

1. Entwicklung des Vermessungswesens im 16. Jahrhundert

1.1. Wege zur Erarbeitung von Karten

Grundlage für die Erarbeitung von Regionalkarten in Mitteleuropa bildeten im 16. Jh. sowohl die auf der Basis der wiederentdeckten ptolemäischen Geographie¹ veröffentlichten Erd-, Erdteil- und Länderkarten als auch die durch lokale Vermessungen gewonnenen Karten.²

Der zuerst genannte Weg erlebte in Mitteleuropa seit den Ulmer Ptolemäusausgaben von 1482 und 1486 einen bedeutenden Aufschwung. Die Lage und Ausdehnung der dargestellten Gebiete wurde mit Hilfe entsprechender Entwurfs- bzw. Projektionsmethoden in das bereits seit HIPPARCH bekannte Koordinatennetz aus Breiten- und Längengraden eingetragen.³ Zur Fixierung dienten ausgewählte Orte, deren geographische Koordinaten mit Hilfe astronomischer Methoden bestimmt worden waren. Weitere zur Darstellung des Kartenbildes notwendige Größen, wie z. B. die Lage anderer Orte, der Verlauf großer Flüsse und der Küstenlinie, wurden aus groben Entfernungs- und Winkelbestimmungen, aus Reiseberichten oder anderen Beschreibungen abgeleitet.⁴ Auf dieser Grundlage erschienen Karten, die das gewachsene Bedürfnis eines kleinen Kreises der Bildungsschicht nach Erkenntnis des realen geographischen Weltbildes auf wissenschaftlichem Niveau befriedigten.⁵

Neben der kartographischen Darstellung großer Gebiete erlebte die detailgetreue Aufnahme kleinerer Bereiche einen bedeutenden Aufschwung. Es war vor allem der Hu-

manismus in der Renaissance, verbunden mit der verstärkten wirtschaftlichen Entwicklung, der dem Bestreben einzelner Fürsten, ihr Hoheitsgebiet erfassen und detailliert darstellen zu lassen, entscheidende Impulse verlieh. Eine solche kartographische Aufnahme wurde nicht nur zur klaren Abgrenzung ihres Herrschaftsgebietes angestrebt, sondern war vor allem auch zur weiteren wirtschaftlichen Erschließung und zur Festigung der Territorialmacht und Verwaltung notwendig, wie es neben anderen Territorialfürsten auch der sächsische Kurfürst AUGUST (Regierungszeit 1553–1586) frühzeitig erkannt hatte. Erste Gedanken zur Erstellung von Karten des sächsischen Territoriums waren zwar bereits 1532 aufgekommen,⁶ konnten jedoch erst gegen Ende des Jahrhunderts verwirklicht werden. Auf der Grundlage von mehr oder weniger exakten Vermessungen entstanden im Verlauf des 16. Jh. großmaßstäbige Karten feudaler Territorien sowie eine Reihe von Spezialkarten mit klarer Zweckbestimmung, wie Flur-, Forst-, Stadt-, Straßen- bzw. Wege- und Bergbaukarten. Sie dienten der herrschenden Schicht bei der Staatsverwaltung und zu Repräsentationszwecken, dem Besitznachweis und zur wirtschaftlichen Erschließung. Entsprechend der Zweckbestimmung der zu erarbeitenden Karten waren unterschiedliche Anforderungen an den Umfang und an die Genauigkeit notwendiger Messungen zu stellen.

Vom heutigen Standpunkt aus mußte eine exakte Landesvermessung die Bestimmung

der geographischen Koordinaten ausgewählter Orte bzw. Punkte und den Anschluß aller anderen Orte, markanten Punkte, Gewässer, Fluren, Straßen und Wege durch Messung von Entfernungen und Richtungswinkeln umfassen. Während die geographische Ortsbestimmung mittels astronomischer Methoden⁷ erfolgte, basierten Entfernungs- und Winkelmessungen im Gelände auf der Anwendung von Verfahren und Instrumenten der Feldmeßkunst.⁸ Bedeutende Beiträge für die Entwicklung der geodätischen Meßkunst im 16. Jh. erbrachten u. a. mit PETER APIAN⁹, HEINRICH SCHREIBER¹⁰, GEORG JOACHIM VON LAUCHEN¹¹ (RHETICUS, RHAETICUS) und ERASMUS REINHOLD¹² Persönlichkeiten, die entweder in Sachsen geboren oder deren Wirken eng mit sächsischen Bildungseinrichtungen verbunden war.¹³

1.2. Verfahren zur astronomischen Ortsbestimmung

In kartographischen Darstellungen des 16. Jh. wurden für die geographischen Koordinaten ausgewählter Orte entweder auf CLAUDIUS PTOLEMÄUS zurückgehende oder durch neue Messungen¹⁴ gewonnene Angaben benutzt. Den angewandten Methoden lagen sowohl neu gewonnene Erkenntnisse als auch bereits der griechischen und arabischen Wissenschaft bekannte Gesetzmäßigkeiten zugrunde. Bei der Bestimmung der geographischen Breite konnte auf die seit dem Altertum bekannte Tatsache zurückgegriffen werden, daß diese der Polhöhe am Beobachtungsort, d. h. dem Winkelabstand des Himmelspols vom Horizont, entspricht. Eine einfache Methode, die bereits die Araber im 13. Jh. benutzten, bestand in der Bestimmung der Polhöhe aus der Messung der oberen und unteren Kulmination eines Zirkumpolarsternes.¹⁵ Sie wurde 1514 erstmals in Mitteleuropa durch JOHANNES WERNER¹⁶ bekanntgemacht und entwickelte sich später

zu einer allgemein anerkannten Methode, die u. a. seit 1561 an der Sternwarte des Landgrafen WILHELM IV. von Hessen¹⁷ und später von TYCHO BRAHE¹⁸ (1546–1601) gepflegt wurde. Ein weiteres, häufig angewandtes Verfahren beruhte auf der Messung der Sonnenhöhe am Mittag mittels Gnomon oder anderer Instrumente, z. B. des Höhenquadranten¹⁹. Im Jahre 1523 gab H. SCHREIBER²⁰ erstmals in deutscher Sprache ein Verfahren an, bei dem der Stand der Sonne im Tierkreis sowie ihre Deklination mit Hilfe eines von ihm für beliebige Polhöhen erweiterten Astrolabiums berücksichtigt werden konnte.²¹ Die Abweichung seiner für mitteldeutsche Städte gewonnenen Breiten betrug gegenüber heutigen Werten etwa $\pm 1/2^\circ$. Eine ähnliche Methode, auf die in der Folgezeit oft zurückgegriffen wurde,²² publizierte ein Jahr später PETER APIAN²³. Die Veröffentlichung entsprechender Beobachtungsergebnisse geschah in Form von Koordinatenverzeichnissen. Fehler, die z. B. bei der Bestimmung der Schattenlänge eines Gnomons durch die Refraktion des Lichtes oder durch andere Einflüsse entstanden, blieben bis gegen Ende des 16. Jh. unberücksichtigt.

Bereits seit dem Altertum war bekannt, daß Längenunterschiede Ortszeitdifferenzen entsprechen. Im Jahre 1524 beschrieb P. APIAN erstmals ausführlich, wie sowohl Mondfinsternisse als auch die Messung von Mondsternen gegenüber anderen Sternen zur Längenbestimmung geeignet sind.²⁴ Durch eine verständliche Darstellung trug er wesentlich zur Verbreitung dieser Methoden bei. Beiden ist gemeinsam, daß eine zeitlich scharf einsetzende Himmelserscheinung an verschiedenen Orten beobachtet und ihr Beginn in der jeweiligen Ortszeit bestimmt wurde. So wurde beim zweiten Verfahren, das bereits 1499 durch A. VESPUCCI in Venedig angewendet²⁵ und 1514 durch J. WERNER²⁶ erwähnt worden war, der rasch wechselnde Stand des Mondes gegenüber anderen

Gestirnen bestimmt und mit vorausberechneten Mondpositionen verglichen. In ähnlicher Weise verliefen Bemühungen zur Bestimmung der geographischen Länge aus der Beobachtung von Mondkulminationen.²⁷ Während die ungenügende theoretische Beherrschung der komplizierten relativen Bewegung des Mondes keine genauen Voraussagen zuließ, waren Mondfinsternisse zu selten, um Bestimmungen durchführen zu können. Kurze Zeit nach dem Aufkommen der ersten Kleinuhren äußerte im Jahre 1530 GEMMA FRISIUS²⁸ den Gedanken eines direkten Vergleichs von Ortszeitdifferenzen mittels tragbarer Uhren,²⁹ der sich allerdings damals wegen der großen Gangungenauigkeit von 20 bis 30 Minuten/Tag nicht verwirklichen ließ. Auf Grund der unzulänglichen Voraussetzungen zur Längenbestimmung wurde im 16. Jh. die geographische Länge hauptsächlich durch Umrechnung von Ortsentfernungen in Gradmaß ermittelt.³⁰ Obwohl entsprechende Ansätze bereits in einigen Codices des 15. Jh. enthalten sind,³¹ die aber im allgemeinen unbekannt blieben, waren wesentliche Voraussetzungen für solche Bestimmungen durch J. WERNER und P. APIAN geschaffen worden. So hatte 1514 J. WERNER, aufbauend auf einer Schrift von AMIRUCIUS, einen wichtigen Beitrag zur Ermittlung der Bogendistanz aus den sphärischen Koordinaten zweier Punkte bzw. der Längendifferenz zweier Orte aus ihren geographischen Breiten und ihrer Entfernung geleistet.³² Hierdurch wurden erstmals astronomische und geodätische Aufgaben eng verknüpft. P. APIAN entwarf zehn Jahre später mit Hilfe der ebenen Trigonometrie eine Tabelle, welche für Orte beliebiger, aber gleicher geographischer Breite entsprechende Berechnungen gestattete. Darüber hinaus entwickelte er eine sphärisch-trigonometrische Funktion zur Berechnung von Entfernungen beliebiger Punkte auf der Erdoberfläche.²³ Da P. APIAN von einem zu kleinen Erdradius³³ ausging, erwies sich das

zugrunde gelegte Erdnetz als zu klein für die aus Ortsentfernungen berechneten Koordinaten.

Breiten- und Längenangaben wurden bis zum 16. Jh. oftmals aus den unterschiedlichsten Quellen unkritisch übernommen und benutzt. Die Fehler lagen bei den Breitenangaben in Mitteleuropa etwa zwischen $\pm 1'$ und $\pm 30'$, d. h. zwischen ± 2 km und ± 55 km. Für die Genauigkeit von Längenangaben läßt sich keine allgemeingültige Aussage treffen. Die Abweichungen gegenüber den gültigen Werten liegen in der Größenordnung mehrerer Grade. Nachdem bereits JOHANNES STÖFFLER auf die großen Ungenauigkeiten der von PTOLEMÄUS für Mitteleuropa gemachten Breiten- und Längenangaben aufmerksam gemacht hatte,³⁴ brachte APIANS Verzeichnis mit 1417 geographischen Ortsbestimmungen²³ einen wesentlichen Fortschritt, wobei insbesondere die Breitenangaben für eine Reihe sächsischer Orte recht genau waren. Der Fehler lag in der Regel zwischen $1'$ und $4'$.³⁵ Dagegen sind die Längenangaben mit wesentlich größeren Abweichungen gegenüber heute gültigen Werten behaftet, wobei der Ausgangsmeridian oft nicht sicher zu bestimmen ist.

1.3. Methoden der Feldmeßkunst im 16. Jahrhundert

Die bei der Aufnahme begrenzter Territorien angewandten Verfahren und Instrumente sind nur selten auf Karten vermerkt. Daher müssen Rückschlüsse vor allem aus zeitgenössischen Schriften der Feldmeßkunst und sonstigen Quellen³⁶ gezogen werden. Erstere widerspiegeln nicht nur den Wissensstand der damaligen Zeit, sondern markieren gleichzeitig den Beginn einer geodätischen Fachliteratur und dürften im Zusammenhang mit der rasch aufstrebenden Buchdruckerkunst zur Verbreitung der in ihnen beschriebenen Verfahren und Instrumente bei-

getragen haben. Dabei bildete die vor allem von ADAM RIES in Annaberg vorangetriebene Herausgabe von Rechenbüchern in deutscher Sprache eine wesentliche Voraussetzung für das Verständnis dieser Schriften. Wichtige Beiträge über Meßverfahren, Instrumente und deren Anwendungen sind in der Tabelle zusammengestellt.

