

**Die vermutete landesweite topographische Bestandsaufnahme der Römer in Germanien
-möglicherweise durch Caesar begonnen und im Zuge der versuchten Eroberung Germaniens
während der römischen Kaiserzeit durch Drusus und Tiberius fortgesetzt**

von Jürgen Schulz im Januar 2010 , Oktober 2010 und Juni 2011

Über die Geschichte Roms und des römischen Imperiums gibt es inzwischen eine Menge neuerer Literatur. Die uns tatsächlich überlieferten literarischen Quellen stellen jedoch leider nur einen ganz geringen Bruchteil des ursprünglich Verfassten dar. Trotzdem gab dieses Wenige Anlass genug, in den letzten Jahrhunderten - insbesondere aber in letzter Zeit - sich immer öfter und intensiver mit dieser Materie zu beschäftigen und auseinanderzusetzen.

Unbestritten hat auch die Archäologie, deren Methoden zunehmend verbessert und damit verfeinert werden konnten, zu einer erheblichen zusätzlichen Erkenntnisgewinnung ihren Beitrag geleistet. Auch wenn inzwischen auf vielen Gebieten interdisziplinär gearbeitet und geforscht wird, gibt es dennoch Bereiche, die trotz ihrer großen Bedeutung bisher zu kurz gekommen sind. Hierzu gehört die Vermessung.

Vermessungsarbeiten werden nicht nur in den uns vorliegenden Quellen kaum benannt, sie spielen auch heute im Bewusstsein der Menschen nur eine untergeordnete Rolle, offenbar deshalb, weil einerseits das Endprodukt nicht sofort für jedermann ersichtlich ist, und andererseits oft nicht verstanden wird, was eine Vermessung tatsächlich alles beinhaltet und wie sie im Detail abläuft.

Beispiele dafür liefern z. B. Redakteure von Tageszeitungen, die zwar zu allen möglichen Themen Stellung nehmen, sich aber zu vermessungstechnischen Sachverhalten aus Unkenntnis meist falsch oder äußerst knapp äußern. Hier sollen nur zwei Beispiele benannt werden: Als die am 5.8.2010 im Bergwerk San José in Chile verunglückten 33 Bergleute am 13.10.2010 gerettet werden konnten, wurde über diese Rettung am 14. und 15.10.2010 in der NWZ auf mehr als drei Sonderseiten berichtet. Angeblich sollte der Schichtleiter „ ... *auch Kartograph* (gewesen sein, weil er) ... *die Orientierungskarten für die Schächte der Mine z e i c h n e t*.“ Mir ist unbegreiflich, wie bei einem derartig verzweigten Tunnelsystem und bei den äußerst präzisen Arbeiten im Markscheidewesen, der Schichtleiter neben seiner eigentlichen Tätigkeit zugleich auch noch in der Lage gewesen sein sollte, diese umfangreichen Arbeiten, die nur von einer Gruppe hochspezialisierter Fachleute erledigt werden kann, mit zu erledigen. Offenbar lagen aber präzise dreidimensionale Koordinaten über die Lage der einzelnen Gänge und Kammern vor, sonst hätte die Rettungsbohrung nicht so zielgerichtet bis in 620 m Tiefe erfolgen können!

Ein weiteres bezeichnendes Beispiel wurde bereits am nächsten Tage geliefert: Mit einer Extraseite wurde am 16.10.2010 der am Vortage erfolgte endgültige Tunneldurchbruch des Gotthard-Basistunnels gefeiert bei dem „ ... *die gewaltige Bohrmaschine Sissi endlich* (nach rund 25 jähriger Planungs- und Bauzeit) *die letzten anderthalb Meter Gestein wegfräste. Damit waren 57.000 Meter des Gotthard-Basistunnels freigelegt: Weltrekord!*“ Trotz der Superlative dieses Tunnels wurde der hierfür überhaupt die Voraussetzung schaffenden vermessungstechnischen Glanzleistung, deren Genauigkeit (Abweichung ≤ 1 cm!) betrug, nur indirekt durch zwei Worte gedacht: „ ... gelungene ... Präzision.“ Weitere anerkennende Worte darüber hinaus? Fehlanzeige! Dieselben Leute, die sonst keine Mühe haben, über alle möglichen Fragen des Alltags umfangreiche Stellungnahmen zu verfassen, verfallen zum Thema Vermessung plötzlich in eine geradezu bedrückende Sprachlosigkeit!

Möglicherweise war das in der Antike nicht wesentlich anders, denn nur mit der allgemeinen Unkenntnis der Menschen, was Vermessung im Allgemeinen und die konkrete Vermessungsausführung im Besonderen anbetrifft, kann der Grund für die geringe Beachtung gesucht werden. Die einerseits so eminent große Bedeutung der Vermessung und andererseits die doch so stiefmütterliche Behandlung derselben in der Berichterstattung ließe sich sonst nicht plausibel erklären.

Die vorliegende Untersuchung zum o. g. Thema hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, offenbare Ungereimtheiten zum Thema Vermessungen in der bisherigen Literatur über die Römer anzusprechen, offensichtliche Falschdarstellungen richtigzustellen mit dem Ziel, derartige Fehler künftig zu vermeiden. Es wird aufgezeigt, welche vermessungstechnischen Leistungen die Römer bereits in vorchristlicher Zeit vollbrachten. Hinsichtlich des Vormarsches in weitgehend unbekanntes Feindesland (welches Germanien war) werden die Mindestvoraussetzungen dargelegt, die vorliegen mussten, um überhaupt einen derartigen Vormarsch wagen zu können. Durch die Beschreibung des Ablaufes einer solchen Vermessung, die mit hoher Wahrscheinlichkeit fester Bestandteil des täglichen Truppenalltags war, der anschließenden Fehlerbetrachtungen und der daraus resultierenden Genauigkeitsabschätzung soll nicht nur die Machbarkeit meiner Vermutung aufgezeigt werden, sondern insbesondere auch dem interessierten Laien ein besseres Verständnis für diese notwendigen Arbeiten gegeben werden, weil nur hierdurch eine gerechtere Würdigung dieser beachtlichen Vermessungsleistungen in antiker Zeit möglich wird.

Die uns zur Verfügung stehenden Quellen berichten jedoch weder über eine Vermessung in Germanien, geschweige denn über eine größere Vermessung, die eine landesweite topographische Bestandsaufnahme sein könnte. So gesehen scheint die Beschäftigung mit einer bloßen Vermutung auf den ersten Blick überflüssig zu sein. Bei eingehenderer Auseinandersetzung mit den Römern, ihrer Zeit, ihren Bauten, ihrer militärischen Macht und ihren Absichten und schließlich mit der Geschichte des Vermessungswesens, welches mindestens 5000 Jahre umfasst, wird man jedoch zwangsläufig zu einer anderen Einschätzung kommen.

Vorweg ein kurzer Überblick über die Geschichte des Vermessungswesens:

Nach **Abendroth „Praxis des Vermessungsingenieurs“ Berlin, 1912** weisen *„eine Reihe verstreuter Spuren darauf hin, dass sich die **Geometrie** früher eines ganz besonderen Ansehens erfreut(e) und als die vornehmste Wissenschaft des Menschen“* galt. In *„Überlieferungen ... spielt die Geometrie eine beherrschende Rolle. Sie (war) der Inbegriff der exakten Wissenschaften und (galt) in ihrer praktischen Anwendung als ... höchste Kunst“*.

In der Öffentlichkeit trat die Geometrie inzwischen in den Hintergrund. In der Wissenschaft ist sie *„zu einem „Elementarfach“ hinab gesunken“* und *„an ihre Stelle (ist) die gelehrte „**Geodäsie**“ getreten.“*

Man unterscheidet heute höhere Geodäsie und niedere Geodäsie. Unter höherer Geodäsie wird die Erdmessung und die Landesvermessung verstanden, bei denen die Erdkrümmung eine wichtige Rolle spielt und daher nicht vernachlässigt werden darf, während unter niederer Geodäsie die einfachere Form des Feldmessens gemeint ist, die sich innerhalb eines kleineren Gebietes abspielt, wo die Erdkrümmung nur von untergeordneter Bedeutung ist und daher die zu vermessende Fläche ohne Genauigkeitsverlust als ebene Fläche angesehen werden kann. Diese Vermessung in der Ebene wird

auch als Stückvermessung bezeichnet. Der umfassend angewandte neue Begriff Geodäsie und die alte Geometrie sind im Grunde ein und dasselbe.

In der „*Alttertumsforschung* (wurde) festgestellt, dass sowohl die alten Assyrer und Babylonier wie die Ägypter besondere Feldmesser gekannt haben, was ... bei dem hohen Kulturstande jener Völker und bei ihrer ausgezeichneten Landwirtschaft ebenso wie bei der (beträchtlichen) Ausdehnung ihrer Städte als selbstverständlich erscheinen muss.“ Die Geschichte des Vermessungswesens vor über 5000 Jahren begann daher vermutlich in Babylonien.

Nach **Abendroth**, war Babylonien „die Heimat der Astronomie, ... Lehrmeisterin des klassischen Altertums in Bezug auf das Kalenderwesen und Begründerin unseres Zahlen-, Maß- und Gewichtsystems“. Ein „**altbabylonischer Felderplan** wies bereits (nach Hinrichs, Leipzig 1896) ...**den Babyloniern eine hohe Stellung in der Kenntnis des Feldmessens** (zu)“. Weiterhin zerlegten nach Abendroth die Babylonier „die von ihnen zu messenden unregelmäßigen Felderfiguren in rechtwinklige Dreiecke, Rechtecke und Trapeze und ermittelten sowohl Längen- wie Flächenmaße **doppelt**.“ Es ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass sie schon den Begriff des arithmetischen Mittels kannten, „...denn der o. g. Felderplan aus dem 3. Jahrtausend v. Chr. ... enthält Flächenangaben, welche ohne allen Zweifel als Mittelungen aus anderen, ebendort befindlichen Berechnungen anzusehen sind.“

Dass den Babyloniern auch der Kreis und die Sexagesimalteilung desselben bekannt waren, wurde bereits 1889 vom Berliner Assyriologen Lehmann nachgewiesen.

Nach den Babyloniern sind die Assyrer, Perser und Ägypter zu nennen. Nach Cantor, „*Römische Agrimensoren*“ (Teubner, Leipzig 1875), und Hübner, „*Heron von Alexandrien der Ältere* usw. (Z.f.V. 1887, S. 553), „... **ist der Ursprung einer eigentlich wissenschaftlichen Behandlung der Mathematik und die Geburtsstätte der praktischen Geometrie in Ägypten zu suchen**.“ Dort wurden die Grenzen „...der meist kleinen Parzellen, welche sich durch die Eigenart des Niltals gebildet hatten, alljährlich durch die (Nilüberschwemmungen) zerstört und mussten deshalb durch Flur- und Lagerbücher beurkundet werden, die von den Ortsschreibern ... geführt wurden und Lage, Grenzen, Nachbarn, Güte und Zugehörigkeit eines jeden Grundstücks auf das genaueste angaben“.

Nach Herodot sollen die Ägypter bereits 1700 v. Chr. ein richtiges Kataster gehabt haben. „*Nach ihm ist die Geometrie auf dem Umwege über die Phönizier und Chaldäer von den Ägyptern zu den Griechen gekommen, und zwar vornehmlich durch **Thales von Milet**, (~625 – 547 v. Chr.), der noch 600 v. Chr. in Ägypten Mathematik studierte*.“ Aber auch sein Schüler **Anaximandros** (~ 610 - 546 v. Chr.) darf in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben.

Über **Thales von Milet** werden uns in dem Buch „**Die Erfindung der Messkunst – Angewandte Mathematik im antiken Griechenland**“ von **D. Lelgemann**, der emeritierter Professor für astronomische und physikalische Geodäsie an der TU Berlin ist, u. a. folgende Aussagen antiker Zeitgenossen übermittelt:

Aetios: *Thales sagte als Erster, dass die Sonne durch den Mond verfinstert wird, indem dieser unter die Sonne tritt.*

Diogenes Laertios: *Nach einigen ist Thales der erste (Grieche), der sich mit Sternkunde befasste und Sonnenfinsternisse und Solstitien (Sonnenwenden) vorausgesagt hat, wie Eudemos in seiner Geschichte der Astronomie berichtet. Deshalb bewunderten ihn auch Xenophanes (~ 565- 470 v. Chr.) und Herodot (~490- 430 v. Chr.). Es bezeugen dies auch Herakleitos (~ 550- 480 v. Chr.) und Demokritos (~ 470- 380 v. Chr.).*

Apuleius: *Thales von Milet, gewiss der Größte unter jenen sieben überlieferten Männern der Weisheit (war er doch bei den Griechen der erste Erforscher der Geometrie und ein äußerst zuverlässiger und erfahrener Beobachter der Natur und der Sterne) hat die größten Dinge mit einfachen Linien erforscht:*

- *Den Kreislauf der Jahreszeiten,*
- *Das Wehen der Winde (Windrichtungen, Windrose),*
- *Den Gang der Sterne (um die Nord- Südpol- Achse),*
- *Das tönende Wunder des Donners,*
- *Die gekrümmten Bahnen der Gestirne (Sonne/Mond/Planeten),*
- *Die jährlichen Sonnenwenden (Sommer-/Wintersolstitien),*
- *Das Wachsen des neuen, die Abnahme des alternden und das Verschwinden des dahingehenden Mondes.*

Ebenso hat er, bereits im Alter, ein göttliches Zahlenverhältnis bei der Sonne beschrieben, ..., nämlich: Wie oft die Sonne mit ihrer Größe den Kreis misst, den sie durchläuft.

Nach Lelgemann berichtet **Diogenes Laertios**, „... dass Thales das Verhältnis des Winkeldurchmessers der Sonne zu ihrem Umlaufkreis zu 1:720 (= 30') gemessen habe und er auch dasselbe Verhältnis für den Mond fand. Später hat Archimedes dafür angegeben: $(90^\circ/200) < \delta < (90^\circ/164)$ bzw. $27' < \delta < 33'$ “.

Nach Lelgemann entdeckte Thales vieles selbst, „ ... von vielem aber überlieferte er die Anfänge seinem Nachfolger. Das eine machte er **allgemeiner**, das andere **sinnlich** fassbarer“.

Ein Beispiel dafür ist die unzugängliche Entfernungsmessung, die Thales am Beispiel der Höhenmessung der Pyramiden vollzog. Hier wurde zu einem einheitlichen Gedanken verbunden:

- Die Schattenmessung und
- die Bestimmung eines Dreiecks durch eine Seite und die beiden anliegenden Winkel

Wie Thales vorging wird nachfolgend von Diogenes Laertios, Plinius und Plutarch berichtet:

Diogenes Laertios: *Hieronymus von Rhodos, ein Schüler des Aristoteles, berichtet, Thales habe die Höhe der Pyramiden mittels des **Schattens** (der Sonne - Richtiger: Mittels des von der Sonne erzeugten Pyramidenschattens*) gemessen, indem er zu der Zeit beobachtete, wenn der unsrige mit uns von gleicher Höhe ist.*

Plinius: *Das Höhenmaß der Pyramiden und aller ähnlicher Körper zu gewinnen erfand Thales von Milet, indem er den **Schatten** (der Sonne - *wie vorstehend) maß zur Stunde, wo er dem Körper gleich ist.*

Plutarch: *Obschon er auch um anderer Dinge Dich (Thales) bewundert, so schätzt er doch über alles die Messung der Pyramiden(-höhe). Nämlich, dass Du ohne alle Mühe und ohne eines Instrumentes zu bedürfen, sondern indem Du nur den Stock in den Endpunkt des **Schattens** stellst, den die Pyramide wirft, aus den durch die Berührung des Sonnenstrahls entstehenden zwei Dreiecken zeigtest, dass der eine Schatten zum anderen dasselbe Verhältnis hat wie die Pyramide zum Stock.*

Dieses Beispiel verdeutlicht in hervorragender Weise, wie durch aufmerksame Naturbeobachtung eine auf Erfahrung und Wissen gegründete Kenntnis erworben wurde. Mit einfachsten Hilfsmitteln (Stock) eröffneten sich ungeahnte Möglichkeiten, die durch die eigene Geisteskraft (wenn man sie denn hatte) nur **erkannt** werden mussten!

