Das Instrument wurde für das stufenweise Nivellieren längerer Strecken, die mit dem Instrument gleichsam «abgeschritten» wurden, verwendet. Der Name weist darauf hin (choro = Grund, Boden, bates = messen, gehen).

Die kurze Erwähnung von Nivellierinstrumenten bei den römischen Feldmessern in einer Vermessungsbeschreibung des Agrimensors *Columella* läßt gegenüber den Griechen keine Fortschritte erkennen und läßt auch die Frage offen, ob Senkel- oder Wasserwaagen verwendet wurden. Die Vermutung geht auf Senkelwaagen, die auch im christlichen Mittelalter noch das Feld beherrschten, wie zum Beispiel die Dioptra von *Janus Dubravius* (1545) zeigt. Bei völliger Gewichtssymmetrie des aufgehängten Instrumentes liegt die mit einem Diopter gegebene Ziellinie waagrecht. Zur Prüfung und Justierung des Instrumentes dient ein Lot am senkrechten Arm des Instrumentes.

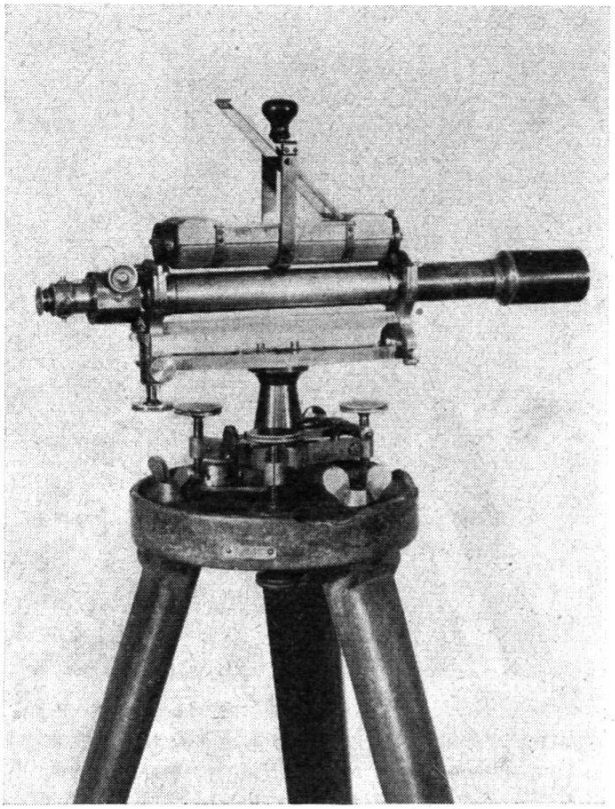


Mittelalterliche Nivelliergeräte: Dioptra von Janus Dubravius (1545) als Typ verschiedener, auf dem Prinzip der Waage beruhender Geräte (einwägen!)

Nach der Einführung des Fernrohres erhielten die Nivellierinstrumente die aus dem vergangenen Jahrhundert bekannten Bauformen: ein in ein horizontales Y-Lager gelegtes Fernrohr mit Okularfadenkreuz, überlagert mit einer Röhrenlibelle, deren Achse parallel zur Fernrohrachse justiert wurde. Diese für die Bauvermessung genügende Anordnung wurde im Laufe der Zeit für die Zwecke der Landesvermessung weiter ausgebildet mit einer Mikrometerschraube für die Feinhorizontierung der immer empfindlicher ausgebildeten Nivellierlibellen und mit vergrößerungsstärkeren Fernröhren. Weitere jüngere Besonderheiten können nur den an der Justierung der Instrumente und an der Elimination restlicher Instrumentenfehler interessierten Spezialisten fesseln. Das im Bild gezeigte Instrument wurde von *Kern in Aarau* für die *Schweizerische Geodätische Kommission* gebaut und 1865 für das *erste Präzisionsnivellement der Schweiz* in den Dienst genommen. Die klassischen Instrumente wurden noch einzeln angefertigt, während heute unter einem enormen Instrumentenverbrauch einer zivilisierten Welt die Instrumentenfabriken selbst Hochleistungsinstrumente in Serien von der Größenordnung 500 herstellen.