Die angeführten³⁷⁻⁵³ und weitere Veröffentlichungen⁵⁹⁻⁷⁶ sowie im Staatsarchiv Dresden vorhandene Schriften⁷⁷ enthalten häufig detaillierte Anleitungen zur Anwendung der Verfahren und zum Gebrauch der Instrumente,⁷⁸ wobei insbesondere die von

dem Wittenberger Gelehrten ERASMUS REINHOLD ausgearbeitete und von dessen Sohn veröffentlichte Schrift⁵⁰ zu einem der wissenschaftlich fundiertesten Werke der Feldmeßkunst des 16. Jh. gehört.⁷⁹ In ihr wurden erstmals Tafelwerke trigonometrischer Funktionen (noch als Verhältnisgrößen) in ein Lehrbuch der Feldmeßkunst aufgenommen und zur Lösung von Feldmeßaufgaben systematisch angewendet. Die Publikationsjahre lassen erkennen, welche Werke in Sachsen bekannt gewesen sein könnten. Maßgeblich war jedoch, was an den Universitäten in Erfurt, Leipzig und Wittenberg gelehrt wurde

Autor	Ort	Jahr	Titel	Darstellung vorwiegend Meßver- Instru- fahren mente	Anmer- kung
GREGOR REISCH	Argentin	1504	Margarita philosophicae	×	37
GEORG BURBACH	o. O.	1515	Quadratum Geometricum	×	38
JACOB KÖBEL	Oppenheim	1522	Von Ursprung der Teilung ...	×	39
SEBASTIAN MÜNSTER	Oppenheim	1528	Erklärung des neuen Instruments ...	×	2
JACOB KÖBEL	Frankfurt	1531	Vom Feldmessen	×	40
GEMMA FRISIUS	Antwerpen	1533	Libellus de locorum	×	41
PETER APLIAN	Ingolstadt	1533	Instrumentbuch	×	42
JOHANNES STÖFFLER	Frankfurt	1536	Von künstlicher Abmessung	×	43
JOACHIM RHETICUS	Wittenberg	1541	Chorographia (Handschrift)	×	44
SEBASTIAN MÜNSTER	Frankfurt	1544	Cosmographie	×	45
WALTER RYFF (RIVIVS)	Nürnberg	1547	Bericht der mathematischen und mechanischen Kunst ...	×	46
SEBASTIAN MÜNSTER	Basel	1551	Rudimenta mathematica	×	47
JACOB KÖBEL	Frankfurt	1563	Geometrej	×	48
SEBASTIAN SCHMID		1566	Underrichtung, wie man ... ein jede landschaft ...	×	49
ERASMUS REINHOLD	Erfurt	1574	Bericht vom Feldmessen und Marscheiden	×	50
PAUL PFINZING	Nürnberg	1598	Methodus Geometrica	×	51
LEVINUS HULSIUS	Frankfurt	1604	Erster Tractat. Der mechanischen Instrumenten ...	×	52
LEVINUS HULSIUS	Frankfurt	1605	Vierdter Tractat. Der mechanischen Instrumenten ...	×	53
DANIEL SCHWENTER	Nürnberg	1617	Geometriae practicae novae. Tractatus II	×	54
DANIEL SCHWENTER	Nürnberg	1617	Geometriae practicae novae. Tractatus III	×	55
WILLEBRORD SNELLIUS	Lugd. Bat.	1617	Eratosthenes batavus seu de terrae	×	56
BENJAMIN BRAMER	Marburg	1617	Trigonometria Planorum ...	×	57
WILHELM SCHICKARD	Tübingen	1629	Kurze Anweisung, wie künstliche Landtafeln ... zu machen	×	58

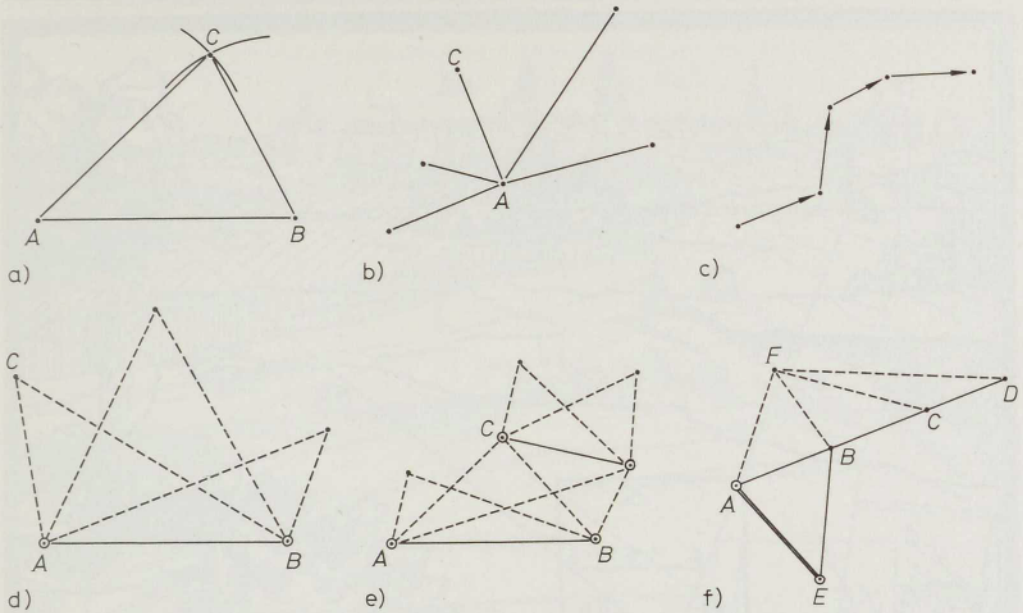


Abb. 1. Schematische Darstellung verschiedener Aufnahmeverfahren. a) Kreisschnittmethode; b) Polarkoordinatenverfahren; c) Kettenaufnahme; d) Erweitertes Polarkoordinatenverfahren; e) Einfache Triangulation; f) Triangulation

und welche Erfahrungen in den Bergbauzentren Annaberg und Freiberg gesammelt worden waren.

In der Feldmeßkunst des 16. Jh. waren vor allem geometrische Verfahren bestimmend. Als wesentliche Verfahren können die Aufnahme durch Anvisieren einzelner Punkte von einem Ort, von verschiedenen Punkten oder längs eines Polygonzuges genannt werden. Ihre Anwendung schloß die Bestimmung von Richtungswinkeln ein. Entsprechend des benutzten Verfahrens mußte die Entfernung entweder direkt gemessen oder die Lage der Orte aus den Schnittpunkten der Visierlinien ermittelt werden. Vom Ende des 16. und Anfang des 17. Jh. an gewannen die Meßtischaufnahme und das Triangulationsverfahren an Bedeutung und erreichten später eine dominierende Stellung.

Zu einem der ältesten Aufnahme- bzw. Kartenkonstruktionsverfahren gehört die Kreisschnittmethode, die auf der Bestim-

mung eines Dreiecks aus seinen Seiten basiert. Waren die Entfernungen zwischen drei beliebigen Orten bekannt, so konnte die Lage derselben nach Wahl eines Maßstabes und Festlegen einer Richtung auf eine Karte übertragen werden (vgl. Abb. 1a). Dieses Verfahren ließ sich ausbauen, indem in analoger Weise zu weiteren Orten fortgeschritten wurde. Noch 1616 pries es CLAUDIUS FLAMUNDUS⁸⁰ als die „beste Weise, eine Landkarte zu machen“.

Im Jahre 1528 beschrieb SEBASTIAN MÜNSTER ein Verfahren, das häufig „Polarkoordinatenverfahren“ genannt wird und bei dem von einem geeigneten Standort mit Hilfe einer Bussole ausgewählte Punkte anvisiert, ihre Richtungen gemessen, die Entfernungen bestimmt und mittels eines Maßstabes auf eine Karte übertragen werden^{2,45} (vgl. Abb. 1b). SEBASTIAN SCHMID variierte dieses Verfahren 1566, indem er von Aufnahme- punkt zu Aufnahme- punkt fortschritt und

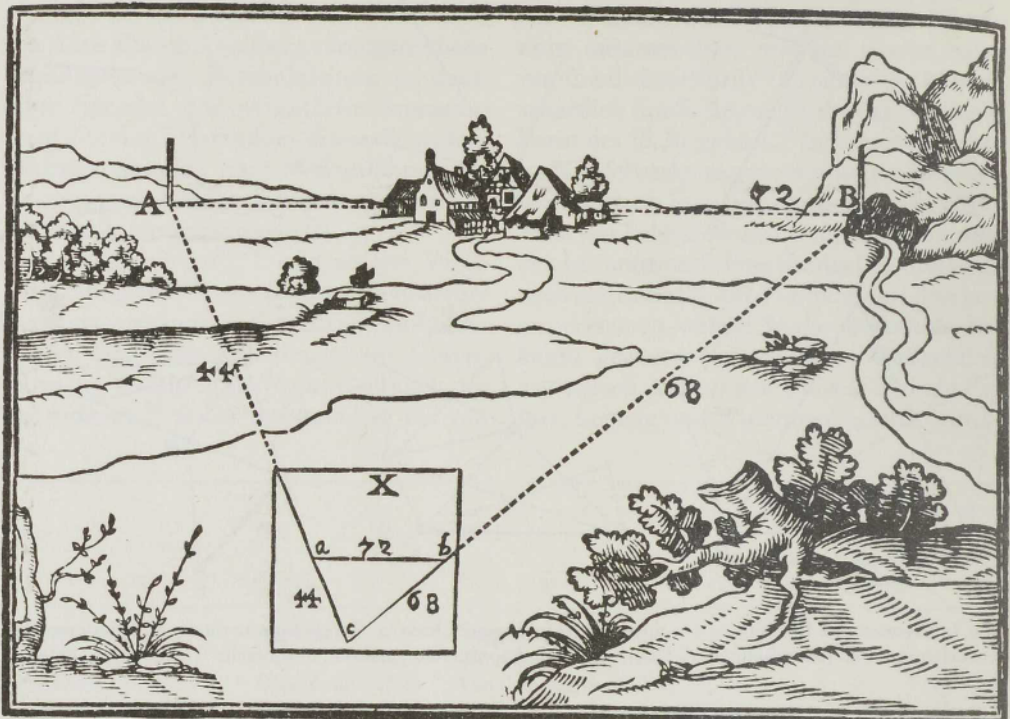


Abb. 2a. Zeichnerische Bestimmung der Entfernung AB von einem Standpunkt C bei bekannten Entfernungen CA und CB beim Meßtischverfahren von D. SCHWENTER (Anm. 55)

damit eine Art Kettenaufnahme in Form von Polygonzügen ausführte⁴⁹ (vgl. Abb. 1c). Auf diesem Verfahren basiert u. a. die Herstellung von Routenkarten. Das von SEBASTIAN MÜNSTER angegebene „Polarkoordinatenverfahren“ ließ sich erweitern, indem als Ausgangspunkt zwei Orte bekannten Abstandes und bekannter Richtung gewählt und von ihnen aus die Richtungen weiterer Zielpunkte gemessen wurden (vgl. Abb. 1d). Entfernungen zwischen beliebigen Orten konnten nach Herstellung der Karte mit einem Zirkel abgegriffen und mit Hilfe eines Maßstabes bestimmt werden. Die kartographische Aufnahme ausgewählter Punkte beruhte also auf der Kenntnis einer Dreiecksseite und der beiden anliegenden Winkel. GEMMA FRISIUS⁴¹ baute dieses Grundaufnahmeverfahren 1533 weiter aus, indem ausgewählte Verbindungs-

linien zwischen anvisierten Punkten ausgemessen und von diesen neue Punkte anvisiert wurden, womit sich ein Dreiecksnetz aufbauen ließ (Abb. 1e). Es enthielt, wie auch die späteren Schriften von SEBASTIAN MÜNSTER⁴⁵ und JOACHIM RHETICUS⁴⁴, erste Grundgedanken einer Triangulierung. Der endgültige Ausbau zur heute bekannten Triangulation erfolgte 1617 durch WILHELM BRORD SNEL VAN ROYEN (SNELLIUS), als er ein von ihm 1615 zur Messung der Länge des Meridianbogens zwischen Bergen-op-Zoom und Alkmaar (Niederlande) ausgeführtes Triangulationsverfahren veröffentlichte,⁵⁶ das jedoch für die sächsische Landesvermessung nicht mehr wirksam werden konnte. Beim Triangulationsverfahren (vgl. Abb. 1f) wird die zu messende Strecke über ein Netz von Dreiecken so zerlegt, daß es möglich ist,