Nach Diogenes Laertius hat **Anaximandros** der Schüler des Thales als erster den Gnomon erfunden und in Sparta einen auf einer Platte aufgestellt, der auch die Solstitien (Sonnenwenden) und Äquinoktien (Tag- und Nachtgleiche) anzeigt. Weiterhin berichtet Eratosthenes von Anaximandros, dass er der Erste war, der eine Karte der „*Oikumene*“, (der gesamten, damals bekannten und bewohnten Welt) gezeichnet habe.

Nach Abendroth haben dann die Griechen etwa 550 v. Chr. durch Anaximandros die Sonnenuhr oder den Gnomon und die Zwölftelung des Tages von den Babyloniern kennen gelernt. *„Der Gnomon hat nach Herodot den Babyloniern und Ägyptern, welche es ebenfalls von den ersteren kennen gelernt haben, nicht nur zur Bestimmung der Tageszeit, sondern auch der Mittagslinie irgend eines beliebigen Ortes gedient, an dem er zu diesem Zwecke aufgestellt worden war, und zwar in der Weise, dass die beiden Berührungs- oder Schnittpunkte des Schattens eines senkrecht stehenden Stiftes mit einem und demselben Kreise aus einer Anzahl konzentrisch um den Stift geschlagenen Kreise genau beobachtet wurden. Die Halbierungspunkte der von beiden Berührungspunkten begrenzten Bögen, verbunden mit dem Fußpunkt des Zeigerstiftes, gaben den Meridian des Standortes“.*

Ebenfalls um das Jahr 550 v. Chr. begannen, nach Abendroth, „*die Griechen den Ruhm der ersten Mathematiker damaliger Zeit an sich zu reißen. Neben Thales waren es **Pythagoras** (geb. ~580 v. Chr. auf Samos) und nach ihnen **Sokrates** (geb. ~469 v. Chr.) und sein Schüler **Plato**, welche sich um die Pflege der Geometrie besonders verdient machten.*“ Soll doch über der Tür des Auditoriums Platons die Aufschrift „**Kein der Geometrie Unkundiger trete hier ein**“ gestanden haben!

Beeinflusst durch die Überlieferungen von großen Seereisen der Phönizier und Karthager, hatte sich **Aristoteles** (~384 - 322 v. Chr.) sehr eingehend mit der Erdgestalt beschäftigt und war zu dem Schluss gekommen, „*dass die Erde notwendig eine Kugel sei.*“

Aber erst mit **Eratosthenes** (~275 - 194 v. Chr.) „*trat die griechische Geometrie in das Stadium ein, welches für die Geodäsie im modernen Sinne bedeutungsvoll wurde, nämlich in das der Gradmessung.*“

Nach Abendroth „*... hatte die griechische Wissenschaft ihren Hauptsitz in **Alexandria** an der Nilmündung. Dort wirkten nacheinander die großen Geometer **Heron** von **Alexandrien** (~284 - 221 v. Chr.), **Eratosthenes** (~275 - 194 v. Chr.) und **Claudius Ptolemäus** (um 130 n. Chr.), von denen der erste für seine Zeit und für die Dauer von fast 2000 Jahren (bis zur Neuzeit) das beste Lehrbuch über praktische Geometrie geschrieben hat, der zweite die erste Gradmessung zur Bestimmung des Erdumfanges zwischen Alexandria und Syene (am Nil in Oberägypten) ausgeführt*

und der dritte endlich die besten, noch heute gültigen, Kartenprojektionen erfunden hat (Er gilt als „... der Schöpfer der wissenschaftlichen Kartographie.“)

Heron beseitigte die alten überlieferten Näherungsformeln und setzte an ihre Stelle strenge; er verbesserte das Diopter und legte in ihm den Grundstein zu dem späteren Astrolabium und Theodoliten. In seinem ... Werk „Über das Diopter“ stellte er 33 Aufgaben auf und brachte ihre Lösungen, welche das A und O aller Feldmesskunst bis zur Neuzeit ausmachten. Auch unterwies Heron im Gebrauch der Signalstangen (mit Zielscheiben besser Anzielvorrichtungen), der Kreuzscheibe (des „Sternes“), der Kanalwaage, des Distanzmessers und erfand die Berechnung des Dreiecksinhaltes aus den 3 Seiten $F = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$. Ihm verdanken die berühmten römischen Agrimensoren, deren Kunst später über Frankreich nach Deutschland kam, ihre ganzen Kenntnisse, derart, daß J o r d a n in Z.f.V. 1876, S. 122, von ihnen sagt: „Die Römer mögen in der Feldmeßkunst einige praktische Neuerungen eingeführt haben, in der Feldmeßwissenschaft haben sie nur abgeschrieben.“

Eratosthenes beobachtete am Tage des Sommersolstitiums (des Tages mit dem höchsten Sonnenstand) dass nur an diesem Tage zur Mittagszeit die Sonne in einem tiefen Brunnen, der sich in „Syene“ befand, voll hineinschien ohne einen Schatten zu werfen. Daran erkannte er, dass die Sonne zu diesem Zeitpunkt im Zenit stehen müsse. In Alexandria dagegen hatte er offenbar zuvor am selben Jahrestage die mittägliche Zenitdistanz mit $7^{\circ} 12'$ bestimmt. Abendroth schreibt hierzu: „... unter der Annahme, daß Alexandria und Syene unter dem gleichen Meridian lägen (was bei weitem nicht zutrifft), ... nahm (er) die zwischen beiden Orten auf 5000 Stadien geschätzte Entfernung deshalb $= 7^{\circ} 12'$ oder gleich dem 50. Teil des Erdumfangs an und berechnete damit den letzteren auf 250000 Stadien, also, da 1 Stadio = 185,18 m ist, den Erdquadranten auf 11 573 750 m, während er nach neuester Messung fast genau 10 000 000 m lang ist.“ D. h.: Etwa 15,5 % zu lang!

Neuere Untersuchungen

Die von Abendroth im Jahre 1912 angegebene Lebenszeit des Heron von Alexandria mit (~284 - 221 v. Chr.) ist vermutlich nicht richtig. Die Lebensdaten waren offenbar lange Zeit sehr umstritten. Lt. **Wikipedia** „muss (Heron) gemäß den Quellen **nach** Archimedes, aber vor Pappos gelebt haben, d. h. ... zwischen 200 v. Chr. und 300 n. Chr. . Otto Neugebauer hat 1938 jedoch gezeigt, dass er wahrscheinlich im 1. Jahrhundert n. Chr. lebte. Denn in Herons Werk Dioptra wird eine Mondfinsternis erwähnt, die zehn Tage vor dem Frühlingsäquinoktium gesehen worden sei. Seine Angabe, dass sie in Alexandria in der 5. (Nacht-)stunde auftrat, führt für den Zeitrahmen 200 v. Chr. bis 300 n. Chr. **eindeutig zur Mondfinsternis vom 13. März 62 (julianisch). Damit muss Heron im oder nach dem ersten Jahrhundert gelebt haben.**“ Diese Angabe erfährt mit „1. Jh. n. Chr. (?)“ im Kleinen Lexikon der Antike, 6. Auflage v. Otto Hiltbrunner eine gewisse Bestätigung. Weiterhin wird in der Geographica von Strabon (64 v. Chr. – 19 n. Chr.) Heron überhaupt nicht erwähnt. Möglicher Grund: Er war zu Strabons Lebzeiten noch nicht geboren oder noch nicht bekannt, was ebenfalls für eine spätere Zeit spricht. Schließlich wird auch bei Vitruv (~84 v. Chr. – 20 v. Chr.) Heron nicht erwähnt, obwohl Vitruv in seinem Werk „Zehn Bücher über Architektur“ unter **10. 17** diejenigen explizit benennt, die „... über den Beruf des Architekten hinaus (wachsen) und ... Mathematiker (werden)“ und damit ... „mit mehr Waffen der Wissenschaften ausgerüstet sind. Solche Leute ... findet man selten, wie es z. B. vor Zeiten Aristarchos aus Samos, Philolaos und Archytas aus Tarent,

Apollonios aus Pergae, Eratosthenes aus Kyrene, Archimedes und Skopinas aus Syrakus gewesen sind ...“ Die Nichterwähnung von Heron an dieser Stelle spricht ebenfalls dafür, dass dieser zu einem späteren Zeitpunkt lebte.

In seinem Buch „Die Erfindung der Messkunst - Angewandte Mathematik im antiken Griechenland“ (Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2010) auf S. 55 – 56 stellt Dieter Lelgemann fest:

„Eratosthenes von Kyrene wurde um 245 v. Chr. von Ptolemaios III. Euergetes ... zum Erzieher des Kronprinzen, des späteren Königs Ptolemaios IV. Philopator ... berufen und 235 (v. Chr.) zum Leiter der Bibliothek ernannt, eine sicherlich sehr bedeutende Position am Hofe der ptolemaischen Könige. Genannt wurde er „Pentathos“ (Fünfkämpfer), weil er gleichermaßen auf fünf verschiedenen Gebieten Ausgezeichnetes leistete:

- *Geodäsie/Astronomie/Messkunst,*
- *Geographie,*
- *Chronographie/Literaturgeschichte,*
- *Grammatik/Dichtkunst/Sternsagen,*
- *Ethik.*

Seine naturwissenschaftlichen Arbeiten betrafen insbesondere die Geographie und die zur Erstellung der Karte der Oikumene (der damals bekannten und bewohnten Welt) notwendigen astrogeodätischen Methoden. Genaue Karten waren sicherlich von größtem Interesse für das Militär und die Verwaltung des riesigen ptolemaischen Imperiums, das sich in Nord- Südrichtung von den Dardanellen über Alexandria und Syene (dem heutigen Assuan) bis in den Sudan erstreckte. Es galt, die von dem Heer Alexanders des Großen in Asien erfassten Vermessungsdaten mit den Daten des Timosthenes und des Pytheas für den Westen auszuwerten und zu einer Karte zu vereinigen. Hinzu kamen (vermutlich) noch Daten der ptolemaischen Armee und der Flotte speziell für das von den ptolemaischen Königen regierte riesige Gebiet.

Zur Verknüpfung der astronomischen Breitenbestimmung mit den Entfernungsmessungen ... musste der Erdumfang möglichst genau bestimmt werden; die Bestimmung des Erdumfangs war insofern von größter praktischer Bedeutung für die Kartenerstellung. Eine Analyse der überlieferten literarischen Informationen zusammen mit archäologischen Befunden der antiken Ellen/Fuß- Maßeinheiten ergab, dass Eratosthenes folgende Stadiondefinition benutzte:

1. *1 Gudea- Fuß = 264,55 mm*
2. *1 Stadion Eratosthenes = 600 Gudea-Fuß = 600 x 0,26455 m = **158,73 m.***

*Damit hat er den Erdumfang ermittelt zu 252 000 Stadien x 158,73 m = **39 999,960 km** ein fast unglaublich genauer Wert (im Verhältnis zu 40.075 km für den Äquatorumfang bzw. 40.008 km für die Meridianbogenlängen), der für eine extrem weit entwickelte Messkunst des Eratosthenes spricht.“*

Da es offenbar noch bis in jüngster Zeit ein heiß umstrittenes Diskussionsthema war, welche der vielen Stadiondefinitionen Eratosthenes bei seiner Angabe des Erdumfangs zu 252.000 Stadien benutzt hat, kommt D. Lelgemann in seinem o. g. Buch nach umfangreichen Überprüfungen und Nachrechnungen der weiteren von Eratosthenes berechneten geographischen Koordinatenangaben für die neue Erstellung der Karte der Oikumene, welche vom Atlantik bis Indien reichte, zu dem

Ergebnis, dass „**die Karte der Oikumene des Eratosthenes ... eine Genauigkeit von besser als 1° (aufwies), also durchaus vergleichbar mit einem modernen Atlas (war).**“ Das Ergebnis diverser Einzelpunktüberprüfungen führte zu dem Ergebnis: „**Alles in allem ergibt eine Überprüfung der Angaben des Eratosthenes mit der Realität keine schlechten Resultate.**“

Weiterhin führt D. Lelgemann auf S. 206 aus: „**Der Referenzmeridian des Eratosthenes war nicht durch Städte, sondern durch markante, unvergängliche Geländemarken festgelegt.**“ Hierbei ist zu beachten, dass gerade diese charakteristischen „markanten und unvergänglichen Geländemarken“ nicht nur ein präzises Anzielen ermöglichten, sondern dasselbe auch mit großer zeitlicher Unbegrenztheit gewährleisteten, was, insbesondere bei einem hohen Genauigkeitsanspruch einer Vermessung als unverzichtbar angesehen werden muss!

Schließlich führt D. Lelgemann auf S. 222 aus: „**Nimmt man die hohe Genauigkeit nicht zur Kenntnis, mit der Eratosthenes von Kyrene nicht nur den Umfang der Erde und die Astronomische Einheit bestimmt, sondern auch eine Karte der Oikumene erstellt hat, so erhält man ein verzerrtes Bild über den hohen Stand, den die Naturwissenschaften Geodäsie und Astronomie bereits im Altertum erreicht hatten. Strabon stellt genug Informationen zur Verfügung, um diese Genauigkeit anhand moderner Informationen zu überprüfen. Zu Recht wurde die Karte der Oikumene des Eratosthenes im Altertum hoch gerühmt; sie war das Werk eines hochbegabten „Mathematikos“. Die hier vorgenommene Analyse beruht vor allem auf der Identifizierung von Thapsakos als ein zentraler Punkt am Südrand des Tauros, ferner der Identifizierung der Kyanea- Klippen, der Kaspischen Pforten, der Quelle des Gilgit/Indus sowie des mysteriösen Vorgebirges im Osten der Oikumene. Die drei Bücher seiner Geographie enthielten mutmaßlich eine Beschreibung seiner Methoden sowie eine generelle Beschreibung der Oikumene anhand markanter topographischer Geländemarken ...**“

Aufgrund dieser neuen und offenbar umfangreichen Untersuchungen durch D. Lelgemann hat es den Anschein, dass es ihm gelungen ist, durch Rekonstruktion der antiken Messverfahren und Messinstrumente einerseits und insbesondere der Überprüfung der Messergebnisse auf Plausibilität und anschließender Auswertung andererseits, zu Ergebnissen zu kommen, die zu einer erstaunlich hohen Genauigkeit führen, welche bisher nicht für möglich gehalten wurde. Wird die Richtigkeit seiner Analyse unterstellt, bleibt festzustellen, dass offenbar wieder einmal die Leistungsfähigkeit eines antiken Wissenschaftlers erheblich unterschätzt wurde!