Eine bemerkenswerte Höherentwicklung brachte das von *Carl Zeiß, Jena,* durch ihren Oberingenieur *Heinrich Wild* konstruierte Präzisionsnivellierinstrument III/1912. Das Auszugokular am Fernrohr ist verschwunden; das Fernrohr von gleichbleibender Länge wird mit einer

Innenfokussierlinse bedient. Die Ablesung an den Nivellierlatten (Miren), deren Teilungen auf Invarbänder aufgebracht sind, ist mit Hilfe eines optischen Mikrometers – einer vor dem Fernrohrobjektiv kippbar angebrachten Planparallelglasplatte – verfeinert. Entsprechend ist die Libelleneinstellung und damit die Horizontierung der Fernrohrachse verfeinert: eine Prismenanordnung über der Libelle leitet dem Beobachter



Präzisions-Nivellierinstrument der Schweizerischen Geodätischen Kommission von Kern-Aarau (1865)

die Abbildung der beiden Blasenenden so gegenübergestellt zu, daß er die Libelle durch Koinzidenzeinstellung der Blasenenden zum fehlerlosen Einspielen bringen kann. Die überraschenden Vorteile des Instrumentes haben es in den Landesvermessungen aller Welt rasch eingeführt. Auch die neueren und größeren Teile des von 1903 bis 1927 von der Landestopographie ausgeführten *Landesnivellementes* wurden mit Instrumenten dieses Typs ausgeführt, dessen meßtechnische Qualität mit dem zufälligen mittleren Fehler von $\pm 0{,}5$ mm pro Kilometer gekennzeichnet ist. Diese hohen Genauigkeitsleistungen werden heute mit Nivellierinstrumenten I. Ordnung verschiedener Fabrikanten, auch der führenden Instrumente von Kern-Aarau und Wild-Heerbrugg, eingehalten.

Braucht man praktisch solch *hohe Genauigkeiten?* Denkt man an die Fehlerfortpflanzung über Hunderte von Kilometern in Landesnetzen oder an Deformationsmessungen an Brücken, Staumauern und Tunnelröhren zur Kontrolle des statischen Verhaltens oder an die exorbitanten

Genauigkeitsanforderungen bei der Aufstellung großer Synchrotronmaschinen zur Untersuchung von Atomkernspaltungsproblemen, dann muß man bedauern, instrumentell nicht noch höhere Genauigkeiten zu erreichen.

Die neueste Entwicklung zeigt die automatische Feineinstellung der Absehlinie im Fernrohr in den Horizont, so, daß der Beobachter nicht mehr einstellen, sondern nur noch ablesen muß. Verschiedene Instrumen-

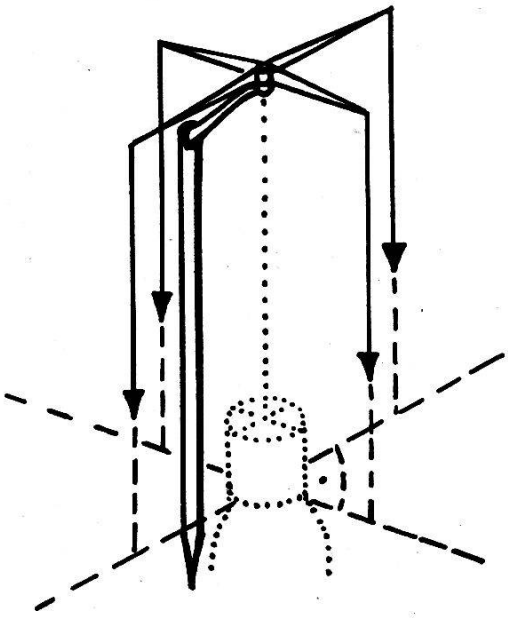
Modernes automatisches Nivellierinstrument Kern GK 1–A: die Fernrohrabsehgerade wird durch ein als Lot steuernd wirkendes Spiegelprismensystem in den Horizont gebracht. Entsprechendes Instrument von Wild-Heerbrugg NA 2