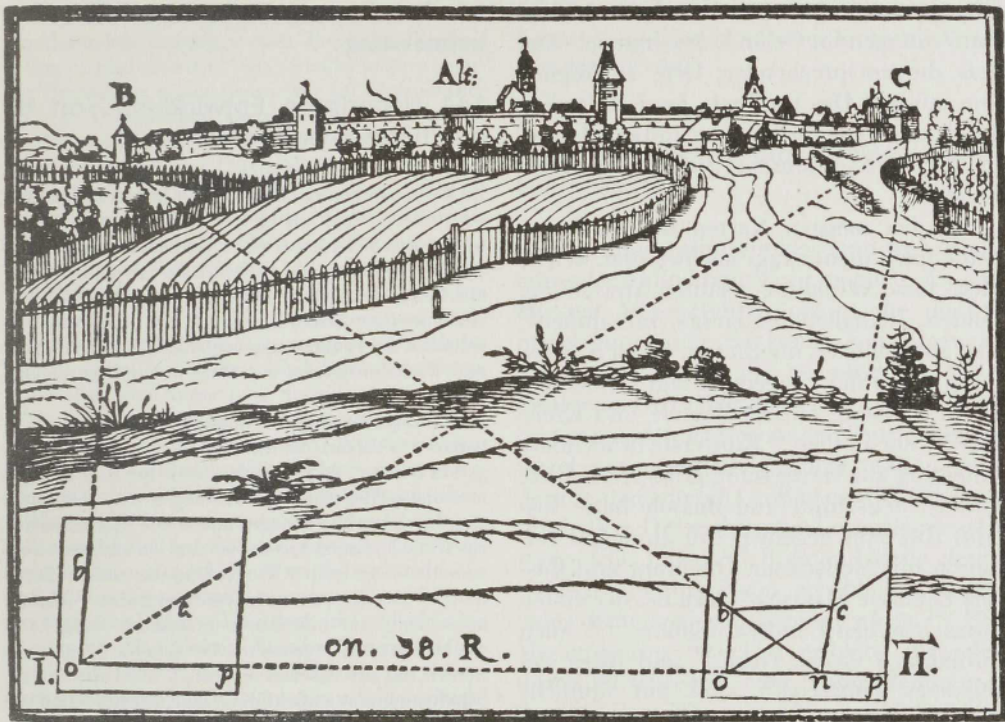


Abb. 2b. Zeichnerische Bestimmung der Entfernung zwischen zwei unzugänglichen Punkten *B* und *C* durch Anvisieren von zwei Standorten *I* und *II* beim Meßtischverfahren von D. SCHWENTER (Anm. 55)

durch direkte Messung einer ausgewählten kurzen Strecke (Basis) sowie der Innenwinkel (Basiswinkel) alle anderen Größen, z. B. die gesuchte Länge, schrittweise mittels Berechnung zu gewinnen.⁸¹ Auf diese Weise war es möglich, über größere Gebiete ein Netz von Punkten zu legen. Das von SNELLIUS vorgestellte Verfahren fand zunächst nur wenig Verbreitung, entwickelte sich jedoch später zu einem der bedeutendsten Verfahren der Landesvermessung. Die astronomische Ortsbestimmung diente dann nur noch zur Orientierung und Lagebestimmung des Netzes.⁸²

Im Jahre 1617 machte DANIEL SCHWENTER, ein Schüler und Nachfolger von JOHANNES PRÄTORIUS, das auf diesen zurückgehende Verfahren der Meßtischaufnahme bekannt.⁵⁴

Obwohl ebene Flächen, z. B. ein Tisch, seit ältesten Zeiten als Unterlagen zum Zeichnen dienten, erhielten sie eine erweiterte Funktion, indem jetzt das zu bestimmende Gelände durch Anvisieren geeigneter Bezugspunkte und Aufzeichnen der Visierlinien direkt ähnlichkeitsstreu auf ein Meßblatt übertragen werden konnte. Es ist nicht auszuschließen, daß dieses Verfahren bereits vorher von anderen Landmessern benutzt wurde. Für die Funktion als Meßtisch ist Voraussetzung, daß der Tisch um eine vertikale Achse drehbar und in einer Richtung feststellbar ist. Das Anvisieren erfolgt entweder von einem (Abb. 2a) oder von verschiedenen Standorten des Meßtisches aus (Abb. 2b). Die Schnittpunkte der Visierlinien entsprechen den im Gelände anvisierten Punkten. Durch Vergleich mit einer oder mehreren

Grundstrecken lassen sich auf diese Weise Entfernungen im Gelände bestimmen, ohne daß die entsprechenden Orte zugänglich sein müssen. Das Verfahren fand in der Folgezeit eine weite Verbreitung und wurde häufig für kartographische Aufnahmen angewendet.

Bei den meisten Karten des 16. Jh. ist heute nicht mehr exakt nachweisbar, welche Meß- bzw. Aufnahmeverfahren Anwendung fanden. Lediglich für einige Aufnahmen⁸³ sind Einzelheiten überliefert. So ist S. MÜNSTER'S Karte der Umgebung von Heidelberg durch Messung mittels Bussole und Kreisscheibe entstanden.⁸⁴ Eine erste brauchbare Anleitung zur Vermessung größerer Gebiete mittels Meßschnur und Bussole hatte JOACHIM RHETICUS gegeben. Ein ähnliches Verfahren mit Meßschnur, Quadrant und Bussole benutzte MATTHIAS ÖDER bei der ersten kursächsischen Landesaufnahme.^{85,86} Auch Aufnahmen GEORG ÖDERS⁸⁷ und Risse von JOHANNES HUMELIUS⁸⁸ sind auf ähnliche Weise entstanden.

Die Genauigkeit der bei Vermessungen im Gelände ermittelten relativen Ortslagen war gegenüber astronomischen Ortsbestimmungen wesentlich höher. So betrug die mittleren Lagefehler der durch MATTHIAS ÖDER mittels Meßschnur, Quadrant und Bussole in einem Gebiet von 7000 km² vermessenen Orte etwa ± 300 m.⁸⁹

Obwohl im 16. Jh. sowohl Verfahren der astronomischen Ortsbestimmung als auch der praktischen Feldmessung bekannt waren und angewendet wurden, konnte auf Grund der Ungenauigkeit der Breiten- und Längenbestimmung (vgl. 1.2.) die notwendige Übereinstimmung der auf verschiedene Art bestimmten Lage von Orten in den meisten Fällen nicht erzielt werden. Aus diesem Grunde wurde bei vielen großmaßstäbigen Karten auf ein Gradnetz verzichtet.

14. Instrumente zur Strecken- und Winkelmessung

14.1. Historische Entwicklung von Instrumenten der Feldmeßkunst

Zu Messungen im Gelände dienten Instrumente unterschiedlichster Art,⁹⁰ deren Konstruktion und Bau⁹¹ sowohl durch Erfordernisse der Feldmeßkunst als auch durch Übernahme von Fortschritten aus dem astronomischen Instrumentenbau bestimmt wurden. Während Hilfsmittel zur Streckenmessung ihren Ursprung vornehmlich der Feldmessung verdanken, wurden Höhen- und Winkelmeßgeräte vor allem aus der Astronomie übernommen.

In Europa wurden am Ausgang des Mittelalters die bereits den Völkern des Altertums^{92,93} bekannten Meßgeräte benutzt. So verwendete man für Entfernungsmessungen Meßschnüre, Meßstangen und Meßplatten, zum Nivellieren Setzwaagen und offene Wasserwaagen, zur Winkelmessung Astrolabien und Quadranten sowie zum Abstecken rechter Winkel Winkelkreuze mit Dioptern.^{92,94} Als eines der bedeutendsten frühen Feldmeßinstrumente zur mittelbaren Streckenmessung kann das Meßquadrat⁹⁵ (geometrisches Quadrat) angesehen werden, das sich in seiner ursprünglichen Form auf das Schattenquadrat zurückführen läßt, welches schon um 900 u. Z. auf der Rückseite arabischer Astrolabien nachweisbar ist, 1322 in Frankreich beschrieben und bereits ein Jahr später auch in Deutschland bekanntgemacht wurde.⁹⁶ Große Verdienste um seine Einführung, auch zur Winkelmessung, erwarb sich um 1450 GEORG PURBACH.^{38,97} Das Meßquadrat besitzt eine enge Verwandtschaft zum Quadranten. Beide wurden häufig als kombinierte Instrumente gebaut. Ab Anfang des 16. Jh. fand der Jakobsstab, der erstmals von dem Araber LEVI BEN GERSON (1288–1344) beschrieben worden war, auch in Europa zur Winkelmessung im astronomischen Bereich und zur mittelbaren Streckenmessung im Gelände Anwendung.^{98,99} LEONARDO DA VINCI gab Anfang des 16. Jh. Konstruktionen für Schrittzähler und Wagenwegmesser an,¹⁰⁰ letztere waren bereits in der Antike bekannt. Dem Bau und der Anwendung derartiger Instrumente wurde in der Folgezeit vor allem in Sachsen eine hohe Aufmerksamkeit zuteil.

Nachdem in Europa seit dem 12. Jh. die Anwendung der Magnetnadel zur Richtungsbestimmung bekannt war, fand der Magnetkompaß im 15. Jh. als Bussole Eingang in die Feldmeßkunst.

Große Bedeutung für die Winkelmessung erlangten das wahrscheinlich auf HIPPARCH (um 190–120 v. u. Z.) zurückgehende Astrolabium und der erstmals von CLAUDIUS PTOLEMÄUS in der 1. Hälfte des 2. Jh. beschriebene Quadrant. Ein auch in der heutigen Vermessungspraxis noch bedeutsames Instrument ist der Theodolit. Sein

1.4. Instrumente zur Strecken- und Winkelmessung

Grundprinzip war bereits in der „Dioptra“ von HERON von Alexandria dargelegt worden, aber in der Folgezeit in Vergessenheit geraten.¹⁰¹ Als Vorläufer unseres heutigen Theodoliten, dessen Benennung auf LEONARD DIGES⁶⁴ (1571) zurückführt, sind das Polimetrum von MARTIN WALDSEEMÜLLER¹⁰² (1512), ein 1532 von PETER APIAN¹⁰³ beschriebenes Universalinstrument (Torquetum) sowie ein von RIVIUS⁴⁶ (1547) erwähntes „New erfundenes Instrument“ anzusehen, die es gestatteten, Horizontal- und Vertikalwinkel gleichzeitig zu messen.

Die wahrscheinlich von dem holländischen Astronomen GEMMA FRISIUS um die Mitte des 16. Jh. gemacht und JOHANNES PRÄTORIUS (1590) zugeschriebene Erfindung des Meßtisches fand in Deutschland erst nach der Verbreitung in der Literatur durch DANIEL SCHWENTER (1617) allgemeine Anwendung. Auch das seit Ende des 16. Jh. bekannte Fernrohr benötigte nach Einführung des Fadenkreuzes um die Mitte des 17. Jh. noch mehrere Jahrzehnte, um als Teil geodätischer Instrumente einbezogen zu werden. Die beiden zuletzt genannten Entwicklungen blieben auf Grund ihres zeitlichen Einsetzens ohne Einfluß auf die erste sächsische Landesvermessung. Neben den erwähnten wurden vereinzelt auch andere Instrumente gebaut und eingesetzt, wie z. B. trigonometrische Lineale, ohne jedoch größere Bedeutung zu erlangen. Als Visiereinrichtungen dienten Absehen oder Diopteranordnungen. Zur Steigerung der Genauigkeit wurde versucht, die Ablesung zu verfeinern. Nachdem Verfahren mit konzentrischen Hilfskreisen¹⁰⁴ nur geringen Erfolg gebracht hatten, setzte sich zunächst die Transversalteilung durch, die zuerst von LEVI BEN GERSON um 1340 erwähnt, später von GEORG PURBACH und JOHANNES REGIOMONTANUS benutzt, von CHRISTOPH PUEHLER 1563 beschrieben²⁷ und von JOST BÜRGI verbessert wurde. TYCHO BRAHE führte sie gegen Ende des 16. Jh. auf verschiedenen Instrumenten aus.¹⁰⁵ Nachdem der Nonius 1590 durch den Mathematiker CLUSIUS erfunden worden war, erfolgte seine Anwendung in der heutigen Form erstmals 1631 durch den Niederländer PETER WERNER. Das Noniusprinzip löste im Laufe des 17. und 18. Jh. die Transversalteilung vollständig ab.