Warum sollte das eigentlich nur auf Eratosthenes beschränkt sein? Es könnte doch auch für die anderen herausragenden Wissenschaftler der damaligen Zeit in ähnlicher Weise gelten. Jeder Wissenschaftler der diesen Namen verdient, wird immer den Gedankenaustausch mit seinesgleichen und anderen Wissenschaftlern suchen, weil sich nur hierdurch und erst hieraus die fruchtbarsten Ideen und Gedanken entwickeln können. Das ist heute, im Internetzeitalter, besonders einfach. Das war damals erheblich schwieriger, aber vom Grundsatz des gegenseitigen Austausches her wird es damals nicht wesentlich anders gewesen sein. Aus diesem Grunde hat auch jeder immer auch von den anderen profitiert mit der Folge, dass vermutlich das Gesamtniveau der damaligen Wissenschaft (hier Messtechnik, Mathematik und Astronomie) insgesamt von der Nachwelt erheblich unterschätzt wurde. Wenn man das unterstellt, wird man zugleich davon ausgehen können, dass dann auch die Leistungsfähigkeit der anderen, von den Griechen lernenden Völker, insbesondere der damaligen

Römer, eine höhere gewesen sein dürfte. Nur wir heutigen Zeitgenossen unterschätzen offenbar in unserer modernen Überheblichkeit diese wieder einmal, so wie viele weitere praktische Fähigkeiten der Römer auch heute noch laufend unterschätzt werden, weil wir uns einerseits im Internetzeitalter und mit Hilfe modernster Technik und wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden der Antike haushoch überlegen fühlen und uns möglicherweise gerade deshalb andererseits vielfach nicht die Mühe machen, uns intensiv, zum Zwecke des besseren Verstehens, in die Situation der Römer hineinzusetzen, sie damit fälschlicherweise mit unseren heutigen Maßstäben messen, und deshalb oft ihre wahre Leistung verkennen.

Würde das Maß der Unterschätzung, also der Unterschätzungsgrad, den die Römer von uns heute lebenden Menschen aus Unkenntnis nach wie vor erfahren, am Quotienten aus der Anzahl der bisher gefundenen und dokumentierten Römerkastelle zu den tatsächlich errichteten (aber noch nicht offiziell gefundenen) festgemacht, würde es vermutlich manchen Zeitgenossen vor Verwunderung die Sprache verschlagen.

Es kann also, nach Lelgemann, folgendes festgehalten werden:

- 1.) *Der Ursprung der Meßkunst waren praktische Bedürfnisse.*
- 2.) *Meßkunst beruht auf Maßeinheiten, Meßinstrumenten, Meßmethoden und Meßzahl-Verknüpfungen mittels geometrischer Konstrukte.*
- 3.) *Der Ursprung der Mathematik war die Meßkunst.*
- 4.) *Das Resultat jeder Meßkunst sind numerische Angaben.*

Tatsächlich benötigt die Messkunst die Mathematik als ihre Sprache; denn jede Maßzahl ist eine reine Verhältniszahl und zu deren Verknüpfung sind mathematische Gleichungen erforderlich. Alle menschliche Erkenntnis ist (nach Nietzsche) entweder Erfahrung (Experimente/Messungen) oder Mathematik (Gleichungen).

Das Grundkonzept der Geodäsie, wie die angewandte Geometrie seit den Griechen bis heute genannt wird, besteht zunächst darin, durch die Messung von Strecken und Winkeln zugänglicher Größen jene Ausgangsdaten zu ermitteln, aus denen dann wiederum (durch weitere Winkelmessungen oder nur durch Berechnungen) unzugängliche Strecken (Höhe einer Pyramide, Entfernung über einen Fluss, Entfernung zu Schiffen, weit entfernte Inseln im Meer etc.) bestimmt werden können.

Aber nicht nur durch die Messkunst wurde in der Antike bedeutendes geleistet. Aus der hieraus resultierenden Mathematik und Astronomie leitete der römische Architekt **Vitruvius** (~ 84 – 20 v. Chr.) offenbar seine Ansicht her, dass Mechanik auf Astronomie beruht. Er äußert sich über die praktische Anwendung astronomischen Wissens folgendermaßen:

„Eine Maschine ist ein beständiges, (in sich geschlossenes), aus Holz zusammengesetztes Gebilde. Es ist besonders befähigt, Lasten zu bewegen. Sie wird durch kreisförmige Umdrehungen, künstlich in Bewegung gesetzt (das sind: die Steigemaschine „akrobatikon“, die durch Luftdruck in Bewegung gesetzte „pneumatikon“ und die Zug-Hebemaschine „baroulkon“).

Sowohl Werkzeuge wie Maschinen sind für die praktische Betätigung notwendig, weil ohne sie keine Arbeit bequem ausgeführt werden kann.

*Alle mechanischen Einrichtungen aber sind von der Schöpferkraft der Natur vorgeschaffen; sie sind von ihr als der Lehrerin und Lehrmeisterin durch die **Umdrehung des Weltalls** gelehrt ...*

Da also unsere Vorfahren bemerkt hatten, dass dies so ist, nahmen sie von der Natur her ihre Vorbilder, ahmten sie nach und, angeleitet von den göttlichen Werken, schufen sie für ihr Leben entsprechende Einrichtungen.

Und so führten sie, damit es leichter geschehe, manches durch Maschinen und deren Umdrehungen, einiges durch Werkzeuge aus und ließen es sich so angelegen sein, das, was nach ihren Beobachtungen nützlich zu gebrauchen war, mit Eifer, Geschicklichkeit, Gedankenaustausch Schritt für Schritt methodisch zu verbessern.“

Die Römer waren Pragmatiker. Flavius Josephus übermittelt uns in seinem Buch „Der Jüdische Krieg“ unter (3. Buch, 5. Kapitel) eine hervorragende Schilderung des römischen Heer- und Lagerwesens, welche uns einen tieferen Einblick gestattet. Hierzu führt er u. a. aus:

Durch Klugheit verstanden es die Römer, den Tross der Sklaven nicht nur zu den Dienstleistungen des täglichen Lebens, sondern auch für die Kriege brauchbar zu machen. Insbesondere im Hinblick auf ihr Heerwesen bleibt festzustellen, dass sie den Besitz ihres großen Reiches nicht etwa als Geschenk des Glücks, sondern dasselbe vielmehr nur ihrer eigenen Tüchtigkeit verdanken.

Ihre Erkenntnis über die Wichtigkeit und der großen Bedeutung von rechtzeitigen vorbereitenden Tätigkeiten ließ sie so leben, *„als wären sie in den Waffen geboren und aufgewachsen“*. Sie waren *„ ... in beständiger Übung derselben und warten nicht erst bestimmte Zeiten dafür ab. Bei ihren Übungen zeigen sie denselben straffen Ernst wie im wirklichen Gefecht, und täglich muss jeder Soldat mit allem Eifer Dienst tun wie im Kriege. Daher kommt es, dass sie die Schlachten so leicht nehmen; kann doch weder Verwirrung ihre gewohnte Schlachtordnung auflösen, noch Furcht sie außer Fassung bringen, noch Anstrengung sie erschöpfen. Stets ist ihnen deshalb der Sieg über diejenigen sicher, welche ihnen in jenen Stücken nicht völlig gleich stehen. Recht treffend könnte man ihre Übungen unblutige Schlachten, ihre Schlachten blutige Übungen nennen.“*

In Feindesland lassen sie sich nicht eher auf eine Schlacht ein, als bis sie ein festes Lager aufgeschlagen haben. Dieses Lager wurde weder aufs Gradewohl noch in unregelmäßiger Form angelegt, und schon gar nicht arbeiten alle durcheinander daran. Vielmehr war alles bis ins Detail derart durchorganisiert, dass jeder Einzelne genau wusste, welche Arbeiten von ihm wann zu verrichten waren.

Da der Lagerbau immer wieder nach demselben, tausendfach bewährtem Schema erfolgte, waren sowohl die einzelnen Abmessungen in zweckmäßigster Form als auch die für die Herstellung erforderlichen Arbeitsabläufe der Truppe und ihren Handwerkern hinreichend bekannt. Deshalb konnte die Außenverschanzung und die ganze innere Lagereinrichtung von den zahlreichen und geschickten Arbeitern mit großer Schnelligkeit vollendet werden.

War das Lager errichtet, lagerten die Soldaten in Ruhe und Ordnung in den Zelten. Alle übrigen Arbeiten wurden von denjenigen Abteilungen, die an der Reihe waren, mit derselben Regelmäßigkeit und Pünktlichkeit vollzogen, wie Holztragen, Herbeischaffung des Proviantes, Wasserholen etc. Essen, Schlafengehen, Aufstehen erfolgten nicht nach Belieben, sondern auf Kommando durch ein Trompetensignal. Beim Verlassen des Lagers wurde dieses in Brand gesteckt, zum einen deshalb, weil

die Truppe an dieser Stelle mit leichter Mühe ein neues errichten konnte, insbesondere aber um zu verhüten, dass der Feind sich dieser von ihnen geschaffenen Vorteile bedienen konnte.

Die Ausrüstung und Bewaffnung der einzelnen Soldaten war durch langjährige Erfahrungen immer wieder optimiert worden. Während der Schlachten geschah nichts ohne vorherige Überlegung. Jeder Handlung lag ein bestimmter Plan zugrunde, so dass dem Entschluss auch gleich die Ausführung folgen konnte. Deshalb kamen Fehler selten vor und jeder Verstoß konnte leicht wieder gutgemacht werden.

„Ein Unfall als Folge eines zuvor entworfenen Planes ist ihnen immer noch lieber als ein Glück, das ihnen der Zufall verschafft“, weil sie der Meinung sind „ ... dass ein ohne Zutun des Handelnden gewonnener Vorteil zur Unvorsichtigkeit verleite, während vernünftiges Nachdenken, wenn es auch einmal nicht vom Glück begünstigt sei, das edle Streben im Gefolge habe, künftiges Misslingen zu verhüten.“

*„Der Gehorsam gegen die Führer ist ... so groß, dass das ganze Heer im Frieden den Anblick einer Parade, in der Schlacht den eines einzigen Körpers darbietet – so fest gefügt sind die Reihen, so leicht die Schwenkungen, so gespannt die Ohren auf die Befehle, die Augen auf Winke, so tatbereit die Hände. Daher sind die römischen Soldaten stets rasch zum Handeln entschlossen und nur sehr schwer in eine bedrängte Lage zu bringen. **Stehen sie einmal in Schlachtordnung, so weichen sie weder der Überzahl noch der Kriegsliste, noch der Schwierigkeit des Terrains, noch selbst der Ungunst des Glückes; denn fester als an letzteres glauben sie an den Sieg“.***

Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass ein Volk, welches erst nach gründlicher Überlegung handelt, und das sich stets auf ein schlagkräftiges Heer stützen konnte, in der Lage war, die Grenzen seines Reiches derartig auszudehnen.

Wird diese Situationsbeschreibung zu Grunde gelegt und auf dieser Basis der ernsthafte Versuch unternommen, sich mit den Römern und ihrer Zeit gründlich zu beschäftigen mit dem Ziel, durch das Hineinversetzen in die damalige Zeit gründlicheres Verständnis zu gewinnen, beginnt man mit dem Blick auf die vollbrachten Leistungen zu ahnen, dass erheblich mehr, als zuvor angenommen, dahinter stecken musste. Aber erst wenn man unmittelbar vor den Ruinen ihrer ursprünglich gigantischen Bauwerke steht, und gewissermaßen die Atmosphäre dieser vergangenen Zeit atmend anfängt zu begreifen, welche ungeheuren Leistungen tatsächlich von ihnen vollbracht wurden, beginnt man den Römern überhaupt erst einigermaßen gerecht zu werden.

Obwohl sie offenbar mit „Eifer und Geschicklichkeit“ vermutlich auf allen Gebieten bemüht waren, methodische Verbesserungen zu erreichen, wurde ihnen in der Geschichte der Geodäsie bisher die Fähigkeit eine Landesvermessung durchzuführen abgesprochen, weil ihnen, wie Abendroth in seinem umfangreichen Lehrbuch „Die Praxis des Vermessungsingenieurs“ feststellt, „ ... eine allgemeine Landesvermessung mit grundlegender Triangulation“ und die „ Kenntnis des Koordinatenrechnens“ noch fremd war. Es wurden wieder einmal die Fähigkeiten der Römer unterschätzt, denn man war der Auffassung, „ ... alle ihre Aufnahmen waren rein lokaler Natur und bauten sich ausschließlich (derart) auf rechtwinkligen Koordinaten auf, dass durch die aufzunehmende oder zu teilende Feldmark zuerst mit Hilfe des Gnomon eine Nordsüdachse ... und, möglichst in der Mitte derselben, genau rechtwinklig dazu, die Ostwestlinie gelegt, ... und das Land durch Parallele zu beiden Linien,

also durch Quadrate oder Rechtecke, aufgeteilt wurde. Die unregelmäßigen Umringsgrenzen der so geteilten Fläche wurden von den Verbindungslinien geeignet gelegener Eckpunkte des Rechtecknetzes aus, also von polygonal angeordneten Hypothenusen, deren Koordinaten unmittelbar gegeben waren, rechtwinklig aufgemessen.“

Diese Rechtwinkelmethode wurde überall im Imperium erfolgreich angewandt. Dank dieser Methode erhielt jeder neu zu gründende Ort und jedes Kastell eine Ordnungsstruktur, welche für die Römer typisch war.

Aber auch in den von den Römern im Laufe der Zeit eroberten Gebieten, insbesondere aber in den Gebieten wie dem barbarischen Germanien, wo es vermutlich noch überhaupt keine ordnende Struktur gab, war es sinnvoll, nach abgeschlossener Eroberung und Befriedung diese Ordnungsstruktur langfristig einzuführen. Trotzdem muss die uneingeschränkte Richtigkeit dieser Darstellung nach dem oben Dargelegten angezweifelt werden, weil für unterschiedliche Bedürfnisse andere Vermessungsverfahren geeigneter sein könnten.

Wie hat man sich das vorzustellen? Wie soll das praktisch erfolgt sein und kann das wirklich alles an vermessungstechnischem Wirken in Germanien gewesen sein? War es für die Römer nicht schon viel früher notwendig und unverzichtbar, über jedes neu zu erobernde Gebiet möglichst gut Bescheid zu wissen?

So wie ein Feldzug nicht spontan, gewissermaßen aus einer Augenblicksentscheidung heraus begonnen wird (und bei den Römern nach dem oben dargelegten schon gar nicht), sondern vielmehr im Vorfeld eine gründliche Planung voraussetzt, wird auch der Vormarsch während des Feldzuges nicht ohne Planung und Vorbereitung ins Blaue hinein erfolgt sein.

Weil Planungsarbeiten im Gelände Vermessungsarbeiten voraussetzen, im zu erobernden Feindesland letztere verständlicherweise nicht oder nur selten und nie gefahrlos durchzuführen waren, verdeutlicht ihre Notwendigkeit und Dringlichkeit im Augenblick des eigenen Truppenvormarsches umso mehr.