tenfirmen, unter diesen auch Kern-Aarau und Wild-Heerbrugg, haben mit großem Erfolg ihre Nivellierinstrumente II. Ordnung mit *automatisch wirkenden Horizontiereinrichtungen* ausgerüstet. Der Fernrohrstrahlengang wird mit optischen Prismen über eine bewegliche Spiegelebene geführt, die durch ein Lot gesteuert wird. Das Lot als Steuerungsorgan für die Horizonteinstellung, das die Alten vor 3000 Jahren an ihren einfachen Nivelliergeräten benützten und das dann 500 Jahre lang von der Röhrenlibelle abgelöst war, hat somit in den modernsten optischen Horizontierautomaten eine Auferstehung erfahren.

II. Abtragen rechter Winkel und Distanzmessung

Ein primitives und altes vermessungstechnisches Bedürfnis waren Vorrichtungen zum Abtragen und *Abstecken rechter Winkel.* Lange bevor die Alten beliebige Winkel messen konnten, wurde der rechte Winkel zur Absteckung von Bauwerken, Grundstücken, zur Absteckung der Höhe

von Dreiecken für die Flächenberechnung, für die Festlegung der Ost–West-Linie als Senkrechte auf die aus Sternbeobachtungen ermittelte Nord–Süd-Linie; schließlich für die Absteckung rechtwinkliger Koordinaten für die Planaufnahme benützt. Ursprünglich, zum Beispiel von den Ägyptern, wurden die rechten Winkel mit *Seildreiecken* abgesteckt, etwa mit dem pythagoreischen Dreieck oder nach dem Symmetrieprinzip am gleichschenkligen Dreieck: die Höhe als senkrecht zur Grundlinie



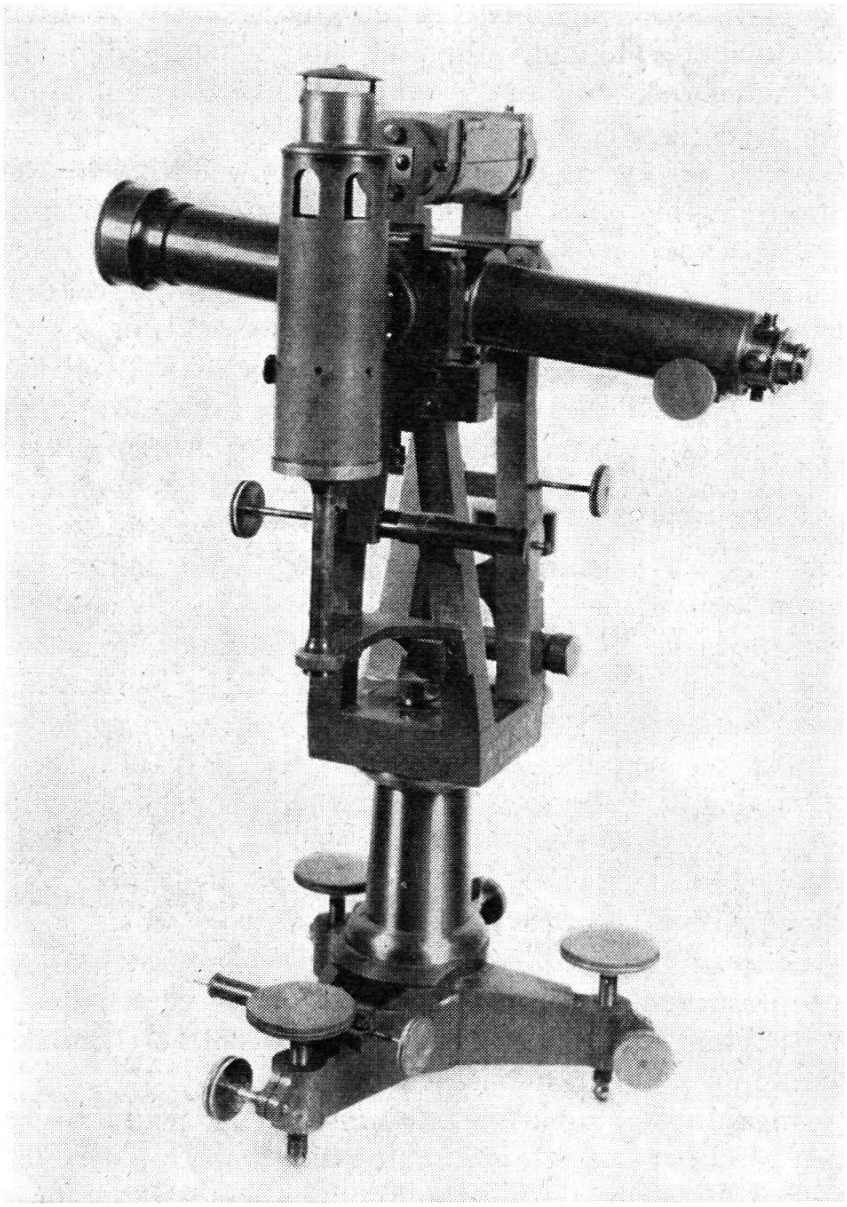
Römische «Groma» (Feldmesserkreuz), das verbreitetste Gerät der Agrimensoren für die Absteckung rechtwinklig aufeinanderstehender Richtungen