Der Gebrauch von Instrumenten in der Vermessungspraxis wurde nicht nur durch das angewandte Verfahren, sondern auch durch solche Gesichtspunkte wie Verfügbarkeit und einfache Handhabung beeinflusst.

Trotz des hohen Entwicklungsstandes wurden in der Praxis noch sehr einfache Vermessungsinstrumente und Verfahren benutzt, obwohl bereits weiterentwickelte vorhanden waren. Diese konnten sich oft erst mit wachsenden Anforderungen an die Genauigkeit bzw. Schnelligkeit durchzuführender Messungen durchsetzen.

Bedeutende Zentren der Instrumentenbaukunst bestanden im 16. Jh. im süddeutschen Raum. Angeregt durch die Kunstfertigkeit dieser Meister, die durch ihre Erzeugnisse auch die Aufmerksamkeit des sächsischen Hofes auf sich gelenkt hatten, entstand in der 2. Hälfte

des 16. Jh. der kursächsische Instrumentenbau, der durch die Arbeiten von CHRISTOPH TRECHSLER d. Ä. eine erste Blütezeit erlebte.

1.4.2. Instrumente zur direkten Streckenmessung

Entfernungsbestimmungen sind auf direktem oder indirektem Wege möglich. Zu den ältesten Meßverfahren gehört die direkte Streckenmessung. Sie konnte nur angewendet werden, wenn die notwendigen Meßpunkte im Gelände zugänglich waren. Die zu bestimmenden Entfernungen wurden in der Regel mit natürlichen Körpermaßen oder daraus abgeleiteten Größen bzw. Tätigkeiten verglichen. Die wichtigsten Längeneinheiten waren Elle, Fuß, Zoll, Rute und Meile, deren Größen allerdings von erheblichen regionalen Unterschieden geprägt waren.¹⁰⁶ Die Messung von Strecken erfolgte entweder durch Abschreiten oder unter Benutzung bestimmter Hilfsmittel, wie Meßstange (Abb. 3), Meßschnur bzw. Meßseil oder Meßkette.^{39,50} Die genannten Instrumente befanden sich noch bis zum 19. und 20. Jh. im Gebrauch.^{107,108} Bei der Ausführung von Streckenmessungen mittels Meßstangen wurden mindestens zwei Stangen geeigneter Länge benötigt, die abwechselnd aneinandergelegt wurden. Meßketten und Meßschnüre besa-

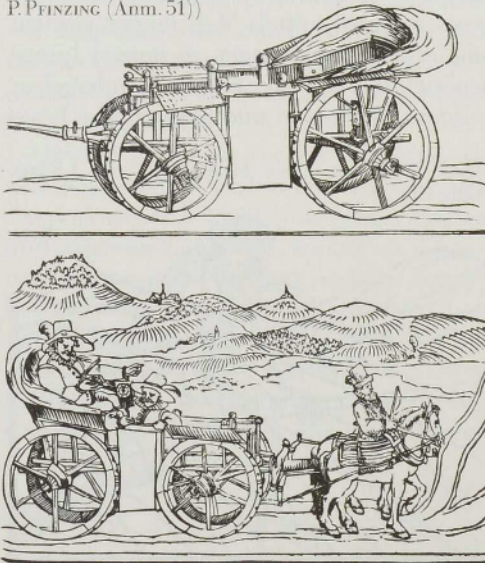
Abb. 3. Gebrauch einer Meßstange (aus I. KÖBEL (Anm. 40))



ßen an ihren Enden Ringe zur Fixierung durch Stäbe, so daß beim Fortschreiten in vorgegebener Richtung die Kette bzw. Schnur jeweils nur an einem Ende neu fixiert werden mußte. Bodenunebenheiten führten meist zu einer Überschätzung der Längen. Um eine hohe Genauigkeit zu erzielen, mußten die Messungen mit großer Sorgfalt durchgeführt werden, wobei im unebenen Gelände weitere Hilfsmittel bzw. entsprechende Korrekturen erforderlich waren. Als Material für Meßketten wurden Kupfer oder andere Metalle, für Meßschnüre Hanf u. ä. Fasern verwendet. Die angeführten Verfahren waren bei der Bestimmung größerer Strecken relativ mühsam und zeitaufwendig, so daß auch nach anderen Möglichkeiten der direkten Streckenmessung gesucht wurde. Solche boten sich im Bau und Gebrauch von Wegmessern an, wie sie u. a. bereits bei VITRUV (1. Jh. v. u. Z.) und HERON von Alexandria (1. Jh. u. Z.) als Wagenwegmesser Erwähnung finden.

Besonders in Sachsen erreichte der Bau von Wegmessern unter Kurfürst AUGUST I.

Abb. 4. Wegmesser, auf Kutschwagen montiert (aus P. PEINZING (Adm. 51))



einen besonderen Aufschwung und Höhepunkte zugleich. Bei Wagenwegmessern (vgl. Tafel 1 und Abb. 4), Meßrädern (Abb. 5) und Schrittzählern (vgl. Abb. 6) werden die Umdrehungen eines Rades oder die Anzahl der Schritte durch Zug auf ein mechanisches Zählwerk übertragen und angezeigt. Der Stand der Feinmechanik erlaubte es, solche Wegmesser zu bauen, die aus heutiger Sicht technische und teilweise kunsthandwerkliche Meisterleistungen jener Zeit darstellen.

Kurfürst AUGUST von Sachsen, der gegenüber wissenschaftlich-praktischen Problemen höchst aufgeschlossen war, beschäftigte sich während seiner Regierungszeit (1553 bis 1586) intensiv mit Fragen der Konstruktion, Herstellung und Anwendung von Wegmessern.^{87,109} Dabei konnte er sich auf Anregungen, Vorschläge und die Mitarbeit entsprechender Gelehrter und Instrumentenhersteller stützen. So erhielt Kurfürst AUGUST bereits 1564 von dem Leipziger Magister VALENTIN THAU einen ersten Vorschlag zum Bau eines Wegmessers in Verbindung mit einem Kutschwagen. In einem Brief vom 4. Oktober 1564 heißt es u. a.:¹¹⁰

„... Unser secretari Hanss Jenitz hat unss deinen vorschlag eines kutschwagens halben, darauff man den weg messen konte, furgetragen, welcher unss sehr wohl gefallen, wusten auch einen solchen wagen zu unserm furhaben wohl nutzlich zu gebrauchen, sonderlich was auch ein compass darauff gerichtet, dardurch man alle winckel und krummen im fahren nit allein messen sondern auch irer gelegenheit nach rechtschaffen deliniiren und in einen gewissen riss bringen konte ...“

Darauffhin wurden drei dieser Instrumente gebaut und verwendet. In der Folgezeit erhielten verschiedene Instrumentenmacher, wie CHRISTOPH SCHISSLER (Augsburg), CHRISTOPH TRECHSLER (Dresden), THOMAS RÜCKERT (Augsburg, Dresden) und MARTIN FEYHEL (Naumburg) den Auftrag zur Herstellung weiterer Wegmesser.¹¹¹

Welche von ihnen für Vermessungsarbeiten benutzt wurden, kann gegenwärtig nicht eindeutig beantwortet werden. Sicher ist, daß Kurfürst AUGUST nicht nur eingehend

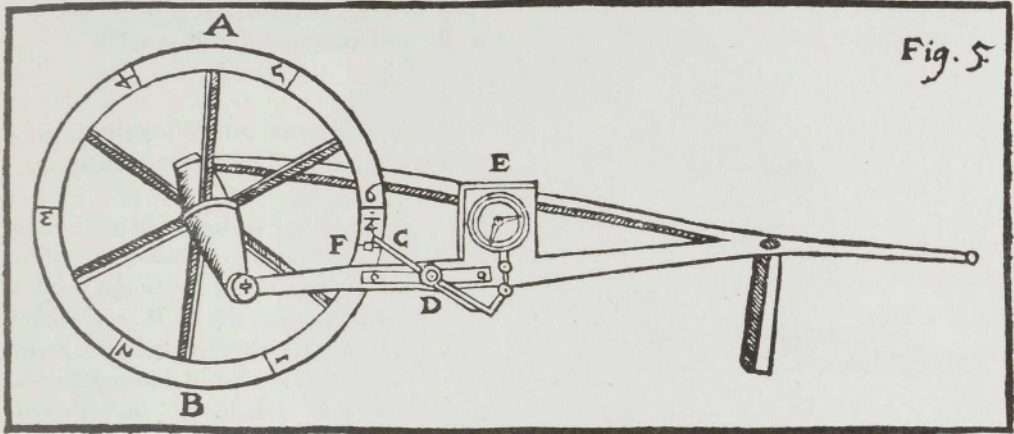


Abb. 5. Einfacher Wegmesser in Form eines Meßrades (aus L. HULSIUS (Anm. 53))

die Ergebnisse der von ihm mit der Aufnahme von Regionalkarten Beauftragten prüfte, sondern auch selbständig Karten entwarf. Dazu notwendige Messungen wurden mit Hilfe eines Meßwagens mit Wegmesser und Kompaß durchgeführt. Davon zeugen u. a. eine Reihe erhalten gebliebener Routenkarten.¹¹² Welche Bedeutung diesen Wegmessern am sächsischen Hof beigemessen wurde, ist auch daraus ersichtlich, daß das Inventar der Dresdner Kunstkammer von 1587 zwölf Wegmesser aufweist. Unter ihnen befinden sich noch heute im Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden vorhandene Instrumente, u. a. der in Tafel 1 abgebildete, 1584 von CHRISTOPH TRECHSLER d. Ä. gefertigte Wagenwegmesser. Er wird im Kunstkammerinventar¹¹³ von 1587 wie folgt beschrieben:

„1 mössen rundt vorguldt instrument uf einer schwartz gedröheten seulen mit 3 zaigern, der erste lange zaiger gehet uf ruten, in 100 ruten einmal rumb, der mittelzaiger in 2000 ruten einmal rumb, der dritte von meilen zu meilen in 20 meil weg es einmall rumb, hinden mit einer schrauben zum auf und niederschrauben, samt einer mössern verguldeten korben mit einem weise beinern hefte: vor den instrument ein durchbrochener winkelhacke mit einem doppelten gevirdten loche, dorein das reisstischlein gesetzt, wen man die compass braucht
...

Aus dieser kurzen Charakteristik ist der Aufbau und die Funktion des Gerätes bereits ersichtlich. Es besteht aus einem auf einer Zylindersäule befestigten Meßwerk, das durch eine Gliederkette mit der entsprechenden Auslösevorrichtung auf der Radachse verbunden war, einem kleinen Zeichentisch sowie einer größeren Anzahl heute nicht mehr vorhandener 27 Hilfsinstrumente, u. a. einem Bussoleninstrument zur Bestimmung von Richtungswinkeln. Mit Hilfe des Reißstischleins konnten während der Fahrt Wegskizzen, Ortsentfernungen und Richtungswinkel auf einem Blatt Papier eingetragen werden. Außerdem war es möglich, die Nadelrichtung der Bussole mittels einer Einstech- bzw. Lochvorrichtung direkt auf das Papier zu übertragen und damit aufzuzeichnen. Nicht unerwähnt soll ein im Leipziger Grassimuseum erhaltener Wagenwegmesser von THOMAS RÜCKERT, um 1575, bleiben, der mit einer Vorrichtung zur mechanischen Aufzeichnung der sich während der Fahrt ändernden Nadelrichtung einer Bussole ausgestattet ist (vgl. Abb. 7). Die Nadel besitzt in der Mitte und an ihren Enden jeweils eine Spitze, die auf einen abrollenden Papierstreifen gedrückt wurde und damit eine Ortungslinie in einer Art Lochstreifen festlegte. In-



Abb. 6. Gebrauch eines Schrittzählers (aus P. PFIZING) (Anm. 51)

wieweit die Empfindlichkeit des Mechanismus einen praktischen Einsatz zuließ, läßt sich heute nur schwerlich sagen.