Aus diesem Grunde erscheint es wenig überzeugend, dass ausgerechnet die pragmatischen Römer den Vormarsch ohne begleitende Vermessung durchgeführt haben sollen. Angesichts ihrer organisatorischen Fähigkeiten und der sonst auf allen Kriegsschauplätzen von ihnen praktizierten gründlichen, durchdachten und systematischen Vorgehensweise, aber insbesondere ihrer angewandten Taktik und Strategie würde der Verzicht auf eine begleitende Vermessung total widersprechen. Aus diesem Grunde erscheint mir diese Handlungsweise **einfach undenkbar!**

Wenn auch die Römer eine allgemeine Landesvermessung mit grundlegender Triangulation und auch die Kenntnis des Koordinatenrechnens noch nicht kannten, **so wird ihnen die Fähigkeit, im Gelände Winkel und Strecken zu messen, nicht abzusprechen sein!**

Führen wir uns weiter vor Augen, dass es gerade die Römer waren, die durch gigantische Bauwerke, insbesondere die Aquädukte, welche z. T. aus großer Entfernung beträchtliche Wassermengen nach Rom leiteten, bereits in vorchristlicher Zeit die Fähigkeit für die Durchführung beachtlicher Vermessungsleistungen unter Beweis stellten.

Beim Aquäduktbau sind die entscheidenden Punkte der Anfangspunkt (Quellpunkt) und der Endpunkt (Entnahmepunkt). Was dazwischen liegt wird zwar einerseits durch physikalische Gesetze

diktiert, kann aber andererseits nur durch eine vorausgehende Vermessung eine sinnvolle Gestaltung erfahren. So ist z. B. die optimale Streckenführung, aber insbesondere die äußerst präzise Höhenmessung mit dem Ziel, das Wasser über die gesamte Strecke mit möglichst gleichmäßigem Gefälle zum Zielpunkt zu führen, ohne vorausgehende Vermessungsarbeiten nicht denkbar.

Auch wenn das beabsichtigte Ziel, ein möglichst gleichmäßiges Gefälle über größere Entfernungen zu erreichen nicht immer gelang, half man sich dadurch, lange Trassen in mehrere Baulose zu unterteilen. Hierdurch wurde der unvermeidlich entstehende Fehler infolge des fortgesetzten Austafelns reduziert, weil am Anfang und Ende eines Bauloses eine Kontrolle durch einen Höhenfestpunkt möglich war.

Bei eventuell auftretenden Höhenversprüngen konnte durch den Einbau von Tosbecken die zerstörerische Kraft des Wassers an diesen Sollstellen vernichtet- und damit Beschädigungen am Bauwerk vermieden werden.

Trotz dieser Schönheitsfehler kann festgestellt werden: Für die damalige Zeit war das vermessungstechnische- und bautechnische Können eine gigantische und phantastische Leistung zugleich!

Über die römischen Wasserleitungen besitzen wir aufgrund ihres im allgemeinen sehr guten Erhaltungszustandes und der Abhandlung des Frontinus, der im Jahre 97 n. Chr. oberster Aufseher über das Wasserleitungssystem war (Curator aquarum und damit direkt dem Kaiser unterstand), genaue Kenntnisse. In seinen Aufzeichnungen sammelte er eine Menge wertvoller Nachrichten verschiedenster Art; von der Lage und Ergiebigkeit der Quellen, über den Verlauf und die Kapazität der Leitungen bis hin zur Anzahl und Organisation der Angestellten dieses wichtigen Teils der römischen Verwaltung. Da die Nachrichten aus offizieller Quelle stammen, sind sie denkbar genau und zuverlässig.

Nach den Angaben von Frontinus wurden folgende sieben Wasserleitungen in vorchristlicher Zeit erbaut:

1. **Aqua Appia**, 312 v. Chr. von dem Censor Appius Claudius Caecus gebaut. Länge: 16.561 m, Kapazität: 73.000 m³ Wasser/Tag.
2. **Anio Vetus**, 272 v. Chr. von dem Censor Manius Curius Dentatus gebaut. Länge: 63.640 m, Kapazität: 175.920 m³ Wasser/Tag.
3. **Aqua Marcia**, 144 v. Chr. von dem Praetor Q. Marcius Rex erbaut ist noch heute eine der wichtigsten Wasserleitungen Roms. Länge: Etwas mehr als 91 km, Kapazität: 187.600 m³ Wasser/Tag.
4. **Aqua Tepula**, 125 v. Chr. von den Censoren Cn. Servilius Caepio und L. Cassius Longinus begründet. Sie war eine der kleinsten Wasserleitungen. Länge: Keine Längenangaben gefunden. Kapazität: 17.800 m³ Wasser/Tag.
5. **Aqua Julia**, 33 v. Chr. von Agrippa gebaut. Länge: 21.677 m, Kapazität: 48.240 m³ Wasser/Tag.
6. **Aqua Virgo**, 19 v. Chr. durch Agrippa gebaut. Länge: Keine Angaben gefunden. Kapazität: 100.160 m³ Wasser/Tag.
7. **Aqua Alsietina**, 2 v. Chr. durch Augustus gebaut. Länge: 32.815 m, Kapazität: 15.680 m³ Wasser/Tag.

Damit bleibt festzustellen: Dieses beachtliche vermessungstechnische Können wurde von den Römern in **vorchristlicher Zeit, allein für die Wasserversorgung Roms, mindestens sieben Mal unter Beweis gestellt!**

Aber nicht nur hier wurde von Ihnen Großes vollbracht. Drusus baute 12 v. Chr. den Drususkanal, der aus dem Rhein in die Yssel und so durch den Zuyder See in die Nordsee führte und somit die kürzeste Verbindung darstellte. Ein gigantisches Projekt von etwa 40 km Länge. Wie sollte das wohl ohne vorhergehende Vermessung möglich gewesen sein?

Auch der Hadrianswall wurde nicht irgendwo, sondern genau an der schmalsten Landstelle errichtet. Ohne vorausgehende Vermessung ist das ebenfalls undenkbar.

Tiberius hat den Germanicus nicht ohne Grund im Jahre 17 n. Chr. aus Germanien abberufen. Einerseits tat er das aufgrund seiner eigenen langjährigen Kriegserfahrungen in Germanien und andererseits aufgrund der aktuellen Leistungen des Germanikus mit seinen ursprünglich immerhin 8 Legionen, die inzwischen erhebliche Verluste zu verzeichnen hatten. Vermutlich wird Tiberius über die jugendliche Kühnheit des Germanicus nicht glücklich gewesen sein, weil der Preis für dessen Vorgehensweise beträchtliche Verluste an Menschen und Material zur Folge hatte. Tiberius eigene Strategie war eine andere gewesen, die weniger Blutzoll kostete und trotzdem von größerem Erfolge gekrönt war. Offenbar war Tiberius infolge seiner eigenen Lebenserfahrung mehr der Ansicht des Augustus, welcher der Meinung war, dass nichts weniger zu einem vollkommenen Feldherrn passe als Übereilung und Verwegenheit. Daher waren die Lieblingsprüche des Augustus:

- Eile mit Weile.
- Besser ein wohlbedächtiger, als ein kühner Feldherr.
- Schnell genug geschieht was ordentlich geschieht!

Wenn dann aber noch eine weitere neue Erkenntnis hinzukam, die Tiberius zum Zeitpunkt seines eigenen Oberkommandos in Germanien noch nicht hatte, nämlich die tatsächliche Größe Germaniens mit der sich nach Osten erweiternden Landmasse, ließ sich nach Gesamtkennntnis dieses Sachverhalts die grundlegende Entscheidung, ob dieser Krieg mit erfolversprechender Aussicht weitergeführt werden konnte oder nicht, erheblich leichter treffen. Tiberius traf im Jahre 17 n. Chr. diese Entscheidung, die das Ende der römischen Okkupation Germaniens bedeutete, und die mit hoher Wahrscheinlichkeit zugleich die einzig richtige Entscheidung war. Woher sollte er diese genauere Erkenntnis über die tatsächliche Größe Germaniens haben? Ohne eine vorhergehende Vermessung, deren abschließende Auswertung (Kartierung der erfassten Gesamtsituation) welche zwischenzeitlich abgeschlossen sein konnte, ist das nicht denkbar. Mit den persönlich gemachten Erfahrungen in Germanien, den bisherigen Verlusten an Menschen und Material in den vergangenen Jahren, dem mageren Gewinn, der bisher aus Germanien gezogen werden konnte und jetzt auch noch in Kenntnis der Gesamtsituation hinsichtlich der tatsächlichen Größe des gesamten Landes, insbesondere aber im Hinblick auf den bisher eroberten geringen Teilbereich, konnte er nichts besseres tun, als die sinnlosen Kämpfe sofort einzustellen.

Umfangreiche Planungsarbeiten, deren anschließende Umsetzung erhebliche organisatorische Maßnahmen zur Folge hatten, waren hierfür zwingend notwendig. Die notwendigen Planungsarbeiten basierten wiederum auf einem Plan, der seinerseits nur durch vorausgehende Vermessungsarbeiten erstellt werden konnte.

Damit bleibt festzustellen:

Ohne Vermessung kein Lageplan, ohne Lageplan keine wirkliche Planung, ohne Planung keine organisatorische Umsetzung und ohne Umsetzung keine Erstellung von Bauvorhaben oder Realisierung sonstiger Projekte!

Damit ist die Vermessung die Grundlage jeder sinnvollen Planungsarbeit überhaupt!

Johann Wolfgang von Goethe kleidet die Bedeutung des Vermessens in folgende Worte:

„Die **Kunst des Messens** unterwirft dem Menschen die Welt,
Durch die **Kunst des Schreibens** hört seine Erkenntnis auf,
so vergänglich zu sein, wie er selber ist.
Sie beide geben dem Menschen,
was die Natur ihm versagt:
Allmacht und Ewigkeit.“

Unter Allmacht und Ewigkeit verstehe ich allerdings etwas ganz anderes. Wie ist das zu erklären? Offenbar neigen Menschen dazu, andere zu unterschätzen, während sie sich selbst überschätzen. Vermutlich war auch Goethe hiervon nicht frei, denn es hat den Anschein, dass auch er nicht immer in der Lage war, für jede Situation die passendsten Worte zu finden. Dem Menschen wird hierdurch weder „Allmacht“ noch „Ewigkeit“ gegeben! Diese Behauptung ist vermessen und zugleich sachlich falsch! Allenfalls könnte hier von **Einfluss und Dauer** über den Tod hinaus gesprochen werden.

Die vermutete landesweite Bestandsaufnahme

Als Augustus den Ereignissen des Jahres 16 v. Chr. Taten folgen ließ und Drusus und Tiberius mit der Eroberung Germaniens beauftragte, war das barbarische Germanien für die Römer ein noch fast unbekanntes Land. Als Caesar (*Caesar 4. Buch Nrn. 18 u. 19*) durch den nur 10 Tage dauernden beeindruckenden Brückenbau über den Rhein erstmals im Jahre 55 v. Chr. den Germanen nicht nur eine Machtdemonstration des römischen Imperiums vor Augen führte, sondern durch den Übergang seiner Legionen über diese Brücke und den 18 tägigen Aufenthalt auf rechtsrheinischem Gebiet zugleich demonstrierte, dass diese Macht nicht am Westufer des Rheins endete, war deutlich geworden, wie wichtig bei einer möglichen Eroberung dieses Landes eine begleitende Vermessung sein würde. Möglicherweise hatte Caesar sogar damit begonnen.

Ein weiterer Brückenschlag (*Caesar 6. Buch Nr. 29*) erfolgte 53 v. Chr., der ein wenig oberhalb der ersten Stelle lag. Dieser diente zwar offiziell der Verfolgung der Sueben, aber wer weiß, zu welchem Zwecke Caesar darüber hinaus diese weitere Unternehmung noch anordnete? Vermutlich wird ihm spätestens jetzt die Notwendigkeit klar geworden sein, bei einer möglichen, aber erst zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführenden Eroberung Germaniens nicht ohne Vermessung auskommen zu können, **weil insbesondere im unübersichtlichen und vielfach mit Wäldern bedeckten Gelände eine sichere Orientierung ohne Vermessung nicht möglich gewesen wäre!**

Zur Eroberung Germaniens war es also von größtem Interesse, zur Sicherheit der eigenen Truppe die Orientierung nicht zu verlieren und darüber hinaus aus strategischer Sicht die Ausdehnung des zu erobernden Landes und die Lage der sonstigen wichtigen topographischen Gegebenheiten und Besonderheiten bestmöglich zu kennen. Kurzum: Es war wichtig zu wissen, auf **welchen Wegen die Legionen am zweckmäßigsten vorstoßen konnten, wo sich entlang dieses Weges am besten**

Kastelle zur Truppenversorgung etc. einrichten ließen, wo sich germanische Ansiedlungen befinden, und wo die sonstigen strategisch wichtigen und topographisch bedeutsamen Gegebenheiten (z. B. die Ausdehnung der Wälder, Flüsse und deren Verlauf, Einmündungen in andere Flüsse, Berge und der Verlauf von Gebirgszügen etc.) sich befinden. Insbesondere um bestimmte Stellen jederzeit wiederfinden zu können, war eine Vermessung aller wichtigen Gegebenheiten einfach unerlässlich.

Am besten wäre es allerdings gewesen, wenn diese Informationen bereits vor Beginn des Feldzuges durch Drusus und Tiberius (12 v. Chr.) vorgelegen hätten. Wenn das nicht der Fall gewesen sein sollte, blieb den Römern nichts anderes übrig, als das schnellstmöglich nachzuholen.

Wie konnten derartige Vermessungsarbeiten unbehindert durch die dort ansässigen Germanen vorgenommen werden?

Man kann davon ausgehen, dass ohne die eigene schützende Truppenmacht in der Nähe keine römischen Landvermesser germanisches Gebiet vermessen konnten. Hätten sie es dennoch gewagt, wäre das für sie vermutlich lebensgefährlich gewesen. Daher bot sich an, diese Arbeiten **während des Vormarsches der Legionen von den Truppenvermessern durchführen zu lassen**. Schließlich wurden diese Vermessungstrupps nicht nur mit der allabendlichen Lagerabsteckung betraut, sie konnten tagsüber auch mit anderen Vermessungsaufgaben beschäftigt werden.

Weil beim Vormarsch der Truppe die Vermessungstrupps ohnehin mit vor Ort waren, bot sich ihnen Schutz durch die eigene Truppenmacht. Das eröffnete nicht nur die Chance zur gefahrlosen Vermessung des Landes, sondern darüber hinaus dieselbe auch mit minimalem Aufwand durchzuführen, weil durch die Anwesenheit mehrerer Vermessungstrupps Arbeitsteilung durch gegenseitige Unterstützung möglich wurde. Es erscheint unvorstellbar, dass die Römer diese Chance ungenutzt verstreichen ließen!

Nun schreibt Plinius der Ältere in seiner NK 4, 98: *„Am ganzen Meere aber bis zum Flusse Scaldis wohnen die Völker Germaniens, wobei die Ausdehnung nicht zu ermitteln ist: So maßlos ist die Widersprüchlichkeit der Gewährsleute. Die Griechen und manche der Unsrigen überlieferten als Küste Germaniens 2.500 Meilen, Agrippa bestimmte, mit Rätien und Noricum, als Länge 636 Meilen, als Breite 388 Meilen, obgleich die Breite Rätiens, das etwa zur Zeit seines Todes unterworfen wurde, allein fast größer war; denn Germanien wurde (erst) viele Jahre danach und nicht einmal vollständig bekannt.“*

Auf den ersten Blick scheint diese Darstellung meiner vermuteten Vermessung während des Truppenvormarsches zu widersprechen, weil bei Durchführung einer Vermessung die Größenverhältnisse klarer gewesen wären. Plinius, der seine NK mehr als 50 Jahre später schrieb, hätte darüber – so könnte man annehmen - eigentlich besser Bescheid wissen müssen. Stattdessen gibt er hier nur widersprüchliche Angaben von verschiedenen Gewährsleuten wieder, die auf keine bessere Kenntnis hindeuten.