stehende Symmetrieachse. Diese Verfahren werden ja auch heute noch gerne von den Gärtnern ausgeübt. Die rechtwinkligen Grundrißlinien der Pyramide von Giseh von 800 m Länge, die nach allen Rekonstruktionen mit großen Seildreiecken abgesteckt wurden, weichen innerhalb der Grenzen von wenigen Winkelsekunden, in einem Fall bis 2 ½ Minuten, vom rechten Winkel ab. Später, vorwiegend von Griechen, wurden *Winkelhaken,* große rechtwinklige Holzdreiecke, benützt, die entweder direkt auf den Boden gelegt oder mit Absehvorrichtungen an den beiden Katheten ausgerüstet waren. Daraus entwickelte sich das *Feldmesserkreuz,* das in der Form der in Pompeji ausgegrabenen «*Groma*» mit vier an den Spitzen eines vierzackigen Sternes aufgehängten Loten das Hauptinstrument der Agrimensoren im weiten römischen Reich war. Die gleiche Einrichtung ist unter dem Namen «Stern» schon von *Heron* in seiner «Dioptra» beschrieben mit dem vielsagenden Hinweis, das Gerät sei nur für Rechtwinkelaufgaben beschränkt brauchbar; für universellere Aufgaben benötige man die Dioptra. Den römischen Vermessungsbeamten genügte aber die Groma, denn die rechtwinklige Anlage, unter Benützung der Himmelsrichtungen als Achsen, an Tempeln, militärischen Lagern, Bewirtschaf-

tungsfeldern, politischen Grenzen, Siedelungskolonien und Straßen war allgemein und viel strenger durchgeführt als bei den Ägyptern und Griechen. Es spielten eben religiöse Glaubenssätze in die Vermessungs- und Absteckkunst hinein. Daß man auch ohne Religion primitiv-rechtwinklig auf die Himmelsrichtungen abstecken kann, zeigen die Stadtbilder und politischen und rechtlichen Grenzen aus der Pionierzeit in der Neuen Welt. Professor Dr. Grosjean in Bern hat gezeigt, daß man in bestimmten Zonen des alten römischen Reiches, in der Schweiz zum Beispiel im westlichen Mittelland, noch aus heutigen Landeskarten und Fliegerbildern Elemente der *römischen Kulturlandschaft* in ihrem rechtwinkligen Aufbau erkennen und untersuchen kann [4]. Auch Dr. Hans Stohler in Basel zeigt Spuren römischer Flurvermessung in der Schweiz und erinnert an eine 80 km lange gerade Strecke des obergermanisch-rätischen Limes, der nach einer vermessungstechnischen Untersuchung des unvergessenen Geodäsieprofessors E. Hammer in Stuttgart auf 30 km Distanz mit einem mittleren Richtungsfehler von $\pm 1{,}9$ m behaftet ist [5]. Die Römer mögen als schlechte Mathematiker gelten; sie verfügten aber sicher über berufstüchtige Agrimensoren.