Mitunter fanden einfache Meßräder (Handradwegmesser) Anwendung, deren Umläufe mit Hilfe eines in das Rad eingeschlagenen Nagels visuell gezählt wurden.¹¹⁴ Solche Meßräder konnten auch mit mechanischen Zählwerken versehen und als einrädriger oder zweirädriger Karren ausgebildet sein. Für Messungen im unwegsamen Gelände dienten Schrittzähler, die von einem Fußgänger oder Reiter getragen werden konnten. Die Auslösung des Zählwerkes erfolgte meist durch Zug mittels Verbindung zum Oberschenkel des Trägers. Ausführliche Beschreibungen mit Abbildungen von Schrittzählern und Wagenwegmessern tau-

1. Entwicklung des Vermessungswesens im 16. Jh. chen in der Literatur erst gegen Ende des 16. Jh. und Anfang des 17. Jh. auf.^{51,53}

1.4.3. Instrumente zur Winkelmessung und mittelbaren Streckenmessung

Für kartographische Aufnahmen mußten sowohl einfache Winkelmessungen ausgeführt als auch Richtungswinkel bestimmt werden. Wichtige Instrumente des 16. Jh. zur Winkelmessung unter Einschluß mittelbarer Streckenmessungen waren Astrolabium, Meßquadrat, Quadrant, Jakobsstab und Bussole (Kompaß), von denen einige in Abb. 8 dargestellt sind. Weitere Geräte, wie Theodolit, Vollkreisgerät und Triangularinstrument traten erst nach Beginn bzw. Ausführung der Vermessung Sachsens hinzu.

Das bereits bis zu Beginn des 16. Jh. zu hoher Vollendung gelangte Astrolabium war als universelles astronomisches Instrument auch für Messungen im Gelände geeignet.¹¹⁵ Astronomische planisphärische Astrolabien besaßen auf der Rückseite mit Winkelteilung, Schattenquadrat und drehbarer Alhidade Einrichtungen, mit denen sich verschiedene Vermessungsarbeiten ausführen ließen. So konnten z. B. Entfernungen (Abb. 9) oder die Höhe von Bauwerken bestimmt werden. Gelegentlich wurde das Astrolabium auch in waagerechter Lage zur Messung von Horizontalwinkeln benutzt. Wurde es anfangs bei Feldmessungen in unveränderter Form angewandt, entstanden später vereinfachte Instrumente (vgl. Abb. 9), die vor allem zu Winkelmessungen im Gelände dienten. Sie behielten den Namen Astrolabium bei, obwohl sie teilweise durch eine Bussole ergänzt waren und damit enge Beziehungen zu anderen Instrumenten entstanden.¹¹⁶

Das Schattenquadrat bildete auch die Grundlage für ein selbständiges Meßinstrument, das geometrische oder Meßquadrat, lat. Quadratum Geometricum, das eines der ältesten Feldmeßinstrumente ist. Meßqua-



Abb. 7. Wagenwegmesser, THOMAS RÜCKERT, um 1575 (Grassimuseum Leipzig; Foto: I.HÄNSEL, Leipzig)

drate besaßen die Form eines quadratischen Rahmens oder einer quadratischen Platte aus Holz oder Metall, auf denen ein schwenkbares Visierlineal oder ein Fadenlot angebracht war und deren Seiten eine geeignete Teilung aufwiesen. Als Visierlinien dienten entweder eine Kante des Instruments oder das in einem Eckpunkt befestigte drehbare Visierlineal (Alhidade). Oft wurde das Meßgerät durch einen Quadrantbogen zur Winkelmessung ergänzt. Sein Einsatz für mittelbare Streckenmessungen beruhte darauf, daß sich beim Anvisieren eines ausgewählten Punktes, dessen Abstand vom Standort des Messenden ermittelt werden sollte, ähnliche rechtwinklige Dreiecke zwischen dem Stand-

ort, dem zu ermittelnden Ort und auf dem Meßquadrat herausbildeten (vgl. Abb. 10), die es gestatteten, aus den abgelesenen Werten durch ein einfaches Berechnungsverfahren die unbekannte Entfernung zu bestimmen. Damit war es möglich, beliebige Entfernungen auch zwischen unzugänglichen Meßpunkten zu ermitteln. In der Literatur⁹⁵ wurde es häufig beschrieben, einzelne Geräte sind auch erhalten geblieben, u. a. im Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden.¹¹⁷

Vom letzten Viertel des 16. Jh. an verlor das Meßquadrat rasch an Bedeutung, da inzwischen trigonometrische Rechenverfahren zur Verfügung standen, die eine Bestimmung

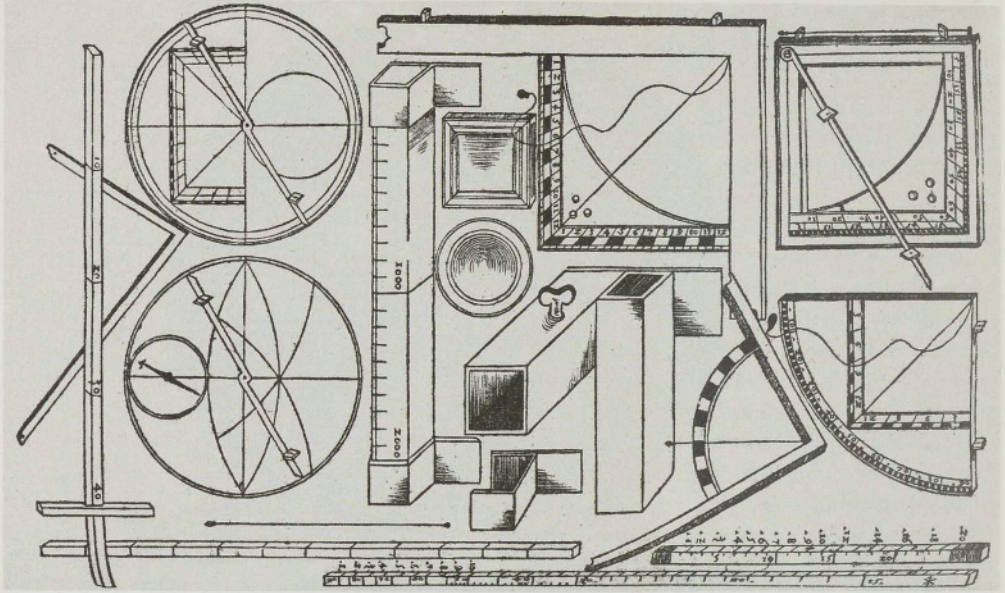


Abb. 8. Feldmeßinstrumente des 16. Jh. (aus W. RYFF (Anm. 46))

Jakobsstab, Winkelhaken, Astrolabium, Bussoleninstrument, Bleilot, Meßstab, Querstab, Verbindungshülsen und Lochvisier eines Jakobsstabes, zwei Spiegel zur Höhenmessung, Meßquadrat mit verlängerten Seiten, Quadrant, Meßquadrat, Quadrant mit Meßquadrat, Längs- und Querstab für Jakobsstab

von Strecken allein durch Winkelmessungen ermöglichten, wobei REINHOLDS Schrift⁵⁰ für das Durchsetzen der Winkelmessung einen bedeutenden Einfluß ausgeübt haben dürfte. Ähnlich im Aufbau, verkörpert der Quadrant ein Viertelsegment einer Kreisscheibe. Er weist zwei senkrecht aufeinanderstoßende Kanten auf, die von einem Viertelkreis bzw. Viertelkreisbogen mit Winkelteilung begrenzt werden. Die aus Holz oder Metall gefertigten Instrumente besaßen ein Pendellot zur Winkelablesung sowie auf der Oberkante eine Visiereinrichtung, die meist aus zwei Absehen bestand. Obwohl der Quadrant für die Messung von Höhenwinkeln, vor allem von Gestirnen, entwickelt worden war, konnte er zur mittelbaren Streckenmessung (Abb. 11) oder in abgewandelter Ausführung mit einer drehbar angeordneten Visiereinrichtung und ohne Pendellot zur Bestimmung von Horizontalwinkeln benutzt

werden. Für solche Messungen wurde er von der Mitte des 16. Jh. an in zunehmendem Maße eingesetzt, wobei die Orientierung mittels einer Bussole erfolgte.¹¹⁸

Die bei der geodätischen Winkelmessung zu lösenden Aufgaben führten zwangsläufig zur Entwicklung weiterer Instrumente, in deren Folge im 17. Jh. der für Feldmessungen verwendete Quadrant ebenso wie das Meßquadrat allmählich durch Halb- und Vollkreisinstrumente sowie durch den Theodoliten verdrängt wurden. Vollkreisgeräte bestanden entweder aus einer quadratischen Grundplatte oder später fast ausschließlich aus einer Kreisscheibe, die mit einer Winkelteilung versehen war. Zum Anvisieren geeigneter Meßpunkte besaßen sie eine drehbare Alhidade sowie ein oder zwei Paare auf dem äußeren Rand senkrecht zueinander angeordneter Absehen.

Vollkreisgeräte dienten hauptsächlich zur

Messung von Horizontalwinkeln. In der Feldmeßkunst gewannen sie vom Ende des 16. Jh. an wachsende Bedeutung. Von da an wurden sie meist mit einem Kompaß ausgestattet.

Der Kompaß besteht im Grundaufbau bekanntlich aus einer meist dosenähnlichen Kompaßbüchse, in der eine Magnetnadel auf einem in der Mitte angebrachten senkrechten Auflagestift horizontal frei beweglich ist.¹¹⁹

Für Vermessungsaufgaben erlangten Kompaßinstrumente mit einer Ziel- bzw. Visiereinrichtung sowie einer entsprechenden Winkelteilung die größte Bedeutung. Sie besaßen in der Regel eine quadratische oder rechteckige Form, wobei eine Kante zum Anlegen eines Lineals o.ä. benutzt werden konnte. Als Visiereinrichtung diente meist ein drehbares Lineal, das mit umklappbaren Dioptern versehen sein konnte (Diopterlineal). Durch Anfügen eines zur drehbaren Alhidade senkrechten Lineals war es möglich, die gemessenen Winkel unmittelbar auf Zeichenpapier zu übertragen (Abb. 12). Mit Hilfe solcher Bussoleninstrumente konnten magnetische Richtungswinkel im Gelände bestimmt werden. Dabei verkörperte die nordweisende Magnetnadel mechanisch einen Winkelschenkel; der zweite Winkelschenkel wurde optisch durch die Ziellinie der Visiereinrichtung dargestellt. Die Busssole befand sich entweder zentrisch oder ex-

zentrisch auf einer Winkelmeßscheibe. In vielen Fällen erfolgte die Ausrüstung solcher Instrumente nur mit zwei kleinen Magnetnadeln zur Orientierung nach dem Magnetpol, während die eigentliche Winkelablesung an einem besonderen drehbaren Zeiger erfolgte.

Bussoleninstrumente fanden bei Kartenaufnahmen im 16. und 17. Jh. eine breite Anwendung (vgl. Abb. 13 und 14), wie u. a. auch durch die Tätigkeit Kurfürst Augusts bei der Herstellung, Anwendung und Erwerbung solcher Instrumente belegt wird.¹²⁰ Zwischen ihnen und den mit einem Kompaß versehenen Vollkreisinstrumenten besteht kein prinzipieller Unterschied.

Eine wichtige Rolle für genaue Richtungswinkelbestimmungen spielte die Berücksichtigung der Mißweisung (Deklination), d. h. der Abweichung der magnetischen Nordrichtung von der geodätischen Nordrichtung. Sie war spätestens seit dem 15. Jh. bekannt, wurde für die einzelnen Orte als konstant angesehen, durch eine Marke am Kompaß angezeigt oder durch Drehung der Kompaßbüchse berücksichtigt.¹¹⁹

Die Anwendung des Jakobsstabes blieb vor allem auf Gebäudemessungen beschränkt. Über die Verwendung der in 1.4.1. genannten Vorläufer des Theodoliten (Abb. 15) in der Feldmeßkunst des 16. Jh. ist aus der Literatur nichts bekannt. Den frühesten Nachweis über den praktischen Ge-

Abb. 9. Entfernungsmessung mit Hilfe eines Astrolabiums (aus J. STÖFFLER (ANIM. 43))



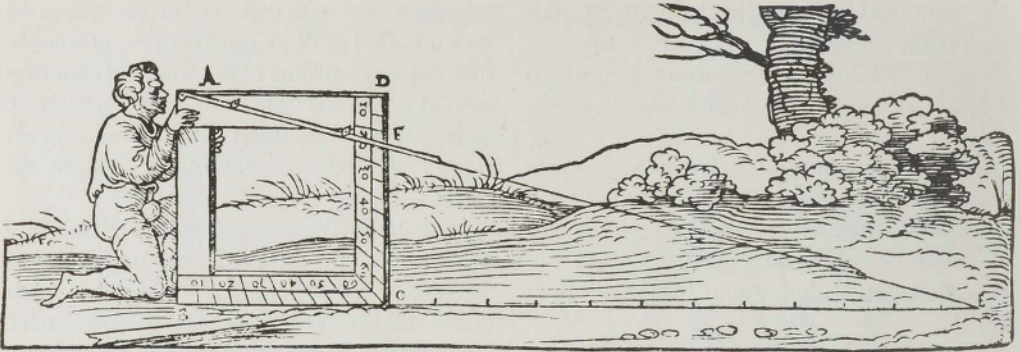


Abb. 10. Anwendung des Meßquadrates zur mittelbaren Streckenmessung (aus W. RYFF (Anm. 46))

brauch eines dem Theodoliten verwandten Instruments in Sachsen enthält eine Karte aus dem Jahre 1604.¹²¹ Mit den genannten Instrumenten konnte bei Winkelmessungen eine Genauigkeit von etwa $\pm 1/2^\circ$ erreicht werden, die sowohl durch systematische Fehler der Instrumente als auch durch zufällige Fehler, z. B. bei der Ablesung, bedingt war.