Als Tiberius starb, befand sich Plinius d. Ä. noch im Knaben- bzw. jugendlichen Alter. Er musste deshalb nicht zwingend alles, was Tiberius insgesamt über Germanien erfahren hatte, in späterer Zeit ebenfalls in Erfahrung gebracht haben. Es erhebt sich daher die Frage, ob dem von Plinius unter NK

4, 98 geschilderten Sachverhalt tatsächlich ein derartiges Gewicht beizumessen ist, welches geeignet ist meine Vermutung zwingend auszuschließen.

Plinius d. Ä. beschäftigte sich nicht nur mit Geschichtsschreibung, Grammatik und Rhetorik, sondern betätigte sich zugleich auch noch als Naturforscher. Seinem dabei entwickelten Sammeleifer, ja seinem ungeheuren Fleiß beim Zusammentragen einer gigantischen Materialmenge, die trotzdem einer gewissen Ordnung nicht entbehrte, kann nur höchste Anerkennung gezollt werden. Trotzdem blieb es ihm offenbar versagt, Dinge in größerem Zusammenhang zu sehen oder gar in Neuland vorzustößen. Angesichts seiner gigantischen Arbeitsleistung in relativ kurzer Zeit verliert die Aussagekraft des o. g. Textes allein deshalb schon an Gewicht, weil er sich auf Informanten stützte, die widersprüchliche Aussagen machten. Ihm selbst dürfte nicht Zeit genug geblieben sein, um dieselben einer kritischeren Hinterfragung und einer gründlicheren Recherche zu unterziehen.

Während seiner eigenen Tätigkeit in Germanien könnte Plinius durchaus hin- und wieder Meßtrupps begegnet sein, die sich mit derartigen Vermessungen beschäftigten. Vermutlich wird ihm dann, wenn er sie nach ihrer Tätigkeit ausgefragt haben sollte, die Information genügt haben, dass durch diese Tätigkeit die Marschroute der Truppe und sonstige strategisch wichtige topographische Gegebenheiten dokumentiert werden konnten. Das allein war ja bereits eine ganze Menge Information. Dass aber darüber hinaus diese Informationen (nach erfolgter innendienstlicher Bearbeitung!) auch noch zu ganz anderen Zwecken genutzt werden konnten, muss sich ihm, der zugleich an so vielen anderen Dingen ebenfalls stark interessiert war, nicht unbedingt und schon gar nicht zwingend vollständig offenbart haben. Aus diesem Grunde erscheint mir die Aussagekraft der widersprüchlichen Informationen nicht geeignet, meine Vermutung ernsthaft in Frage zu stellen. Gerade wegen der pragmatischen Handlungsweise der Römer und der zwingenden Notwendigkeit dieser Vermessung erscheint mir die Wahrscheinlichkeit hierfür erheblich höher zu sein.

Außerdem werden die Ergebnisse einer derartigen Vermessung einer strengen, wenn nicht sogar der strengsten Geheimhaltung überhaupt unterworfen gewesen sein. Friedrich der Große hatte z. B. bei Todesstrafe verboten, vorliegendes Kartenmaterial überhaupt zu kopieren, was zeigt, welchen Stellenwert die Geheimhaltung derartiger Karten genoss! Warum sollte das bei den Römern anders gewesen sein?

Wie hätte man sich eine derartige Vermessung im Rahmen des Vormarsches der Legionen konkret vorzustellen?

Um den Verlauf des Weges oder die Positionen der sonstigen Topographie zu erfassen, waren Strecken und Winkel zu messen. Wenn von einem lagemäßig bekannten und örtlich festgelegten Geländepunkt ausgegangen wird, ist jeder weitere beliebige Geländepunkt durch zwei Bestimmungsmaße festgelegt:

1. durch die **Richtung** vom bekannten Ausgangspunkt zum zu bestimmenden Neupunkt und
2. durch die **Entfernung** vom bekannten Ausgangspunkt zum zu bestimmenden Neupunkt.

Die zu messenden Strecken waren für die Dokumentation des Wegeverlaufs diejenigen zwischen den einzelnen Wegeknickepunkten. Indem auf den Wegeknickepunkten noch zusätzlich die Winkel gemessen wurden, konnte daraus das Maß der Richtungsänderung ermittelt werden. Seitwärts des

Weges liegende Topographie konnte durch weitere Richtungsmessungen auf den Wegeknickepunkten mit angemessen werden. Die Streckenmessung zu den seitwärts liegenden Objekten musste entweder direkt erfolgen oder konnte bei größeren Entfernungen auch indirekt durch bloße Winkelmessung von zwei verschiedenen aber bekannten Standpunkten (z. B. Wegeknickepunkten) vorgenommen werden, wenn von beiden Punkten direkte Sichtverbindung zum aufzumessenden Objektpunkt möglich war.

Die **Streckenmessung** könnte von den Römern mit Meßstangen oder Meßlatten durchgeführt worden sein, welche vermutlich eine Einteilung in röm. Fuß (0,2963 m) hatten. Da diese Meßlatten naturgemäß nicht allzu lang gewesen sein können, hatten sie möglicherweise eine Länge von 10 Fuß = 2,963 m. Während für kurze Streckenmessungen die Verwendung derartiger Meßlatten ausreichte, werden bei längeren Strecken Meßseile geeigneter gewesen sein.

Zur korrekten Vermessung mussten die Meßlatten horizontal aneinander gelegt werden. Da das insbesondere im leicht bergigen Gelände einen großen zusätzlichen Aufwand bedeutete (notwendige Ablotungen), wird man bei größeren Strecken, insbesondere um kleinere Geländeeinschnitte besser überbrücken zu können, mit Meßseilen, die eine Länge von 100 Fuß oder sogar 200 Fuß hatten, erheblich besser bedient gewesen sein. Bei den Ägyptern waren bereits über tausend Jahre vorher Meßseile im Gebrauch, weswegen die Griechen den altägyptischen Feldmessern die Bezeichnung „Seilspanner“ gaben. Ich gehe deshalb davon aus, dass ähnliche Seile auch von den Römern, möglicherweise in verbesserter Form, benutzt wurden.

Nehmen wir also an, dass die Streckenmessungen im Wesentlichen mit Meßseilen von 100 Fuß Länge erfolgten, die n - mal nacheinander aneinander zu legen waren, und das Reststück, welches keine volle Seillänge mehr ergab, mit Meßlatten gemessen wurde.

Wird z.B. eine zu messende Strecke von 1000,00 m Länge unterstellt, müsste das Meßseil in voller Länge (29,63 m) 33 mal horizontal und mit einer möglichst konstanten Zugspannung aneinandergelegt werden (= 977,79 m), und die verbleibenden 22,21 m wären dann durch siebenmaliges horizontales Aneinanderlegen der Meßlatten in voller Länge ($7 \times 2,963 \text{ m} = 20,741 \text{ m}$) und einmal für das Reststück ($1 \times 1,469 \text{ m}$) zu messen.

Die Durchführung einer **Winkelmessung** setzt zunächst das Vorhandensein einer Kreisscheibe mit gleichmäßiger und präziser Unterteilung dieses Kreises in 360° und soweit möglich auch noch mit der weiteren Unterteilung in Bogenminuten voraus. Es leuchtet ein, dass die Kreisunterteilung dann umso besser und genauer durchgeführt werden kann, je größer die Kreisscheibe ist. Andererseits muss die Kreisscheibe aber eine handliche Größe haben, damit mit derselben die anstehende Arbeit problemlos erledigt werden kann. Als einigermaßen geeignet stelle ich mir eine Scheibengröße mit einem Durchmesser von $d = 3$ röm. Fuß ($3 \times 0,2963 \text{ m} = 0,8889 \text{ m}$) vor. Gemäß der Formel $U = \pi \times d$ beträgt dann der Umfang dieser Scheibe und damit des Kreises 2,793 m. Nach Unterteilung in 360° liegen dann zwischen zwei benachbarten Grad-Markierungen nur noch ($2,793 \text{ m} : 360 = 0,00775 \text{ m}$) = 7,75 mm, sodass durch eine weitere Unterteilung allenfalls noch für die fünf 10-Bogenminutenintervalle Platz wäre, welche dann nur noch knapp 1,3 mm auseinander lägen. Auch wenn in diesem Falle kaum eine weitere Unterteilung auf eine Bogenminute praktisch möglich wäre, ließe sich dennoch mittels einer intelligenteren Ablesevorrichtung die Ablesegenauigkeit auf $1/100$ Grad steigern, d. h. auf $\pm 0,6$ Bogenminuten!

Für die praktische Durchführung der Winkelmessung würden benötigt:

1. Ein Stativ (Dreibein) mit einem darauf befindlichen Stativteller, der fest mit dem Stativ (mittels Schrauben) verbunden werden kann, und auf welchem die Kreisscheibe seinerseits drehbar um ihren Mittelpunkt aufgesteckt und hierdurch befestigt wird.
2. Ein auf der Kreisscheibe im Zentrum befestigtes und um diesen Punkt drehbares Lineal, welches gleichsam wie der Kreisdurchmesser über den gesamten Kreis verläuft und mittels Schraubvorrichtung festgestellt werden kann. Auf diesem Lineal müsste am Anfang und am Ende eine Anzielvorrichtung vorhanden sein, welche die präzise Anzielung eines Objektpunktes ermöglicht und gleichzeitig mittels des Lineals zur Kreisablesung geeignet ist.
3. Zur Horizontierung des Horizontalkreises bedarf es einer Horizontierungsmöglichkeit (z. B. Libellen). Alternativ: Kreuzförmiges Gefäß, das parallel zur Oberfläche des Horizontalkreises montiert und mit Wasser zu füllen wäre, so dass mit Hilfe der Wasseroberfläche die Horizontalstellung des Teilkreises gewährleistet werden könnte.
4. Entsprechend senkrecht zum Horizontalkreis müsste auf dem Lineal noch eine höhenverstellbare Zieleinrichtung angebracht werden, mit der auch Höhenwinkel gemessen werden könnten. Die Nullstellung des Höhenkreises wäre dann durch das analoge Anbringen einer Höhenindexlibelle zu realisieren, durch eine Senkrechte zur Wasseroberfläche oder im einfachsten Falle durch ein in Ruhe befindliches freischwingendes Lot.

Mithilfe eines derartig einfachen Winkelmeßgerätes, zu dessen Herstellung die Römer durchaus in der Lage gewesen sein dürften, hätten die erforderlichen Winkelmessungen durchgeführt werden können. Bisher wurde ein derartiges Winkelmeßgerät jedoch nicht gefunden.

Stattdessen wurde erstmals in Pompeji eine offenbar noch gut erhaltene Groma gefunden. Im VDV-Magazin Nr. 5/2010 stellt Dipl.- Ing. Dr. Klaus Grewe, Swisttal, in seinem Aufsatz „*Die Groma – das genial einfache Winkelkreuz der römischen Landmesser*“ diese Groma vor. Da „*ihr Aufbau und ihre Handhabung noch lange nicht aus der Diskussion (sind und) die Quellenlage zu ihrer Beschreibung gar nicht so dürftig (ist)*“ beschreibt Grewe das Gerät so gründlich wie möglich nach dieser Quellenlage.

Sie bestand aus einem Stabstativ und einem Winkelkreuz. Das Stabstativ hatte am unteren Ende einen aus Eisen und Bronze bestehenden Fuß, der in einer Spitze endete und oben einen ausgeprägten Rand hatte, der das Eintreten in den Boden ermöglichte. Am oberen Ende war das Stabstativ mit einem Zapfen versehen, auf dem ein drehbarer Auslegearm aufgesetzt werden konnte. Am Ende des Auslegers wurde das ebenfalls drehbare Achsenkreuz aufgesetzt. An den vier Enden der Achsen des Winkelkreuzes hing jeweils an einer Lotschnur ein Lot. Die einander gegenüberliegenden Lotschnüre realisierten damit eine Visierlinie, die infolge ihrer rechtwinkligen Anordnung (Winkelkreuz) es ermöglichten rechte Winkel abzustecken. Der Auslegearm war notwendig, um die freie Sicht über jeweils zwei gegenüberliegende Lotschnüre zu gewährleisten.

Durch Grewes Beitrag wurde klar, dass die Groma nur zur Absteckung rechter Winkel diene. Sie war damit ein Vorläufer des heutigen Winkelprismas, mit dem ebenfalls schnell und bequem rechte Winkel überprüft oder im **Nahbereich** abgesteckt werden konnten. Jede Anwendungsmöglichkeit darüber hinaus, wie sie von Grewe angeführt wurde, ist jedoch zu pauschal und damit irreführend.

Als Ergebnis meiner Untersuchungen bleibt festzustellen, dass die von Grewe behauptete „größtmögliche Präzision“ der Groma weder in der Theorie noch durch die Testmessungen bestätigt werden konnte. Für den Nahbereich bis (~ 30 m) kann die Genauigkeit in vielen Fällen als ausreichend angesehen werden. Für größere Entfernungen (bis ~ 100 m) und gute Bedingungen

vorausgesetzt, könnte die Genauigkeit im Einzelfall auch noch ausgereicht haben. Über 100 m hinaus konnte die Groma selbstverständlich auch dann noch eingesetzt werden, wenn es nur um die *u n g e f ä h r e* Absteckung eines rechten Winkels ging. Für präzise Absteckungen in diesem Bereich war sie dagegen ungeeignet. Zu diesem Zwecke eignete sich nur die konsequente Anwendung des **Satzes des Pythagoras**.

Für diejenigen, die hiermit trotzdem nichts anfangen können, sei auf meinen o. g. Beitrag „Die Genauigkeit der Groma- Untersuchungen zur Genauigkeit und zur tatsächlichen Praxistauglichkeit“ verwiesen. Hier wurde die praktische Anwendung, wie sie mit einfachsten Mitteln auch von den Römern hätte angewendet werden können, beschrieben.

Da es aber im Gelände überwiegend nicht um rechte Winkel, sondern um beliebige Winkel geht, könnte möglicherweise auch ein in Form einer Groma gebautes, aber mit beweglichen und feststellbaren Achsen und einer zusätzlichen Kreisscheibe mit Winkelteilung versehenes Gerät als einfaches Winkelmessgerät verwendet worden sein. Wenn mittels der jeweils gegenüberliegenden (auf einer Achse) befindlichen Lotschnüre zunächst die Zieleinstellung erfolgte und anschließend über dieselben Lotschnüre die entsprechende Winkelablesung auf der Kreisscheibe erfolgen sollte, wäre eine möglichst hohe Anbringung dieser Scheibe knapp unterhalb der Lotaufhängung sinnvoll, weil hierdurch die Fehlereinflüsse infolge der unvermeidlichen Lotschwingungen auf ein Minimum reduziert würden, und außerdem die Winkelablesung bequem in Augenhöhe möglich wäre.

Man sollte dann allerdings annehmen, dass eine Scheibe mit Winkelteilung, die eine Präzisionsarbeit darstellte, auf Bronze vorgenommen wurde. Wenn das aber dennoch auf Holz geschah, konnte möglicherweise ein derartiges Gerät in Pompeji deshalb nicht gefunden werden, weil eine aus Holz gefertigte Kreisscheibe infolge des Ascheregens vermutlich verbrannte.