Die Absteckung langer Geraden spielt im *Tunnelbau* eine Rolle, und wir verfügen noch über eine Serie der von Kern-Aarau in den Jahren 1850 bis 1870 sehr stabil und genau gearbeiteten *Alignements-Instrumente* – wohl fälschlicherweise allgemein als Passageinstrumente bezeichnet –, die für die Absteckung des Mont-Cenis-Tunnels (1857), des Gotthard- (1872) und des Simplon-Tunnels (1899) benützt wurden. Das Fernrohr konnte vom Rückblick in den Vorblick durchgeschlagen werden, und damit dies möglichst genau in einer Vertikalebene geschah, ist eine sehr empfindliche Libelle auf die Kippachse aufgesetzt. Den Verhältnissen im Tunnel angemessen, ist das Fernrohr mit Fadenkreuzbeleuchtung ausgerüstet, und die Miren (Zielmarken) sind als Leuchtschlitze (Karbidlampen) ausgebildet, deren Querverschiebungen mit einer Feinbewegungsschraube eingestellt und an einem Nonienmaßstab abgelesen werden konnten. Die Durchschlagsrichtungsfehler waren beim Gotthard (15 km) 33 cm, beim Simplon (20 km) 20 cm, beim Lötschberg (14 km), bei dem bekanntlich infolge eines tragischen Wassereinbruches drei Kurven eingeschaltet werden mußten, 26 cm. In diesen Durchschlagsfehlern sind die Fehler der oberirdischen Absteckung durch Triangulation und die in Gebirgsmassiven beträchtlich auftretenden Lotabweichungen, soweit sie nicht erfaßt und korrigiert werden konnten, inbegriffen.

Die Absteckung rechter Winkel führt auf die in der Kulturgeschichte nie vergessene *Grundstückvermessung der alten Ägypter*. Die Steuererhebung und die alljährliche Überflutung des nährstoffreichsten Bodens durch den Nil zwangen die ägyptischen Priester, die übrigens neben Geometern auch Astronomen, Kalendermacher und Baumeister und dazu noch viel kenntnisreichere und gewandtere Rechner als die späteren Römer waren, die Grundstücke fleißig zu vermessen und die Grenzen und übrigen Rechte am Boden fast alljährlich wieder zu rekonstruieren. Man weiß aus Papyrusfunden, daß sie die Liegenschaften, soweit diese nicht streng



Alignements-Instrument von Kern-Aarau (1850), wie es in Verbindung mit Fadenkreuzbeleuchtung, Leuchtmiren und Zwangszentrierung für die Tunnelabsteckung benützt wurde

rechtwinklige Form hatten, in Dreiecke aufteilten, die Dreieckshöhen mit dem rechten Winkel absteckten und die Längen sowohl der Dreiecksseiten wie der Höhen maßen. Die Flächen der Dreiecke wurden aus Grundlinie und Höhe oder aus den drei Seiten berechnet. Die vom Griechen Heron, der ja in Alexandria lebte und wirkte, in seiner «Dioptra» publizierte Flächenformel, die uns als Heronsche Formel bekannt ist, stammt aus alter ägyptischer Praxis. Für die Längenmessung wurden Seile benützt, an denen von Elle zu Elle Knöpfe angebracht waren. Es sind Anleitungen überliefert, wie und mit was die Seile einzuschmieren seien, damit ihre Länge «nicht» ändere. Das scheint alles sehr roh und ungenau zu sein, aber die Augen können uns heute noch aufgehen über die Ge-

nauigkeit und Qualität muslimischer Handwerkskunst, wenn wir etwa in einer arabischen Medina flanieren und die Arbeit in den Handwerkerbutiken, an denen anscheinend die Jahrhunderte zeit- und spurlos vorbeigezogen sind, studieren.