Eine spezielle Form der Bestimmung von Vertikalwinkeln stellt das Nivellieren dar. Hierzu konnten Wasserwaagen sowie alle geeigneten Instrumente mit Lot, z. B. Quadrant, Meßquadrat, Setzwaage, eingesetzt werden. In ähnlicher Weise ließen sich Instrumente, Stative u. ä. waagrecht oder senkrecht ausrichten.

1.4.4. Instrumente für spezielle Aufnahmeverfahren

Zur proportional verkleinerten Darstellung eines aufzunehmenden Gebietes entwickelte JOST BÜRGI 1592 ein sog. Triangularinstrument, bei dem ein zu bestimmendes Dreieck auf einem durch drei Lineale gebildeten veränderbaren Vergleichsdreieck nachgebildet wurde.¹²² An den Schnittpunkten der Dreieckseiten konnten die unbekanntenen Entfernungen abgelesen werden (Abb. 16). Diese Instrumentengruppe erlangte aber kaum Bedeutung, da mit dem auf einem ähnlichen Prinzip beruhenden Meßtisch (Mensula Prætoriana) ein Instrument mit wesentlich er-

Abb. 11. Anwendung des Quadranten zur mittelbaren Streckenmessung (aus W. RYFF (Anm. 46))



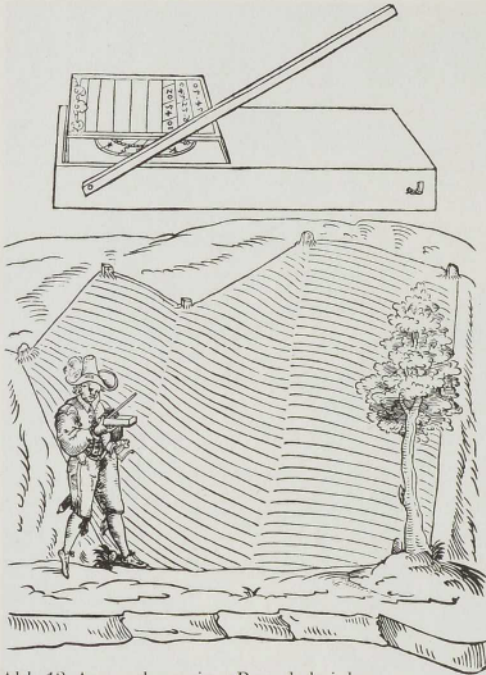


Abb. 13. Anwendung einer Bussole bei der Feldmessung (aus P. PFIZING (Anm. 51))

bestimmung (Abb. 17). Bei seiner Anwendung wird das aufzunehmende Gelände als verkleinertes Ähnlichkeitstreues Bild auf die mit Papier bespannte Meßtischplatte aufgezeichnet. Als Beispiel sei die Bestimmung der Entfernung zwischen zwei unzugänglichen Orten *B* und *C* angeführt, bei der die Aufnahme von zwei Standorten aus mit bekanntem Abstand in einem festzulegendem Maßstab erfolgte (vgl. Abb. 2b). Aus den Schnittpunkten der Visierlinien konnten die interessierenden Entfernungen maßstäblich entnommen werden.

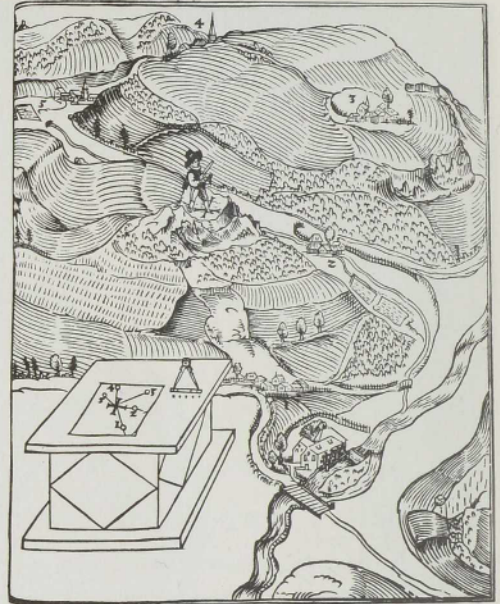


Abb. 14. Kartenaufnahme mittels Bussole (aus P. PFIZING (Anm. 51))

1.5. Entwicklung der bergmännischen Meßkunst im 16. Jahrhundert

1.5.1. Aufgaben der Markscheidekunst

Die Entwicklung Sachsens wurde im 16. Jh. maßgeblich durch den Erzbergbau geprägt. Sie widerspiegelt sich nicht nur in ökonomischen und gesellschaftlichen Veränderungen, sondern auch in der Entfaltung des Markscheidewesens, die ihren Ausdruck in bergmännischen Schriften, Anordnungen und der Instrumentenbaukunst findet. In einer Bergordnung aus dem Jahre 1589 heißt es u. a.¹²³:

„... und sollen die Marckscheider hinfort den Vorstehen der Zechen oder Stöllen, an denen örtern sie zu Marckscheiden gefordert, und ihre gebühr nemen, was sie ziehen, schriftlich vorzeichent geben, wie tieff man zu sincken, und in waser teuffe man ansitzen, und auslen-gen soll ...“

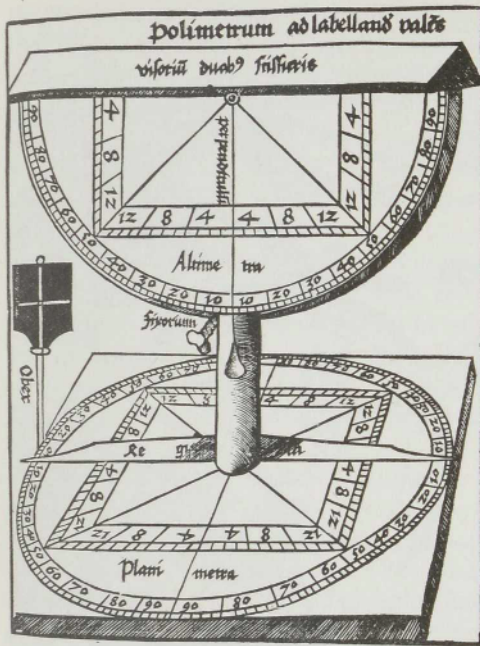


Abb. 15. Polimetrum von MARTIN WALDSEEMÜLLER (aus G. REISCH (Anm. 37), Auflage 1512)

Damit sind die wesentlichsten Aufgaben der Markscheidekunst zur damaligen Zeit umrissen. Sie umfaßten die Vermessung und zeichnerische (rißliche) Darstellung unterirdischer Grubenräume einschließlich der zugehörigen Erdoberfläche und Bauten. Der Begriff Markscheiden leitet sich von den Worten Mark = Grenze und scheiden = „feststellen und bestimmen des Scheidenden“, d. h. der scheidenden Grenze aneinanderstoßender Grubenfelder, ab.¹²⁴ Die Spezifik des Markscheiders bestand darin, daß er entsprechende Messungen in engen, oft gekrümmten und niedrigen Grubenräumen unter ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen durchführen mußte.¹²⁵

Neben den eigentlichen Grubenmessungen unter Tage war auch die Vermessung bergbaulicher Anlagen über Tage notwendig. So spielte z. B. im sächsischen Erzbergbau die Anlage von Kunstgräben für die Wasser-

führung eine große Rolle, wozu ein exaktes Nivellieren erforderlich war.

1.5.2. Verfahren und Instrumente der Markscheidekunst im 16. Jahrhundert

Über die Entwicklung der Vermessungstechnik im Bergbau ist bis zum Beginn der Renaissance nur sehr wenig bekannt.¹²⁶ Aus einigen erhaltenen antiken bergbaulichen Denkmälern und der überlieferten Vermessungslehre HERONS von Alexandria läßt sich jedoch schlußfolgern, daß bereits einfache Messungen durchgeführt wurden. Nähere Hinweise über Meßinstrumente und Meßverfahren im Bergbau sind jedoch erst in der Literatur des 16. Jh. enthalten,^{50, 127, 128} wobei insbesondere REINHOLDS Schrift ausführliche Anleitungen zur Lösung markscheiderischer Aufgaben enthält. Durch die spezifischen Bedingungen des Bergbaus wurden an den Bau markscheiderischer Instrumente besondere Anforderungen gestellt.¹²⁹ Zur Bestimmung der eine Grube charakterisierenden Größen waren Strecken- und Winkelmessungen notwendig. Zur direkten Messung von Strecken dienten vor allem Meßseile bzw. Meßschnüre aus Hanf oder Lindenbast, mitunter auch Meßstangen. Die Schnüre (Verziehschnuren) wurden auf der Streckensohle mit Spreizen oder mit Stockstativen, Schemeln oder Böcken gespannt. Die zuerst genannte Art war vor allem in Kursachsen gebräuchlich.

Die Länge der Schnuren konnte mit einem geeigneten Meßstab bestimmt werden. Als Maßeinheiten wurden Klafter, Lachter oder andere Größen benutzt. Bei der direkten Messung von Schachttiefen fanden Meßseile oder auch Meßgestänge Anwendung.¹²⁴

Eine über Jahrhunderte vielfach benutzte Methode zur Bestimmung von Strecken und Tiefen bestand in der Anwendung von Schnurdreiecken (Abb. 18). Dabei wurde zur Streckenbestimmung die Proportionalität der Seiten ähnlicher Dreiecke ausgenutzt. So

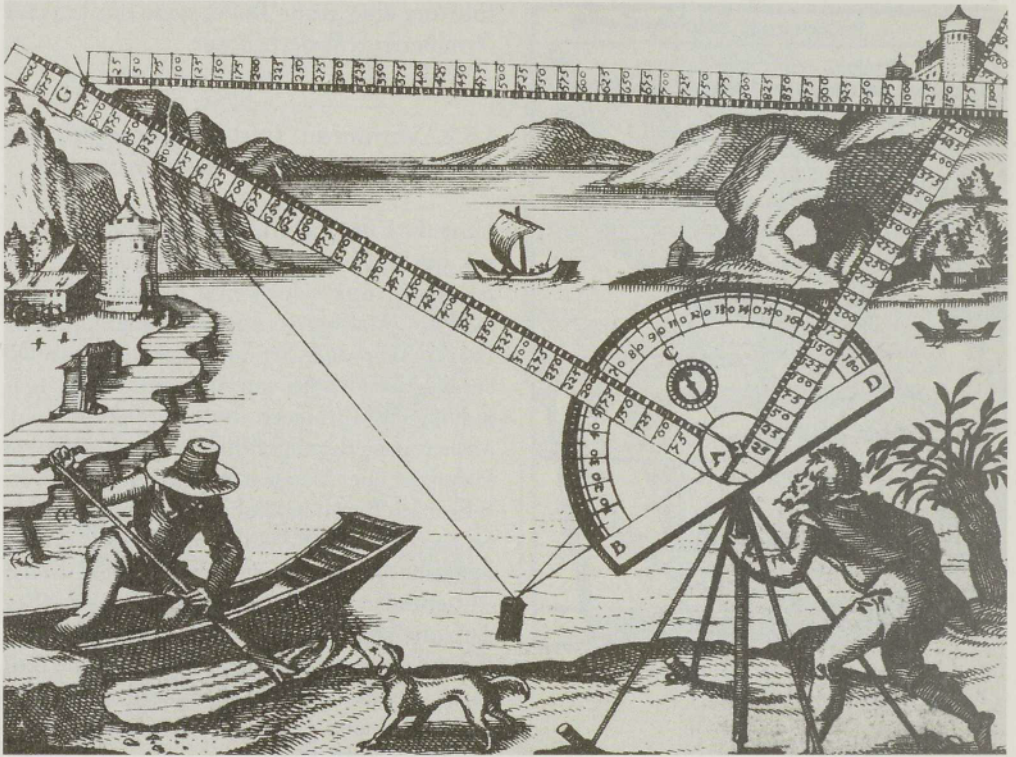


Abb. 16. Triangularinstrument (aus L. ZUBLER (AHH. 71))