Wahrscheinlicher ist jedoch, dass zur Winkelmessung eine Dioptra verwendet wurde.

Eine Dioptra war ein geodätisches Instrument, das vermutlich zuerst durch Heron von Alexandria beschrieben, aber bereits wesentlich früher erfunden wurde. Sie kann deshalb als früher Vorgänger des Theodoliten, mit dem beliebige Winkel gemessen werden können, angesehen werden, weil die Erfindung des Theodoliten im 16. Jahrhundert offenbar erst durch die Beschreibung der Dioptra bei Heron von Alexandria angeregt wurde.

Gemäß den Angaben aus Wikipedia besteht die Dioptra *„aus einem senkrechten Holzzylinder, der eine drehbare Scheibe axial trägt, die mit einer Gradeinteilung (versehen) ist. Außerdem ist auf dieser Scheibe eine horizontale Achse hervorgehoben, die an ihren beiden Enden mit Aufsätzen versehen ist, in die man Sichtschlitze eingefügt hat. Mit Hilfe dieser Schlitze (die je nach ihrer Größe möglicherweise auch noch mit einem Fadenkreuz versehen waren) lässt sich ein Ziel präzise(r) (anzielen). An ihrer Unterseite ist die Scheibe mit einer halbkreisförmigen, gezahnten Bronzeplatte verbunden und lässt sich damit justieren. Dieser ganze bislang beschriebene obere Teil der Dioptra ruht wiederum auf einer Scheibe, die für sich drehbar und durch Spindeln justierbar ist. Heron von Alexandria erwähnt im Zusammenhang mit der Dioptra auch eine Wasserwaage – einen (etwa) zwei Meter langen horizontalen Stab, der zwei miteinander verbundene Wasserbehälter trägt.“*

Diese Wasserwaage diente vermutlich zur exakten Horizontaljustierung des Horizontalkreises und war damit zugleich zwingende Voraussetzung und Basis zur Messung von korrekten Höhenwinkeln.

Der **Gnomon** ist ein frühes astronomisches Instrument in Form eines senkrecht stehenden Stabes, mit dessen Hilfe die Länge und die Richtung des durch die Sonne erzeugten Schattens gemessen werden konnte. Es gab ihn bereits in Babylon. Auf einer babylonischen Tontafel aus der Zeit um 2300 v. Chr. sind die Schattenlängen eines Gnomons zu verschiedenen Zeiten angegeben. Auch Eratosthenes verwendete bei seiner Gradmessung zur Bestimmung des Erdumfangs um 225 v. Chr. einen Gnomon.

Mit zunehmender Sonnenhöhe am Vormittag wird die vom Gnomon erzeugte Schattenlänge entsprechend kürzer. Die Sonne erreicht am Mittag (im Ortsmeridian stehend) ihren Höchststand mit der Folge, dass genau in diesem Augenblick die vom Gnomon erzeugte Schattenlänge zum Minimum wird und zugleich der Schatten selbst die Nordrichtung kennzeichnet. Danach beginnt der Sonnenstand wieder zu sinken und die Schattenlänge vergrößert sich.

Zur Bestimmung der Nordrichtung mit dem Gnomon sind zunächst um das Gnomonzentrum mehrere Kreise zu ziehen. Der durch die Sonne erzeugte Schattenwurf schneidet jeden dieser Kreise einmal am Vormittag (V_i) und einmal am Nachmittag (N_i). Die Nordrichtung ist dann die Winkelhalbierende der jeweiligen Schenkelpaare zu V_i und N_i . Das Verfahren kann zur Genauigkeitssteigerung mit den Schnittpunkten an den verschiedenen Kreisen wiederholt werden.

Unabhängig davon, wie die verwendeten Geräte nun tatsächlich aussahen, dürfte doch klar geworden sein, dass die Römer über Geräte verfügten, mit deren Hilfe rechte Winkel, beliebige Winkel, und Strecken gemessen werden konnten. Da diese Geräte nicht nur im zivilen Bereich sondern insbesondere im militärischen gebraucht wurden, ist ebenfalls von einer Verwendung bei den Vermessungstrupps in den Legionen auszugehen.

Wird das Vorhandensein eines Winkelmessgerätes unterstellt, sind vor Messungsbeginn noch folgende Voraussetzungen zu schaffen:

1. die Definition und örtliche Festlegung eines Anfangs- oder Ausgangspunktes (Nullpunktes)
2. die Definition und örtliche Festlegung der Nullrichtung, welche zweckmäßigerweise die Nordrichtung sein sollte.

Nachdem der geeignete Ausgangspunkt festgelegt ist muss das Stativ des Winkelmessgerätes so über diesem Punkt aufgebaut werden, dass der Mittelpunkt der horizontalen Winkelmeßscheibe exakt lotrecht über dem festgelegten Nullpunkt liegt (Ablotung mittels Lot). Anschließend muss die Nullrichtung (Nordrichtung) festgelegt werden. Das könnte mithilfe eines Gnomon geschehen oder, gerade im Sommer bei langer Tageshelligkeit, dadurch bestimmt werden, dass zunächst der Sonnenuntergangspunkt angezielt und die entsprechende Kreisablesung für diesen Zielpunkt festgestellt wird. Bei Sonnenaufgang müsste in analoger Weise auch dieser Punkt richtungsmäßig angezielt und die entsprechende Kreisablesung für diese Richtung vorgenommen werden. Die exakte Mitte dieser Ablesungen entspricht dann der Nordrichtung. Wird die Anzeleinrichtung auf diese Nordrichtung eingestellt und unter Beibehaltung dieser Richtung der Teilkreis auf Null gesetzt so ist damit die Orientierung auf die Nordrichtung erfolgt. Im unmittelbaren Anschluss daran empfiehlt es

sich, einen weiteren möglichst weit entfernten und markanten Zielpunkt (z. B. markante Bergspitze) anzuzielen und hierfür ebenfalls die Kreisablesung vorzunehmen. Dann braucht für weitere Orientierungen auf diesem Ausgangspunkt nur diese markante Bergspitze angezielt und der zuvor ermittelte zugehörige Winkelwert am Teilkreis eingestellt zu werden. Damit wird für weitere Vermessungen, die ebenfalls von diesem Punkt beginnen sollen, nicht nur eine schnellere Orientierung möglich, sie kann dann auch bei bedecktem Himmel erfolgen. Voraussetzung ist nur die freie Sicht zum markanten Zielpunkt (Bergspitze).

Nach örtlicher Festlegung des ersten (Wege)Knickpunktes ist dieser zu signalisieren (indem auf diesem Punkt eine Fluchtstange, lotrecht aufgestellt wird). Ausgehend vom Ausgangspunkt (Nullpunkt) ist die Orientierung in der oben beschriebenen Weise durchzuführen und die entsprechende Winkelablesung für die Ausgangsrichtung einzustellen. Danach wird auf dem Ausgangspunkt die Richtung zum ersten Knickpunkt angezielt und ebenfalls die entsprechende Kreisablesung vorgenommen. Die Differenz aus den beiden Richtungsmessungen ergibt dann den Brechungswinkel zwischen der geographischen Nordrichtung und dem ersten Knickpunkt (Azimut). Nachdem auch die Strecke vom Ausgangspunkt zum ersten Knickpunkt gemessen ist, kann das Winkelmessgerät auf dem Ausgangspunkt abgebaut, zum ersten Knickpunkt transportiert und dort in der zuvor beschriebenen Weise aufgebaut werden. Der Ausgangspunkt ist vor dem Verlassen ebenfalls mit einer Signalisierung zu versehen. Auf dem 1. Knickpunkt stehend, wird mit dem Winkelmessgerät zuerst der Ausgangspunkt angezielt und die entsprechende Teilkreisablesung durchgeführt. Danach wird der 2. Knickpunkt angezielt (der zuvor von dem vorn arbeitenden Trupp festgelegt und signalisiert wurde) und diese Teilkreisablesung vorgenommen. Aus der Differenz dieser beiden gemessenen Richtungen errechnet sich dann der Brechungswinkel auf dem 1. Knickpunkt vom Ausgangspunkt (Nullpunkt) zum 2. Knickpunkt etc.

Wenn die Römer auch die trigonometrischen Funktionen noch nicht kannten und daher noch keine Koordinatenberechnung beherrschten, konnte doch die auf diese Weise aufgemessene Situation ohne weiteres **graphisch** in einem geeigneten Maßstab dargestellt werden. Schließlich lässt sich nur hierdurch ein maßstabsgerechtes Abbild der aufgemessenen Situation erstellen. Ich kann keinen Grund erkennen, warum das nicht geschehen sein sollte.

Hierzu brauchten die gemessenen Strecken nur auf den gewünschten Kartenmaßstab umgerechnet zu werden. Anschließend waren die sich hieraus ergebenden graphischen Streckenmaße mit den auf den Knickpunkten gemessenen Brechungswinkeln auf eine beschreibbare Unterlage zu übertragen (möglichst präzise einzuzeichnen).

Hierdurch wäre dann Schritt für Schritt die Marschstrecke mit den gesamten links und rechts davon liegenden topographischen Gegebenheiten maßstabsgerecht im verkleinerten Maßstab nachgezeichnet worden.

Wenn jede Einheit (vermutlich jede Legion), die über eigene Vermessungstrupps verfügte, in analoger Weise verfahren wäre, hätte sich unter Beachtung, dass nur über **identische Punkte**, die möglichst weit verteilt sind, ein späteres Zusammenfügen der einzelnen Arbeitsergebnisse möglich ist, bereits in kurzer Zeit eine graphische Darstellung entwickeln können, deren Endprodukt eine Karte in einem zuvor bestimmten Maßstab gewesen wäre, welche den Verlauf aller Marschrouten und die benachbarte Topographie entlang dieser Routen dargestellt hätte.

Zwar hätte diese Karte dann zunächst nur die Bereiche enthalten, durch welche die Truppe gezogen war mit einer Breite von ca. 10 km (5 km nach links und 5 km nach rechts der eigentlichen Vormarschstrecke). Polygonal wären so im Bereich der Nordsee einerseits die Außenbereiche (Küstenlinienverlauf, Einmündungsbereiche der Flüsse und die Flußverläufe stromaufwärts) erfasst worden und andererseits einige Innenbereiche (z. B. lippeaufwärts bis zum Zusammenfluss von Alme und Lippe und weiter landeinwärts durch die Egge bis Corvey an der Weser). Wird von Corvey aus, der Weser flußabwärts bis zur Mündung folgend, ebenfalls eine Vermessung unterstellt, würde diese mit der Küstenvermessung zusammentreffen. Damit wäre ein Ringpolygon geschlossen, welches zwar noch keine detaillierte Aussage über das eingeschlossene innere Gebiete enthält, wohl aber bereits eine bedeutende Aussage über die Größe des so im Umring umfassend vermessenen Landesteils abgeben könnte.

Wenn auf diese Weise verschiedene Teilbereiche des Landes durch unterschiedliche Legionen vermessungstechnisch erfasst worden waren, konnten diese Teilbereiche über die o. g. **identischen Punkte** zu einem späteren Zeitpunkt problemlos zusammengefügt werden. Hierdurch wäre dann die Gesamtkarte entstanden, die das Ergebnis aller im Laufe der Zeit durchgeführten Vermessungen enthalten hätte. Je mehr vermessungsbegleitende Truppenbewegungen durchgeführt wurden, umso mehr konnte in gleichem Maße das Kartenbild dichter und umfassender erstellt werden. Damit wäre es in zunehmender Weise zu einer immer bedeutenderen und verlässlicheren Informationsquelle geworden, die damit zugleich ein immer genaueres Bild von der Topographie Innergermaniens und der Gesamtgröße des Landes abgegeben hätte.

Unter strategischen Gesichtspunkten war das einfach eine zwingende Notwendigkeit und damit ein **absolutes Muss!** Nur so konnte sinnvollerweise verfahren werden um die für das weitere Vorgehen notwendigen Informationen zu erhalten.

Genauigkeitsabschätzungen

Mit welcher Genauigkeit konnten diese Vermessung durchgeführt werden? Reichte die Genauigkeit aus, um eine Übersichtskarte aus einer landesweiten topographischen Geländeaufnahme zu erstellen?

Geodätische Messungen müssen im Hinblick auf ihren jeweiligen Zweck mit einer bestimmten Genauigkeit ausgeführt und gegen Irrtümer gesichert sein. Durch den Grundsatz: **Eine Messung ist keine Messung**, soll der Absicherung gegen Irrtümer Rechnung getragen werden. Auch wenn sich bei der Durchführung der Vermessung von allen Beteiligten die größte Mühe gegeben wird, möglichst präzise zu arbeiten, sind völlig fehlerfreie Messungen infolge der Mängel der Meßgeräte und der Unvollkommenheit der menschlichen Sinne nicht möglich. Die möglichen Messungsfehler unterteilt man nach Art ihrer Entstehung in grobe, systematische und zufällige Fehler.

Grobe Fehler sind grob fehlerhafte Ablesungen an den Meßinstrumenten, Zielverwechslungen und dergleichen. Sie werden durch Kontrollmessungen entdeckt und ausgeschieden.

Systematische Fehler verfälschen das Meßergebnis stets in demselben Sinne. Sie werden hervorgerufen durch unzureichende Eichung und unzureichende Handhabung der Meßinstrumente (z. B. beim Bandmaß mit Bandanfang A oder B) sowie durch einseitig wirkende Einflüsse von

Temperatur, Luftdruck etc. auf das Meßinstrument oder auf den zu messenden Gegenstand. Diese Fehler lassen sich in allen Regelfällen durch Eichung der Meßinstrumente, Wahl geeigneter Meßverfahren, besonderer Konzentration bei der Messung und rechnerisches Berücksichtigen der einseitigen Einflüsse zum größten Teil eliminieren.

Als **zufälligen Fehler** einer Messung betrachtet man die Summe der nach dem Ausscheiden der groben und der systematischen Fehler übrigbleibenden unbekanntes „Elementarfehler“, die auf die begrenzte Schärfe der menschlichen Sinne, Unvollkommenheit der Meßinstrumente, unkontrollierbare Veränderungen der äußeren Umstände und gelegentlich auch des Gegenstandes der Messung zurückzuführen sind. Die zufälligen Fehler werden ebenso oft positives wie negatives Vorzeichen annehmen und sind im Sinne der mathematischen Statistik *stochastisch unabhängige Veränderliche*. Trotz ihrer scheinbaren Regellosigkeit unterliegen sie indessen den Gesetzen des Zufalls.

Die Häufigkeit, mit der ein derartiger Fehler auftritt, ist eine Funktion seiner Größe. Diese Erscheinung ist von **C.F. Gauß** in das nach ihm benannte Fehlergesetz

$$\varphi(\varepsilon) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 \varepsilon^2} \quad (1)$$

gebracht worden, in dem $\varphi(\varepsilon)$ die relative – d. h. prozentuale - Häufigkeit des Auftretens, e die Basis der natürlichen Logarithmen und h eine Konstante ist, welche die Messgenauigkeit angibt. Die danach zu erwartende theoretische Fehlerverteilungskurve ist die berühmte „**Gaußsche Glockenkurve**“, welche übrigens zusammen mit dem Bildnis von C. F. Gauß auf dem letzten 10 DM-Schein abgebildet war. Diese Glockenkurve gilt für alle großen Messungsreihen, die überwiegend zufällige Fehler aufweisen. Solche Messungsreihen besitzen in der Sprache der Statistik eine **Normalverteilung**. Die überwiegend durch zufällige Fehler verursachten Messungswidersprüche aber lassen sich nach der auf C.F. Gauß zurückgehenden „**Methode der kleinsten Quadrate**“, bei der nach dem Bilden des arithmetischen Mittels aus einer großen Messreihe die übrigbleibenden Fehler oder Verbesserungen quadriert werden und deren Quadratsumme wiederum zum Minimum gemacht wird ($[vv] = \text{Min.}$), willkürfrei ausgleichen.