Die *Längenmessung* ist das Kernstück der geodätischen Meßtechnik und veranlaßt zu einem Seitenblick auf *Maße und Maßsysteme.* Zwischen dem uralten Abschreiten einer Strecke und der in den letzten Jahren aufgekommenen Messung nach Lichtwellen oder elektromagnetischen Wellen liegt eine eindrucksvolle physikalische Entwicklung, die Professor Schwidefsky in einer auch für den Fachmann bemerkenswerten Art in 17 Entwicklungsstufen dargestellt hat [6]. Messen heißt Vergleichen mit Bekanntem, und es ist verständlich, daß die Alten menschliche Körpermaße als Maßeinheiten verwendeten: die Elle, die Länge vom Ellbogen bis zur Spitze des ausgestreckten Fingers, die Handbreite als einen Siebentel der Elle, die Fingerbreite als einen Viertel der Handbreite, bei den Griechen und Römern bevorzugt der Fuß als Länge eines Männerfußes. Handel und Marktwesen zeigten die Schwierigkeiten individueller Maße, die behoben wurden durch religiöse oder staatliche Verordnung von Urmaßen, etwa die Elle des Herrschers, die Übertragung dieser Länge auf einen Stab und die Kopie und Verbreitung der Urmaßstäbe. Der Meter als vierzigmillionster Teil eines Erdmeridianes – er weicht übrigens um 1,44tausendstel Millimeter von der definierten Größe ab – wurde erst im Jahre 1875 durch internationale Konvention eingeführt, was die traditionsverhaftete angelsächsische Welt bekanntlich nicht hindert, noch heute mit Fuß und Zoll zu messen und zu rechnen. Jedenfalls müssen die Instrumentenfabriken ihre mit Längenteilungen versehenen Geräte sowohl im metrischen wie im englischen Maßsystem bereithalten, wenn sie als Weltfirma alle Kunden befriedigen wollen.

Die vermessungstechnischen *Längenwerkzeuge* waren bis vor wenigen Jahrzehnten geteilte Holzlatten, im Altertum Seile, im Mittelalter Metallketten, in der Neuzeit geeichte Stahlmeßbänder. Für genaueste Längenmessungen, zum Beispiel für Tunnellängen, Deformationsmessungen an Bauwerken, *Basismessungen für Triangulationen,* werden seit der Erfindung des Invars, der Metall-Legierung mit besonders niedriger Wärmeausdehnungszahl, durch den Neuenburger Physiker und Meteorologen *Guillaume* (1861–1938) *Invardrähte* verwendet. Die meteorologischen Einflüsse, insbesondere die Temperatureinflüsse auf die Maßhaltigkeit des Meßmittels, sind damit stark reduziert. In der Schweiz wurde im Jahre 1959 in einer deutsch-österreichisch-schweizerischen Gemeinschaftsarbeit eine neue Basis von 7,2 km Länge bei Heerbrugg im sanktgallischen Rheintal mit Invardrähten gemessen und zur Kontrolle des Maßstabes der Triangulationen der drei beteiligten Länder mit einem Übertragungs- und Vergrößerungsnetz auf die nächstliegenden Dreiecksseiten I. Ordnung übertragen. Die Genauigkeit der Invardrahtmessung liegt bei einem mittleren Fehler von $\pm 0{,}5$ mm auf 1 km Meßstrecke.