war es möglich, auch unzugängliche Strecken zu messen. Die erste Form einer bergmännischen Winkelbestimmung begegnet uns in der Wachsscheibenmethode, die etwa am Beginn des 16. Jh. aufkam. Im wesentlichen lassen sich zwei Arten von Wachsscheiben unterscheiden, die einfache Wachsscheibe und die Wachsscheibe mit einsetzbarem Kompaß (Abb. 19 und Abb. 20). Die einfache Wachsscheibe bestand aus einer Holzscheibe mit Rillen, die mit verschiedenfarbigem Wachs ausgegossen waren. Die auf einem Stockstativ, einem Schemel oder auf der Sohle aufgesetzte Scheibe wurde in die Brechungspunkte des Schnurzuges gebracht und dessen jeweilige Richtung im Wachs markiert. Mit dieser Methode konnten also Brechungswinkel bestimmt werden. Später

wurde die Magnetnadel in dieses Gerät aufgenommen, und es entstand der Wachsscheibenkompaß, der den sog. Streichungswinkel, d. h. die Richtung der Schnur gegen die Nordrichtung, festzustellen gestattete. Dazu wurden die Nord-Süd-Richtung und die Ziellinie in das Wachs eingestochen. Die Nord-Süd-Richtung war mitunter bereits durch Punkte am äußeren Rand der Scheibe vermerkt. Der Wachsscheibensetzkompas wurde neben die Brechungspunkte in die Zugseiten gesetzt und der Streichungswinkel markiert. Die auf diese Weise unter Tage festgelegten Winkel konnten später über Tage mit Hilfe eines Schnurzuges im Maßstab 1:1 abgesteckt werden und so ein Bild vom Verlauf des Stollens geben. Auch zur Bestimmung von Höhenwinkeln ließen sich sol-

che Wachsscheiben verwenden. Mitunter waren sie bereits mit einer willkürlichen Teilung versehen. Da von ihnen keine unmittelbaren Meßwerte abgelesen werden konnten, existieren hierüber auch keine Aufzeichnungen. Wachsscheiben waren im 16. Jh. besonders im Erzgebirge verbreitet. Ihr Einsatz erfolgte teilweise bis zur zweiten Hälfte des 17. Jh.

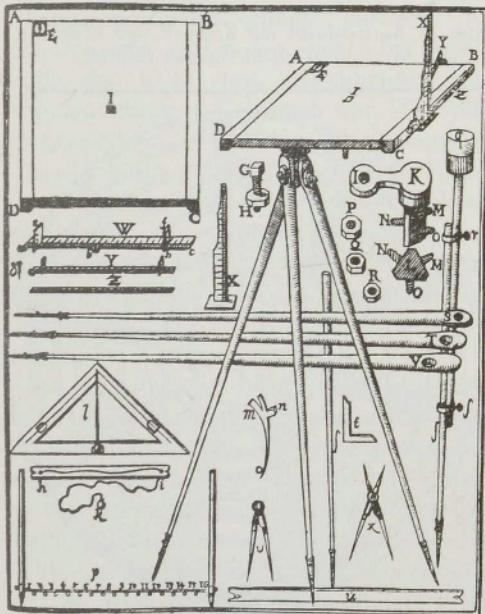
Eine führende Rolle im bergmännischen Vermessungswesen spielte über viele Jahrhunderte der Kompaß. Erste Anwendungen erfolgten wahrscheinlich in Form einer Wasserbussole um 1200 u.Z. durch deutsche Bergleute im mittellitalienischen Kupferbergbau.

Die frühesten detaillierten Abbildungen von Bergkompassen sind in der bereits erwähnten Schrift des ULRICH RUELEIN von Calbe (Calw) enthalten sowie in AGRICOLAS „De re metallica“, wobei die dort aufgeführten Kompassse von den Markscheidern wahrscheinlich nicht verwendet wurden. Entsprechend der Anwendungsform der Kompassse



Abb. 17. Meßtisch (aus D. SCHWENTER (Anm. 55))

Abb. 18. Messung von Schachttiefen mittels Schnurdreieck (aus G. AGRICOLA (Anm. 128)); Foto: Deutsche Fotothek Dresden)



lassen sich im Bergbau des 16. Jh. Handkompassse, Setzkompassse in meist kreisrunder Form sowie Grubenkompassse unterscheiden. Letztere besitzen quadratische oder rechteckige Form, so daß sie als Anlegekompaß verwendet werden konnten. Der Hängekompaß ist erst seit 1633 bekannt. Setzkompaß und Grubenkompaß weichen nur im Verlauf der Winkelteilung, der verschiedenen Einstellungen der zu bestimmenden Richtung und der unterschiedlichen Ableseung¹³⁰ voneinander ab. Während beim Setzkompaß die Winkelteilung im Uhrzeigersinn verläuft, die zu bestimmende Richtung mit Hilfe des Visierlineals eingestellt und abgelesen wird, besitzt der Grubenkompaß eine

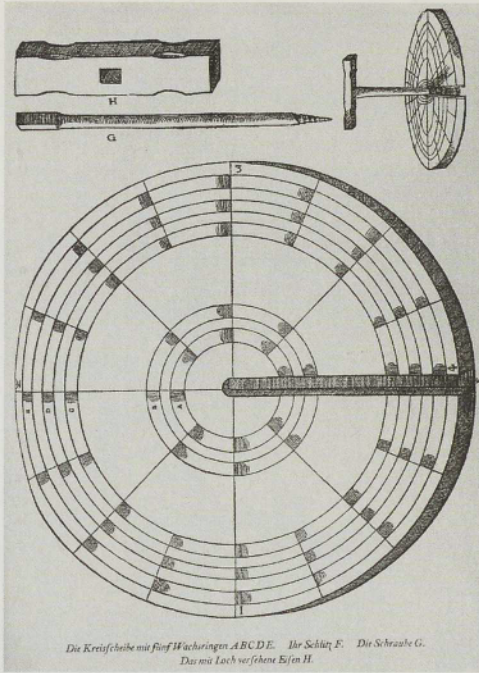


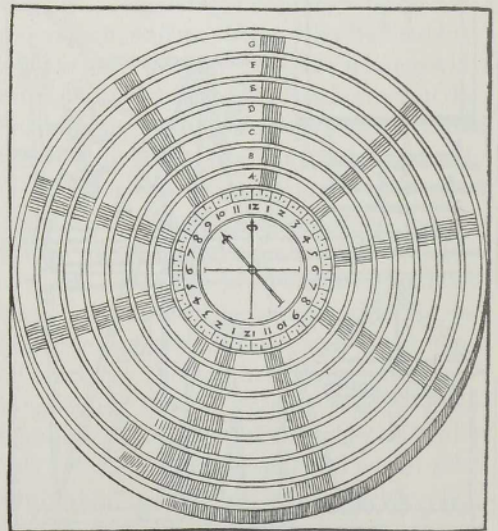
Abb. 19. Wachsscheibe (aus G. AGRICOLA (Anm. 128)); Foto: Deutsche Fotothek Dresden)

entgegengesetzt verlaufende Winkelteilung. Nachdem bei ihm die zu bestimmende Richtung mit der Nordrichtung auf dem Kompaß in Übereinstimmung gebracht worden war, konnte der Richtungswinkel mit Hilfe der Magnetnadel abgelesen werden. Anfänglich wurden die zu markscheiderischen Zwecken (vgl. Abb. 21) benutzten Kompassse vor allem als Setzkompassse eingesetzt. Dabei wurden sie entweder auf einen Stab oder ein Stativ gesteckt, auf eine Meßlatte gelegt oder unmittelbar auf das Gebirge gesetzt. Ihr Gebrauch ist bereits in der Literatur des 16. Jh. beschrieben.^{127, 128} Eine Berücksichtigung der Mißweisung läßt sich bei sächsischen Grubenkompassen für das Jahr 1562 nachweisen, wie aus dem ehemaligen Bestand des Mathematisch-Physikalischen Salons ersichtlich ist. Zur Messung von Vertikalwinkeln, z. B. von Neigungswinkeln in Stollen-

gängen, fanden gespannte Schnuren Anwendung, an die ein Gradbogen angehängt wurde. Dieser bestand aus einem durchbrochen gearbeiteten Halbkreis mit Aufhängehaken und einem vom Mittelpunkt herabhängenden Senklot. Die älteste Abbildung eines solchen Gradbogens stammt aus der Mitte des 15. Jh.¹³¹

Im 16. Jh. entwickelte sich als spezielles Markscheideinstrument das sog. Schinzeug, mit dem es möglich war, gleichzeitig Horizontal- und Vertikal-(Höhen-)Winkel zu messen. Es setzte sich aus einem um eine lotrechte Achse drehbaren Höhenkreis mit Winkelteilung und einer Befestigungsvorrichtung für eine Verziesschnur sowie einem anfänglich aufsteckbaren oder beigegebenen Kompaß zusammen. Später erfolgte eine Vereinigung beider Teile zu einem einheitlichen Gerät, indem der Höhenkreis mit einer Grundplatte, die eine große Bussole oder zwei kleine Bussolen sowie einen drehbaren Zeiger zur Ablesung des Horizontalwinkels besaß, fest verbunden wurde (vgl. Tafel 2).

Abb. 20. Wachsscheibe mit Kompaß (aus G. AGRICOLA (Anm. 128)); Foto: Deutsche Fotothek Dresden)



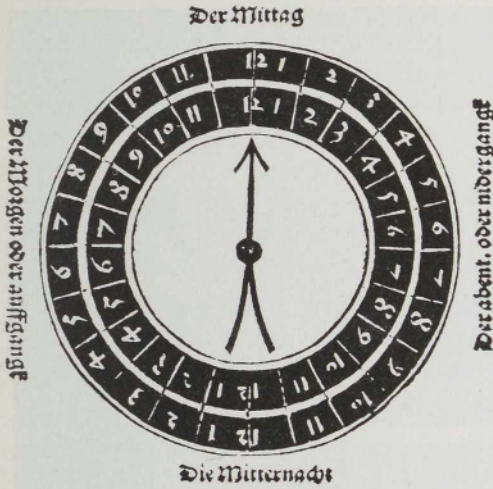


Abb. 21. Markscheidekompaß (aus ULRICH RUELEIN von Calbe (Anm. 127))

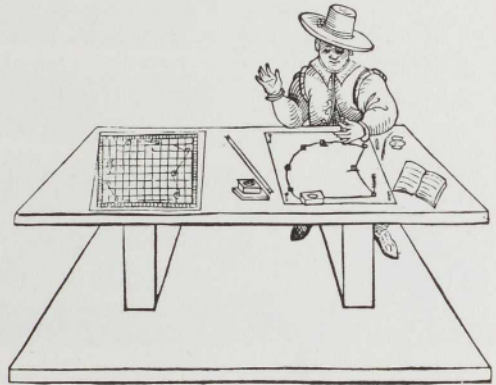
Schinzuge, von deren Aufbau verschiedene Varianten bekannt sind, wurden etwa vom Beginn des 16. Jh. bis zur Mitte des 18. Jh. im bergmännischen Vermessungswesen benutzt.

Die Teilung des Kreisumfangs der Markscheideinstrumente erfolgte entweder in Stunden oder in Graden, wobei bis gegen Ende des 16. Jh. fast ausschließlich die Stundenteilung in Gebrauch war. Der Vollkreis wurde in 24 Stunden, 2×12 Stunden oder 48 halbe Stunden geteilt. Die Halb-stundenteilung war auf fast allen Höhenhalbkreisen der Schinzuge des 16. und 17. Jh. gebräuchlich.¹²⁹ Gradteilungen erschienen erstmals 1556 auf AGRICOLAS Setzwaage und 1574 auf REINHOLDS Setzkompaß⁵⁰.

Im sächsischen Bergbau besaßen die verwendeten Winkelmeßinstrumente meist eine 2×12 -Stundenteilung. Bei den Kompassen war eine Stunde häufig in acht Teile unterteilt. Zur waagerechten oder lotrechten Aufstellung der Instrumente dienten wie bei der Feldmessung Setzwaagen. Ihre Verwendung war im Markscheidewesen besonders wich-

tig, da visuelle Vergleichsmöglichkeiten fehlten.