Bei endlich vielen Messungen ergibt sich als Näherungs- oder Schätzwert

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2)$$

der als **mittlerer Fehler einer einzelnen Beobachtung** oder als ihre „Standardabweichung“ bezeichnet wird.

Das arithmetische Mittel aus n Beobachtungen hat den mittleren Fehler oder die Standardabweichung

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

In Worten: Wird ein und derselbe Gegenstand n mal mit gleicher Genauigkeit gemessen, so geht der

mittlere Fehler des arithmetischen Mittels mit der Quadratwurzel aus der Anzahl der Wiederholungen zurück.

Neben dem mittleren Fehler einer einzelnen Messung wird oftmals auch der mittlere Fehler oder die Standardabweichung einer Funktion gemessener Größen benötigt. Das leistet das Fehlerfortpflanzungsgesetz.

$$M = \pm m\sqrt{n} \quad (4)$$

Werden mehrere gleich genaue Einzelmessungen zu einer Summe oder Differenz aneinandergereiht, so wächst der mittlere Fehler mit der Quadratwurzel aus der Anzahl der Einzelmessungen.

Die Genauigkeit der Längenmessung

Die Fehler der Längenmessung treten teils regelmäßig, teils unregelmäßig auf. Zu den regelmäßig wirkenden Fehlern gehören unrichtige Länge der Meßgeräte, Ausweichen aus der Geraden und aus der Horizontalen, Durchbiegung der Latten, Bergabrutschen der Latten etc. Unregelmäßige Fehler entstehen z. B. beim Aneinanderreihen der Latten und Bänder und beim Abloten; ferner beim Ablesen am Anfangs- und Endpunkt.

Die unregelmäßigen Fehler wachsen gemäß (4) mit der Wurzel aus der Anzahl der Strecken, die regelmäßigen mit der Strecke selbst, und die Ablesefehler sind unabhängig von der Länge der Strecke. Im ungünstigsten Falle werden die drei Fehlerbestandteile sich addieren. Man hat dann für den Gesamtfehler einer Strecke s den Ansatz

$$a\sqrt{s} + bs + c$$

Aufbauend auf diesem Ansatz und auf jahrzehntelangen Erfahrungen hatten die deutschen Vermessungsverwaltungen bestimmt, dass bei der Stückvermessung unter günstigen (I), mittleren (II) und ungünstigen (III) Geländebedingungen die Differenzen zwischen zwei unabhängigen Ermittlungen einer Strecke die nachstehenden Fehlergrenzen (in Meter) nicht überschreiten dürfen:

$$D_I = 0,008\sqrt{s} + 0,0003 s + 0,05,$$

$$D_{II} = 0,010\sqrt{s} + 0,0004 s + 0,05,$$

$$D_{III} = 0,012\sqrt{s} + 0,0005 s + 0,05.$$

Diese entsprechen dem 3- bis 4 fachen Betrag des zu erwartenden mittleren Fehlers. Für Messungen zur Bestimmung von Festpunkten gelten Fehlergrenzen, die um ca. 40% enger sind als die zu erwartenden mittleren Fehler.

Wird also vom Fall D_{III} ausgegangen und dieser Betrag um das im Mittel 3,5-fache (ohne Berücksichtigung der zusätzlichen 40%) reduziert ergibt sich:

$$D_{RL} = 0,0034\sqrt{s} + 0,00014 s + 0,05,$$

was m. E. als durchaus repräsentative Genauigkeit der Streckenmessung für die vermutete römische landesweite topographische Geländeaufnahme angesetzt werden könnte. Für eine Streckenlänge von 1000 m Länge ergäbe sich nach dieser Formel ein mittlerer Fehler von

$$D_{RL} = 0,11m + 0,14m + 0,05m = \pm 0,30m$$

Wird dagegen für die Durchführung der Streckenmessung die Verwendung eines Seiles von 100 röm. Fuß Länge unterstellt und der mittlere Fehler einer Seillänge mit 0,05 m angenommen, ergeben sich nach (4):

$$M = 0,05 m \sqrt{34} = \pm 0,29m.$$

Das ist eine recht gute Übereinstimmung. Daher könnte der mittlere Fehler einer Streckenmessung von 1000 m Länge mit $\pm 0,30$ m für die weiteren Berechnungen als repräsentativ angenommen werden.

Bei der von mir vermuteten landesweiten römischen Vermessung zur topographischen Geländeaufnahme Germaniens wird angenommen, dass die römischen Landmesser das Verfahren der Polygonierung anwendeten, weil sie damit die laufenden Vermessungsarbeiten immer in unmittelbarer Nähe und damit unter ständigem Schutz der vorrückenden Truppen durchführen konnten. Bei der Polygonierung waren Strecken und Winkel zu messen, die – wie bereits dargelegt wurde - nicht fehlerfrei waren. Bei gestreckten Zügen kommen in der Längsverfehlung in erster Linie die regelmäßigen und unregelmäßigen Fehleranteile der Streckenmessung zum Ausdruck, während die Querverfehlungen vor allem auf die Ungenauigkeiten bei der Winkelmessung zurückzuführen sind. Haben die Polygonzüge dagegen sowohl gestreckten als auch geknickten Verlauf, vermischen sich die Fehlereinflüsse mit der Folge, dass bei einem stark geknickten Zug Fehler der Winkelmessung sich mehr als Streckenfehler und Fehler der Streckenmessung mehr als Winkelfehler auswirken können.

Da in Germanien keine Rücksicht auf diese späteren Erkenntnisse genommen werden konnte und die Römer, wie man an ihren Straßen erkennen kann, möglichst die geradlinige Variante bevorzugten, soll das auch für die Streckenführung der Polygonzüge unterstellt werden.

Die Genauigkeit der Streckenmessung hängt entscheidend davon ab, mit welcher Präzision die Längenmesswerkzeuge (Latten und Seile) hergestellt wurden, wie geschult das Vermessungspersonal war, und mit welcher Sorgfalt sie diese Vermessung durchführten. Da hierüber eine abschließende Aussage nur schwer möglich ist, können die nachfolgenden Genauigkeitsbetrachtungen nur unter folgenden Annahmen durchgeführt werden:

Grobe Fehler können bei der Streckenmessung durch Doppelmessungen (Hinmessung und Rückmessung) ausgeschlossen werden. Es wird unterstellt, dass diese auch von den Römern durchgeführt wurden.

Systematische Fehler sollen ebenfalls ausgeschlossen werden, wenn unterstellt wird, dass ausschließlich, soweit es damals überhaupt möglich war, mit geeichten Latten und Bändern die Messungen durchgeführt wurden, und die Messung selbst mit der entsprechenden Sorgfalt erfolgte (horizontal, ausreichende Genauigkeit in Messrichtung, mit der notwendigen Zugspannung und mit der notwendigen Sorgfalt beim Maßübertragen, beim Anhalten und beim Ablesen etc.).

Wird für die Streckenmessung eines Kilometers die o. g. Genauigkeit von $\pm 0,30$ m unterstellt, ergeben sich bei 1000 Strecken á 1000 m Länge nach (4):

$$M = \pm 0,30 \text{ m} \times \sqrt{1000} = \pm 9,49 \text{ m} \text{ als mittlerer Fehler der Streckenmessung.}$$

D. h. wenn eine Streckenmessung von 1000 m Länge einen mittleren Fehler von $\pm 0,30$ m aufweist, dann ist nach 1000 Streckenmessungen gleicher Genauigkeit á 1000 m Länge für das Ergebnis ein **mittlerer Fehler von $\pm 9,49$ m zu erwarten.**

Die Genauigkeit der Winkelmessung

Die Genauigkeit der Winkelmessung hängt zunächst davon ab, mit welcher Genauigkeit der Teilkreis, die Anzeleinrichtung, die Horizontiermöglichkeit, die Zentriermöglichkeit, und die Ablesevorrichtung hergestellt wurden. Weiterhin hängt sie davon ab, ob mit dem Winkelmessgerät ein Durchschlagen der Anzeleinrichtung möglich ist oder nicht. Wenn kein Durchschlagen möglich ist, was ich für die damalige Zeit unterstelle, können Zielachs- und Kippachsfehler nicht eliminiert werden mit der Folge, dass diese die Winkelmessgenauigkeit zusätzlich verfälschen. Schließlich hängt die Genauigkeit noch davon ab, wie genau über dem Zentrum aufgebaut wurde (ob exakt zentriert und horizontiert wurde) und mit welcher Genauigkeit vom Beobachter angezielt und bei dieser Anzielung die Kreisablesung erfolgte.

Bei der Vielzahl der Fehlermöglichkeiten in der Winkelmessung können durchaus auch einige systematische Fehleranteile enthalten sein. Wird zur Vereinfachung jedoch unterstellt, dass keine systematischen Anteile vorliegen und dass es sich bei den verbliebenen Fehlern nur noch um unregelmäßige und zufällige Fehleranteile handelt, kann deren Auswirkung nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz abgeschätzt werden. Wird für die Richtungsmessgenauigkeit (eine Anzielung) ein mittlerer Fehler von $\pm 3'$ unterstellt, folgt daraus für die Genauigkeit einer Winkelmessung (zwei Anzielungen) nach (4):

$$M_w = \pm 3' \sqrt{2} = \pm 4,24'$$

Nach $\frac{b}{R} = \frac{\alpha}{\rho}$ folgt $b = R \frac{\alpha}{\rho}$ und damit $= \frac{1000 \text{ m} \times 4,24'}{3437,7} = 1,23 \text{ m}$. D. h. Bei einem gestreckten Zug

bewirkt ein Winkelfehler von $4,24'$ in einer Entfernung von 1000 m eine seitliche Verschwenkung (oder einen Querfehler) von 1,23 m. Und nach 1000 Knickpunkten gem. (4):

$$M_{wges.} = 1,23 \text{ m} \sqrt{1000} = \pm 38,90 \text{ m}$$

D. h. nach 1000 Winkelmessungen mit der o. g. Genauigkeit würde die Auswirkung des mittleren Fehlers der Winkelmessung bereits einen Querfehler von knapp 39 m erwarten lassen.

Der Einfluß der Erdkrümmung

Die tatsächlichen Vermessungen erfolgen auf der Erdoberfläche, einer Fläche, die, ebenes Gelände unterstellt und von geringfügigen Geländeunebenheiten abgesehen, vom Betrachter aus gesehen in seiner unmittelbaren Umgebung als horizontal verlaufend erscheint. Tatsächlich ist die Erdoberfläche

jedoch eine gekrümmte Fläche, deren Krümmung nur in der näheren Umgebung des Betrachters noch nicht sichtbar in Erscheinung tritt.

Befinden wir uns jedoch am Meer und verfolgen mit dem Auge ein auslaufendes Schiff, so bemerken wir bald, dass es trotz seiner hohen Deckaufbauten schneller als erwartet hinter dem Horizont verschwindet. Grund: Mit zunehmender Entfernung macht sich die Auswirkung der Erdkrümmung immer stärker bemerkbar.

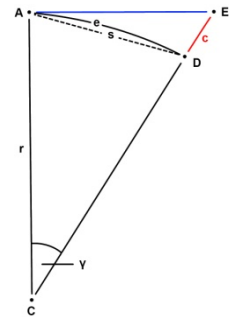
Messungen auf der Erde sind also immer Messungen auf einer gekrümmten Fläche. Innerhalb eines überschaubaren Bereiches ist die Erdkrümmung zwar vorhanden, doch ist ihre Auswirkung noch so gering, dass wir nur einen sehr kleinen Fehler machen, wenn wir die Erdoberfläche in diesem überschaubaren Bereich als Ebene ansehen.

Infolge der Erdkrümmung schneidet eine Tangentialebene, die in Punkt **A** an die als Kugel gedachte Erde gelegt ist, die den Punkt **E** enthaltene Flächennormale im Abstand **c** von der Erdoberfläche.

Die Ermittlung von **c** (Abweichung der Tangentialebene von der Erdoberfläche) kann mit der Näherungsformel

$$c \approx \frac{s^2}{2r}$$

erfolgen, wobei *s* die Strecke (Entfernung vom Berührungspunkt zwischen Tangentialebene und Erdoberfläche) und *r* der Erdradius ist.



Auf 100m 200m 500m 1000m 5km 10km

c = 0,8 mm 3,2 mm 2,0 cm 7,9 cm 1,96 m 7,9 m

D. h. bis zu einem Bereich von $(10 \text{ km})^2 = 100 \text{ km}^2$ spielt der Einfluss der Erdkrümmung noch eine untergeordnete Rolle. Innerhalb dieses Bereiches kann genau genug noch in der Ebene gerechnet werden, ohne befürchten zu müssen, dass sich die Auswirkungen durch das Nichtberücksichtigen der Erdkrümmung als messbare Fehler bemerkbar machen könnten.

Bei größeren Entfernungen ergeben sich aber zunehmend größere Beträge infolge der Erdkrümmung, die nicht mehr vernachlässigbar sind. So führen z. B. die nachfolgend aufgeführten Entfernungen aufgrund der Überschlagsformel zu folgenden Auswirkungen:

Auf 20 km 50 km 100 km 200 km 300 km 400 km 500 km

c = 31 m 196 m 784 m 3,13 km 7,1 km 12,5 km 19,6 km

Für die Römer dürften diese detaillierteren Betrachtungen jedoch noch keine so entscheidende Rolle gespielt haben. Das Hauptziel war schließlich nicht die Erstellung einer Karte höchster Genauigkeit, sondern es bestand darin, zunächst erst einmal **überhaupt eine Karte zu erstellen**, welche **erstmal** alle wichtigen topographischen Gegebenheiten, die insbesondere für den Vormarsch der Truppe, aber auch darüber hinaus irgendwie von Bedeutung sein konnten, **möglichst vollständig enthielt**. Diese Karte dokumentierte, wie oben dargelegt, zunächst nur den Verlauf der Vormarschstrecke, wobei sich jedoch durch die gleichzeitige Erfassung der topographischen Gegebenheiten links und

rechts der Strecke eine Fülle von zusätzlichen Neuinformationen ergab, deren Kenntnis zu einem späteren Zeitpunkt von großer Bedeutung sein konnte. Es kann nur das Ziel gewesen sein, durch umfassende Aufnahmen des Geländes möglichst schnell die Erstellung einer topographischen Karte zu erreichen, welche alle wichtigen topographischen Gegebenheiten enthielt, und damit den damaligen Anforderungen und Ansprüchen entsprach. Hierbei kam es nicht auf höchste, ja nicht einmal auf hohe Genauigkeit an. Es dürfte wohl keine Rolle gespielt haben, ob eine Flussmündung oder ein Berggipfel, in metrischen Maßen ausgedrückt auf $\pm 10 \text{ m}$ genau erfasst war, hier reichten $\pm 100 \text{ m}$ allemal aus! Wichtiger als höchste Genauigkeit dürfte vielmehr die **Vollständigkeit bedeutsamer Topographie** gewesen sein, **an der man sich im Gelände orientieren konnte!** Denn Orientierung im unbekanntem und stark bewaldeten Feindesland war schließlich eminent wichtig und von existenzieller Bedeutung!