Die direkte Distanzmessung hat ein außerordentlich aussichtsreiches neues Meßmittel erhalten durch die *elektronischen Distanzmeßgeräte* (Tel-

«Distomat DI 50» der Firma Wild-Heerbrugg: Elektronisches Distanzmeßgerät für Meßbereiche von 100 m bis 50 km, mit dem über die Laufzeit und damit über den Laufweg elektromagnetischer Wellen Distanzen gemessen werden

lurometer, Geodimeter, Distomat). Der von der Firma Wild-Heerbrugg in Verbindung mit dem Albiswerk Zürich entwickelte «*Distomat DI 50*» mißt die Laufzeit und damit den Laufweg elektromagnetischer Wellen. Es wird je ein Gerät auf den beiden Endpunkten der zu messenden Strecke, die eine Länge von 100 m bis 50 km haben kann, aufgestellt, und beide Geräte können abwechslungsweise die Rolle des Senders und Empfängers spielen. Eine Distanzmessung dauert, nachdem die Verbindung hergestellt ist, um die 30 Sekunden, Wiederholungen 10 Sekunden. Der Meßfehler auf 50 km Distanz liegt bei 5 cm (mittlerer Fehler der Distanzmessung); er kann bei ungenügender Bestimmung der atmosphärischen Daten (Brechungsindex) oder unter verfälschenden Einflüssen infolge Reflexionen an Boden- oder Wasserflächen bis 50 cm erreichen. Die elektronische Distanzmessung wird Änderungen in den methodischen Anordnungen in Vermessungen über größere Räume bringen.

Nach der Abschweifung in die Gebiete der direkten Distanzmessung und der Maßsysteme ist noch auf die späteren Instrumente zur Abstekkung rechter Winkel hinzuweisen. Die *Feldmesserkreuze* des späteren Mit-

telalters zeigen anstelle der zwei Paar Lote der römischen Groma zwei Diopter (Spalt und Faden), die an den Enden eines Metallkreuzes oder am Mantel einer Trommel angebracht sind und deren Absehrichtungen senkrecht aufeinander stehen. Im vergangenen Jahrhundert waren *Winkeltrommeln* üblich, die mit Visiereinrichtungen unter verschiedenen Horizontalrichtungen ausgerüstet sind und oft auch einen Horizontalkreis und eine drehbare Trommel trugen, damit Horizontalwinkel mit beschränkter Genauigkeit gemessen oder abgesteckt werden konnten. Neuere Rechtwinkelabsteckgeräte entstanden als *Winkelspiegel* und mit dem Aufkommen der Prismenoptik als *Winkelprisma.* Bei diesen Instrumenten sieht der Beobachter einen Fluchtstab direkt, einen zweiten, in rechtwinkliger Richtung zum ersten stehenden, als Spiegelbild an einer um 90° reflektierenden Spiegelebene. Die Koinzidenz des direkten mit dem reflektierten Fluchtstabbild zeigt die Rechtwinkligkeit der beiden Absehlinien an. Der allgemeine Gebrauch der Winkelspiegel und Winkelprismen war vorwiegend an das Planaufnahmeverfahren vermittels Abszissenachsen und rechtwinklig darauf abgesteckter Ordinaten (Orthogonalmethode) und an die direkte Distanzmessung mit Latten oder Bändern gebunden. Seit 40 Jahren ist die indirekte Distanzmessung mit optischen Distanzmeßeinrichtungen an Theodoliten vorherrschend, womit die Orthogonalmethode durch die Polarkoordinatenmethode (Richtung und Distanz) verdrängt wurde.

(Fortsetzung folgt)

Walter Fisler, dipl. Ingenieur und Grundbuchgeometer †

Am 13. Juni 1963, zwei Tage nach seinem 45. Geburtstag, verschied in seinem Heim in Zürich-Affoltern Walter Fisler, dipl. Kulturingenieur und Grundbuchgeometer, nach kurzer, schwerer Krankheit. Ein großer Freundes- und Bekanntenkreis nahm Abschied von einem Manne, der