Die Anfertigung von Grubenkarten konnte erst erfolgen, nachdem neben Strecken auch Winkel mit Hilfe geeigneter Meßinstrumente, wie z. B. mit dem Bergkompaß, gemessen, die Meßwerte notiert und diese anschließend in einem bestimmten Maßstab aufgetragen wurden. Zum schriftlichen Festhalten von Meßwerten bemerkt AGRICOLA u. a.¹³²:



feld A	20	15	21	$\frac{3}{8}$	10	24	5
13	$\frac{1}{2}$	20	$> \frac{1}{2}$	15	$10 \frac{3}{4}$	30	16.10
6	11	18	$\frac{7}{8}$	20	19	10	21
$\frac{1}{2}$	25	$\frac{9}{10}$	22				

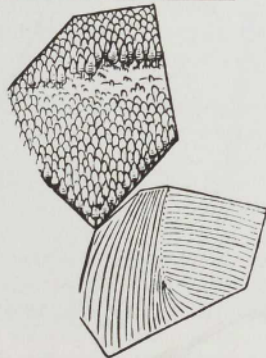


Abb. 22. Übertragung einer Feldmessung auf Papier (aus P. PFIZING (Anm. 51))

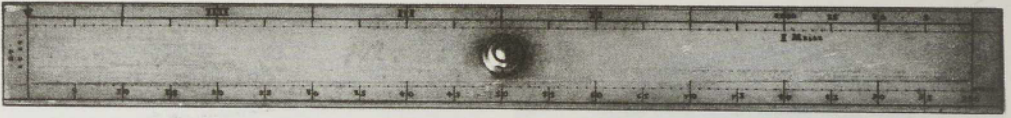


Abb. 23. Reduktionsmaßstab für Meilen und Ruten, CHRISTOPH TRECHSLER, Dresden, 1584 (Staatlicher Mathematisch-Physikalischer Salon Dresden)

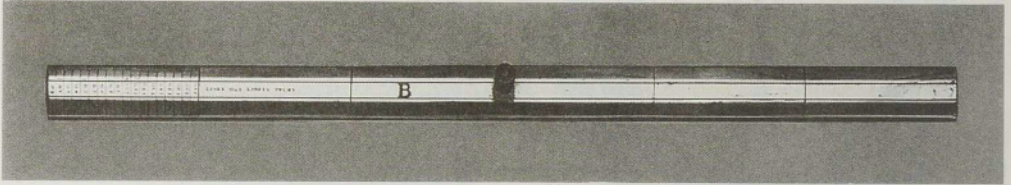


Abb. 24. Reduktionsmaßstab mit der Maßeinheit „LENGE EINS LANGEN TUCHS“ ($\triangleq 297,34\text{ m}$), deutsch, vor 1587 (Staatlicher Mathematisch-Physikalischer Salon Dresden)

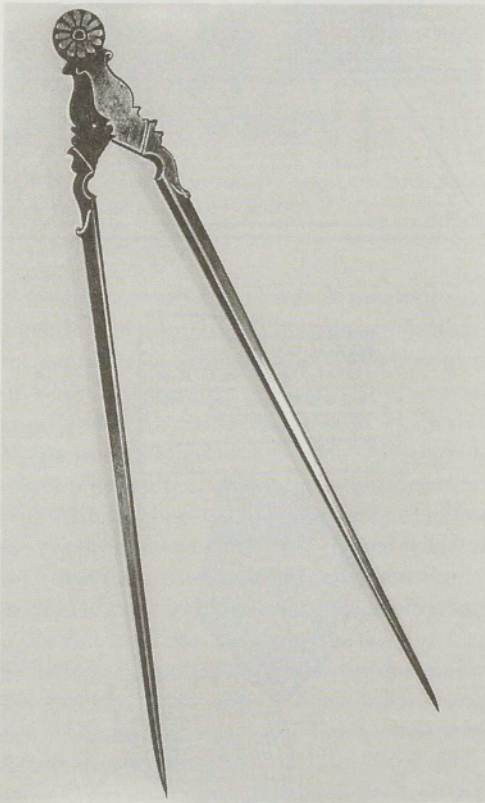


Abb. 25. Reißzirkel, sächsisch, 1. Drittel 17. Jh. (Staatlicher Mathematisch-Physikalischer Salon Dresden)

„... Aber die marscheider auff den Alpen ... so brauchendt sie ein schnur von bast gemacht, daran zedell gebunde seindt, die anzeigendt der lachtern zal; gebrauchte auch ein Compaß ... dan er hatt kein wechsenen circkel, sonder an ihr statt, haben sie ein zedell in der handt, in welchen sie ein jettliches teill des Compaß schreiben ... unnd zeichnendt die zal der lachtern.“

Eine vollständige Darstellung der Grubenverhältnisse war durch Erstellung eines Grundrisses, eines Aufrisses (Seigerrisses) und des Profils möglich.¹³³ Der Grundriß entstand durch Projektion der Grubenräume auf die Horizontalebene, der Seigerriß durch eine solche auf eine vertikale Hauptebene, die der Hauptlängsrichtung der Grubenbaue parallel lief. Daneben konnten noch Spezialrisse angefertigt werden. Auf den durch bergbauliche Messung entstandenen Grubenkarten sind mitunter die benutzten Markscheideinstrumente abgebildet.

1.6. Instrumente zum Aufzeichnen von Meßwerten (Zeichenhilfsmittel)

Das Festhalten der durch Messungen ermittelten Werte für Strecken, Richtungswinkel und sonstige Winkel erfolgte entweder durch Eintragen in Meßbücher oder durch unmittelbares Aufzeichnen im Gelände, wie z. B. beim Meßtischverfahren. Die in Meßbüchern vermerkten Meßwerte oder die im Gelände aufgezeichneten Grö-

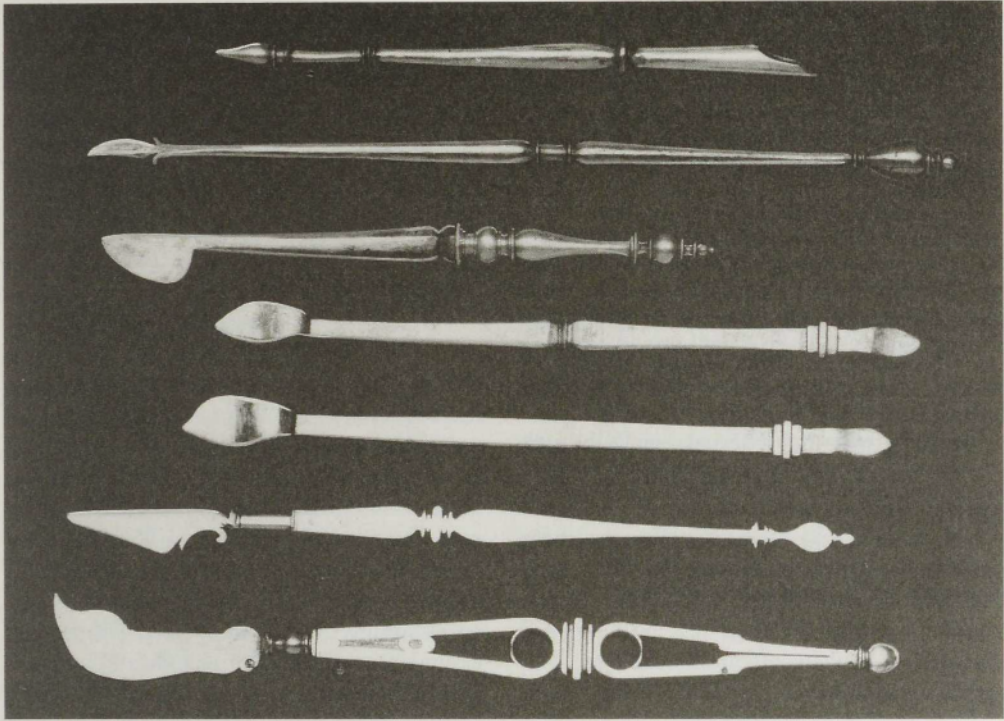


Abb. 26. Schreibfeder, Federmesser, Reißfedern und Radiermesser, deutsch, Ende 16. Jh. (Staatlicher Mathematisch-Physikalischer Salon Dresden)

ßen mußten anschließend kartiert werden (vgl. Abb. 22). Die wichtigsten Instrumente waren Lineal und Zirkel einschließlich notwendiger Schreib- und Korrekturgeräte sowie weiteren Ergänzungszubehörs, wie z. B. Reißschiene und Winkelmaß.¹³⁴ Für das Aufzeichnen von Winkeln wurden Winkelmesser bzw. Auftragsbussohlen (Tafel 3) benutzt. Die Grundformen von Lineal und Zirkel sind bereits seit dem Altertum bekannt. Lineale konnten zum maßstabgetreuen Übertragen gemessener Strecken auf Karten mit entsprechenden Maßeinteilungen versehen sein (Abb. 23, 24). Sie werden dann Proportional- oder Reduktionsmaßstäbe genannt. Zur Aufzeichnung senkrecht aufeinander stehender Linien, z. B. Nord-Süd- und Ost-West-Linien, dienten Reißschiene und Winkelmaß. Die Reißschiene besteht bekanntlich aus einem Lineal, das mit einem dazu senkrecht etwas überstehenden Lineal fest verbunden ist, so daß nach Anlegen an die Kante eines Reißbrettes oder an eine Linie die dazu senkrechte gezogen werden kann. Als Winkelmaß dienten entweder ein rechtwinkliges Dreieck oder zwei aufeinander senkrecht stehende Lineale, die fest verbunden waren oder um eine Achse gedreht und zusammengelegt werden konnten.

Der Zirkel besteht seit seinem frühesten Aufkommen aus zwei Schenkeln von Holz oder Metall mit geeigneten Spitzen, die sich um eine durch den Scheitelpunkt gehende Achse drehen lassen (vgl. Abb. 25). Bis zur Mitte des 16. Jh. erfolgte das Zeichnen von Kreisbögen oder Kreisen durch leichtes An- oder Einritzen mit anschließender freihändiger Nachzeichnung. Erst später wurden abfärbende Stifte direkt in eine Zirkelspitze eingesetzt. Mit Ziehfedern ausgestattete Zirkel werden in der Literatur erst in der Mitte des 17. Jh. beschrieben. Beliebige Winkel konnten mittels Winkelmesser, deren Aufbau dem heutiger Geräte entspricht, aufgezeichnet werden.

Obwohl Winkelmesser erst vom Ende des 16. Jh. bekannt sind,¹³⁵ dürften sie bereits vorher im Gebrauch gewesen sein, auch im Hinblick darauf, daß z. B. der Quadrant zur Messung von Winkeln im Gelände mit entsprechender Teilung versehen war. Auftragsbussohlen gestatteten eine direkte Aufzeichnung von Winkeln auf Papier oder Karton während des Meßvorganges (vgl. Abb. 12).

Für die perspektivische Darstellung u. a. von Landschaften wurden zwar verschiedene Geräte erdacht und beschrieben,¹³⁶ sie dürften aber wegen der komplizier-

ten und aufwendigen Handhabung nur eine begrenzte Anwendung gefunden haben.

Nachdem bis zum 15. Jh. zum Schreiben und Zeichnen Metallstifte aus Blei oder Silber und Rötel verwendet worden waren, setzten sich allmählich von der Mitte des 16. Jh. an Graphitstifte¹³⁷ durch. Häufig gebrauchte Schreib- und Zeichengeräte waren aber auch Federkiel und Pinsel.

Zum Einstellen der Strichstärke von Ziehfedern wurden von der 2. Hälfte des 16. Jh. an Schrauben benutzt. Als häufig gebrauchte Schreibflüssigkeit standen Tinte und Tusche zur Verfügung. Zum Korrigieren dienten im 15. Jh. Radierwasser und scharfkörnige Radierpulver aus Schmirgel. Vom 16. Jh. an läßt sich der Gebrauch von Federmessern bzw. Radiermessern (vgl. Abb. 26) nachweisen. Der Radiergummi wurde erst 1770 in England erfunden.

Die erwähnten Instrumente wurden im 16. Jh. in verschiedenen Formen, Ausführungen und auch Abwandlungen zum Zeichnen und Beschriften von Karten benutzt (vgl. Abb. 25).

Beim Druck von Karten fanden Holzschnitt- oder Kupferstichverfahren Anwendung. Zur Kolorierung dienten die damals üblichen Maltechniken.