Bei der Ausdehnung eines Gebietes zwischen Rhein und Weser einerseits und Nordseeküste und Lippelinie andererseits, also eines Gebietes von etwa $400 \text{ km} \times 450 \text{ km}$, wäre eine Karte, deren Genauigkeit nur $\approx 1\%$ betragen würde, d. h. $\approx \pm 500 \text{ m}$, durchaus ausreichend.

Wenn nun bei einer derartigen Gebietsgröße der Schleifenschluss erfolgte (d. h. der Ausgangspunkt zum Abschluss wieder angemessen wird), müsste (im Idealfalle) für diesen Ausgangspunkt dasselbe Ausgangsergebnis herauskommen. Infolge der oben erörterten unvermeidlichen Meßfehler ist das aber nicht der Fall. Die Summe aller Fehlereinflüsse, welche diese Vermessung verfälschen, kommen in diesem Abschlußfehler in voller Größe zum Ausdruck. Die Summe aller Strecken- und Winkelmessfehler wirken sich derart aus, dass sie einen Längs- und Querfehler erzeugen. Oder anders ausgedrückt: Infolge dieser unvermeidlichen zufälligen Fehler ergibt das Ergebnis **nicht den Wert des ursprünglichen Ausgangspunktes**, sondern dieser Wert liegt mehr oder weniger weit daneben!

Einerseits ist das Anmessen des Ausgangspunktes und damit der Abschluss auf diesem Punkte eine wirkungsvolle Kontrolle der gesamten Messung, andererseits offenbaren sich hierbei jedoch die Summe aller Fehler. Sind diese in der zu erwartenden Größe, wird hierdurch zwar die Genauigkeitsabschätzung bestätigt, aber es verbleibt zwangsläufig eine Unzufriedenheit allein wegen ihrer Existenz. Solange diese Abschlussfehler bestehen bleiben, wird sich die Unzufriedenheit nicht auflösen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, die Abschlussfehler dadurch zu eliminieren, indem man sie proportional verteilt, und zwar den Streckenabschlussfehler proportional zur Streckenlänge und den Winkelabschlussfehler proportional zur Anzahl der Brechungswinkel. Hierdurch erfahren alle gemessenen Strecken und Winkel eine Korrektur mit der Folge, dass der Abschlußfehler = 0 wird. Es leuchtet ein, dass sich hiermit (also bei Neukartierung der Karte mit den auf diese Weise korrigierten Strecken- und Winkelwerten) nicht nur die Lagegenauigkeit der Aufnahmestandpunkte verbessert, sondern deren Verbesserung zugleich auch eine Verbesserung der Lagegenauigkeit aller weiteren Objektpunkte bewirkt.

Wird von dem angenommenen und o. g. Abschlussfehler von $\pm 500 \text{ m}$ ausgegangen, könnten sich nach proportionaler Fehlerverteilung die dann noch verbleibenden Unsicherheiten für die Objektpunkte durchaus auf eine Größenordnung von $\pm 100 \text{ m}$ reduzieren. Das wäre dann immerhin bereits auf Rufweite mit der Folge, dass dann auch die Voraussetzung für die oben als existenziell wichtige Orientierungsmöglichkeit im Gelände erfüllt wäre.

Für kleinere Bereiche, wo der Einfluss der Erdkrümmung sich erheblich reduzieren würde, könnte das ebenfalls bedeuten, dass infolge der erreichten Genauigkeit für die Strecken- und Winkelmessung (präzise Kartierung vorausgesetzt) die Genauigkeit der Kartenerstellung von $\leq 1\%$ erreicht werden könnte.

Die oben beschriebenen Genauigkeitsabschätzungen für die Strecken- und Winkelmessung zeigen jedoch, dass mit diesen Messgenauigkeiten eine Kartenerstellung von $\approx 1\%$ allemal möglich wäre.

Gemessen an dem vermessungstechnischen Aufwand, der für den Bau der Aquädukte erforderlich war, insbesondere aber hinsichtlich der notwendigen Präzision und Genauigkeit nach Lage und Höhe, kann die von mir vermutete landesweite topographische Bestandsaufnahme nur als relativ grobe Aufmessung des Landes mit seinen (insbesondere für die Römer) topographisch bedeutsamen Gegebenheiten angesehen werden.

Während es bei den Aquädukten darauf ankam, möglichst präzise d. h. punktgenau den Zielpunkt auf kürzest möglicher Strecke zu erreichen (Verbrauch eines Minimums an Baumaterial und Zeit), setzte die notwendige Höhenmessung ein Höchstmaß an Genauigkeit voraus, um mit einem möglichst gleichmäßigen Gefälle den Zielpunkt zu erreichen. Schließlich fließt Wasser nicht bergauf und in diesem Falle, wo es über weite Strecken herantransportiert wurde, war es äußerst wichtig, dass dies mit möglichst gleichmäßigem Gefälle geschah! Diese Leistung, die die Römer in vorchristlicher Zeit mindestens siebenmal unter Beweis stellten, ist im Vergleich zu meiner vermuteten landesweiten topographischen Bestandsaufnahme eine ungleich schwierigere Arbeit gewesen, die wirkliches Fachpersonal erforderte, während für die topographische Bestandsaufnahme für die Strecken- und Winkelmessung gut eingearbeitetes Personal, so wie es die Truppenvermesser vermutlich waren, vollkommen ausreichte. Nur die anschließende Kartierung auf einer beschreibbaren Unterlage (graphische Darstellung der gemessenen Winkel und Strecken) setzte große Erfahrung voraus – schließlich sollten die o. g. unvermeidlichen Meßfehler, die bei der örtlichen Vermessung entstanden, nicht durch unsachgemäße Kartierung noch vergrößert werden – weshalb für diese Arbeiten unbedingt bewährtes Fachpersonal erforderlich war.

Einen Mangel an Kenntnissen zur Durchführung dieser landesweiten topographischen Bestandsaufnahme kann ich bei den Römern nicht erkennen. Wenn sie in der Lage waren, in vorchristlicher Zeit die erforderlichen Vermessungsarbeiten für den Bau der Wasserleitungen zu bewältigen, dann werden ihnen vergleichsweise einfache topographische Geländeaufnahmen nicht annähernde Mühen bereitet haben!

Bereits 2450 v. Chr., als der Bau der Cheops Pyramide anstand, war vor Baubeginn von den Baumeistern zunächst die Absteckung des Bauvorhabens durchzuführen, d. h. es war die genaue Lage und die Ausrichtung der Pyramide möglichst präzise festzulegen. Erst nachdem das mit den damals zur Verfügung stehenden vermessungstechnischen Mitteln bestmöglich geschehen war, konnte mit dem eigentlichen Bau begonnen werden.

Die Cheops Pyramide befindet sich, wie wir heute wissen, fast genau auf 30° nördlicher Breite. Da diese Pyramide darüber hinaus noch zahlreiche weitere Besonderheiten enthält, fällt es schwer, die Gesamtheit dieser Besonderheiten als Produkt des bloßen Zufalls anzusehen. Weil die Cheops Pyramide insbesondere damals ein ganz besonderes Bauwerk war (und es heute noch ist), wird auch

ihr Standpunkt nicht irgendwo, sondern mit Bedacht ausgewählt worden sein. Wenn sie sich nun fast genau auf 30° nördlicher Breite befindet, exakt 30° aber $\frac{1}{3}$ des Erdquadranten entsprechen, liegt die Vermutung nahe, dass die damaligen Baumeister sie eigentlich genau dort errichten wollten und es infolge des Entwicklungsstandes der damaligen Meßgeräte nur noch nicht besser konnten. Wird das unterstellt, dann ist das Maß der Abweichung von 30° ein Kriterium für die erzielte Genauigkeit beim Pyramidenbau vor ca. 4450 Jahren, also ca. 2450 Jahre vor dem Beginn der römischen Kaiserzeit!

Das Zentrum der Cheops Pyramide befindet sich statt auf 30° 00'00,0" N nur auf 29° 58' 45,3" N.

D. h. die Abweichung beträgt $1' 14,7'' \approx 1,25' \approx 2,28 \text{ km}$.

Auf den ersten Blick scheint das viel zu sein, aber in Relation zur Länge des Erdquadranten von ca. 10000 km ergibt sich immerhin eine relative Genauigkeit von $\frac{2,28 \text{ km}}{10000 \text{ km}} = 0,000228 = \mathbf{0,23 \%}$!

Damit bleibt festzustellen, dass ca. 2500 Jahre vor der römischen Zeit, die hier betrachtet wird, die ägyptischen Pyramidenbauer die Positionierung der Pyramide mit einer relativen Genauigkeit von **0,23 %** erreichten. Das ist eine viermal höhere Genauigkeit, als es für die Genauigkeit der Karte mit dem Ergebnis der topographischen Landesaufnahme mit **1%** von mir als vollkommen ausreichend angesehen wurde.

Wenn also die ägyptischen Pyramidenbauer bereits 2500 Jahre zuvor in der Lage waren, eine relative Meßgenauigkeit von **0,23 %** zu erreichen, warum soll dann den Römern eine relative Genauigkeit von nur **1%** Probleme bereitet haben?

Damit kann zusammenfassend festgestellt werden:

Die Naturwissenschaften des Altertums beruhen auf Messkunst. Diese entwickelte sich aus der Notwendigkeit bestimmter praktischer Bedürfnisse (z. B. möglichst präzise Wiederherstellung der Grundstücksgrenzen, die infolge der alljährlichen Nilüberschwemmungen regelmäßig nicht mehr erkennbar waren).

In der Zeit der griechischen Geschichte der „exakten Wissenschaften“ zwischen Thales (~600 v.Chr.) und Ptolemaios (~150 n.Chr.) wirkten noch zahlreiche weitere bedeutende Persönlichkeiten, die alle hochgradige Wissenschaftler waren. Namen wie Pythagoras (~550 v.Chr.), Archimedes (~250 v.Chr.), Eratosthenes (~250 v.Chr.), und Heron (~60 n.Chr.) um nur einige zu nennen, sind davon nicht wegzudenken.

Für die Römer zur Zeit der römischen Kaiserzeit dürften als Lehrmeister Archimedes, Eratosthenes, Heron und Ptolemaios die wichtigsten gewesen sein. Wenn dieses von den griechischen Lehrmeistern erworbene vermessungstechnische Wissen aber ausreichte, die gigantischen Wasserleitungen zu bauen, dann wird dieses Wissen wohl für die landesweite topographische Geländeaufnahme und die daraus resultierende Karte erst recht ausgereicht haben.

Diese topographische Karte Germaniens zu erstellen, war für die Römer eine zwingende Notwendigkeit! Die Genauigkeit von **1%** für diese Karte reichte für die beabsichtigten Zwecke vollkommen aus. Voraussetzung für ihre Erstellung war allerdings eine Vermessung etwa in der von mir beschriebenen Form. Auch wenn uns die Quellen hierüber nichts berichten, sei es dass ihre Bedeutung so selbstverständlich war, dass die Notwendigkeit einer Berichterstattung von

Selbstverständlichkeiten als überflüssig erachtet wurde oder weil die Geheimhaltung hierüber jedem Berichtersteller eine Schweigepflicht auferlegte, wird man trotzdem davon ausgehen können, **dass diese Vermessung dennoch mit hoher Wahrscheinlichkeit so oder ähnlich erfolgte.**

Literaturverzeichnis:

Abendroth, Alfred, Praxis des Vermessungsingenieurs, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 1912
Bechert, Tilmann, Römische Archäologie in Deutschland, Reclam, 2003
Caesar, Gaius Julius, Sämtliche Werke, Magnus Verlag, 2004
Coarelli, Filippo, Rom - Ein archäologischer Führer, Philipp von Zabern Verlag, 2000
Delbrück, Hans, Geschichte der Kriegskunst, Nikol Verlag, 2003
Dio, Cassius, Römische Geschichte, Patmos Verlag, 2007
Flavius Josephus, Der Jüdische Krieg, Marixverlag, 2005
Grewe, Klaus, Die Groma – das genial einfache Winkelkreuz der römischen Landmesser, VDV Magazin 5/2010
Grewe, Klaus, Wasser für Rom – Die unglaubliche Präzision der Vermessungsingenieure im römischen Aquäduktbau, VDV Magazin 4/2010
Großmann, Walter, Vermessungskunde, Göschen Bde. 468 und 862
Hiltbrunner, Otto, Kleines Lexikon der Antike, 6. Auflage, Francke Verlag, 1995
Lelgemann, Dieter, Die Erfindung der Messkunst, WBG, 2010
Opdenberg, Georg, Der Chorobat des Vitruv, VDV Magazin 2/2007
Paterculus, Velleius, Historia Romana, Reclam
Plinius, C. Secundus, Naturkunde, Patmos Verlag, 2008
Schneider, Helmuth, Geschichte der antiken Technik, C. H. Beck Verlag, 2007
Strabo, Geographica, Marixverlag, 2005
Sueton, Sämtliche Werke, Phaidon
Tacitus, Sämtliche Werke, Phaidon
Vitruv, Zehn Bücher über Architektur, WBG, 2008
Wikipedia, freie Enzyklopädie

Anhang:

Welche Meßgeräte waren in römischer Zeit außerdem bekannt und konnten verwendet werden?

Der **Chorobat** war ein Vermessungsgerät im antiken Rom. Es existiert nur noch eine Beschreibung von Vitruv, Skizzen oder Funde gibt es nicht. Nach der Beschreibung bestand der Chorobat aus einem 20 röm. Fuß (5,926 m) langen Richtscheid (Holzbalken) mit senkrechten Stützen und seitlichen Verstrebrungen. Er war vermutlich komplett aus Holz. Mittig im Messbalken war eine fünf Fuß (1,48 m) lange Rinne, die 1,0 Zoll breit und 1,5 Zoll tief war, eingebracht, die mit Wasser gefüllt werden konnte. Die Horizontierung des Chorobat erfolgte bei geringem Wind mit Hilfe der seitlich angebrachten Lote und bei stärkerem Wind mit Hilfe der Wasseroberfläche.

Damit konnte mit dem Chorobat nicht nur eine präzise Höhenübertragung (Nivellement) erfolgen, sondern auch Strecken rel. präzise gemessen werden.

Einerseits hatte das Gerät infolge seines kompakten und starren Aufbaus eine gewisse Unhandlichkeit und zugleich ein nicht zu unterschätzendes Gewicht, welches von Aufstellung zu Aufstellung immer zwei Mann erforderte. Wegen der verlangten Präzision konnte das Gerät nicht lang genug sein, andererseits durfte es aber auch nicht zu schwer und damit nicht mehr handhabbar werden. Die Länge von etwa (mindestens) 20 Fuß war daher offenbar ein Kompromiss und möglicherweise ganz bewusst gewählt. Wenn beispielsweise jede einzelne Fußlänge immer abwechselnd mit unterschiedlichen Farben (z. B. Rot und Weiß) markiert war, ließ sich, da $12^2 + 16^2 = 20^2$ sind, mit der Methode 12,16,20 auch der **Satz des Pythagoras** mit diesem Gerät realisieren!