

Klaus Grewe

Chorobat und Groma

Neue Gedanken zur Rekonstruktion und Handhabung der beiden wichtigsten Vermessungsgeräte antiker Ingenieure

Ingenieurbauten wie Straßen, Brücken und Wasserleitungen dienen keinem Selbstzweck. Um Großbauten dieser Art in Planung nehmen zu können, mussten deshalb immer drei Grundvoraussetzungen zusammenkommen: Für das Bauwerk musste ein Bedarf bestehen, ein mächtiger Bauherr mit den erforderlichen finanziellen Mitteln musste bereitstehen, und nicht zuletzt bedurfte es eines Fachmanns für die Lösung der technischen Probleme. Diese Planungsprinzipien galten natürlich und besonders auch für Bauwerke von der Größenordnung römischer Fernwasserleitungen – und sie gelten eigentlich auch heute noch (Abb. 1).

Die römische Vermessungstechnik zeichnet sich sowohl in der Streckenmessung als auch in der Höhen- und Winkelmessung durch einfache Gerätschaften sowie eine gleichermaßen einfache Handhabung der dazu entwickelten Geräte aus. Wenn wir bei Nachmessungen in antiken Großbauten dennoch eine schier unglaubliche Präzision feststellen können, so müssen wir ganz einfach einen fachkundigen und verantwortungsvollen Umgang mit diesen Geräten voraussetzen. Wir dürfen dabei aber keinesfalls den Fehler machen, diese einfachen Vermessungsgeräte der römischen Ingenieure für primitiv zu halten. Im Gegenteil: Die Einfachheit als Konstruktionsmerkmal war die Basis für selbstkontrollierende und selbstkorrigierende Messvorgänge und stellt die Genialität, die diesen Gerätekonstruktionen zugrundelag, einmal mehr unter Beweis.

Gerade im Fernwasserleitungsbau war eine gründliche Planung die unbedingte Voraussetzung für die Trassierung, also die Übertragung der Planungslinie in das Gelände. Es waren grundlegende Vermessungen notwendig, um schon im frühen Planungsstadium erkennen zu können, ob der in Angriff genommene Bau überhaupt durchführbar war.

Die Frage nach der Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen wird zwar im Zusammenhang mit der Beschreibung vieler Fernwasserleitungen immer wieder gestellt, konnte aber bis vor wenigen Jahren nur unbefriedigend beantwortet werden. Der Grund hierfür lag im Fehlen der wichtigsten Unterlagen für eine entsprechende Betrachtung, nämlich der zeitgenössischen Pläne oder Baubeschreibungen der antiken Baumeister. So blieb es zumeist bei der vorsichtigen, weil nicht zu beweisenden Vermutung, solche Bauwerke seien ohne eine gründliche Planung und Trassierung überhaupt nicht zu bauen gewesen.

Dabei kann man sich der Problemlösung bei der Rekonstruktion antiker Messtechniken und Vermessungsgeräte durchaus auf verschiedene Weise nähern. So stellt die Arbeit von Fritz Schmidt, der in seiner Dissertation unzählige schriftliche Quellen und Altfunde zur Geschichte vermessungstechnischer Geräte und Verfahren aufgearbeitet hat, noch heute eine wichtige



1 Die
Aquäduktbrücke
Pont du Gard.

Forschungsunterlage dar, obwohl einige seiner Rekonstruktionen durch neuere Forschungen widerlegt sind¹.

Die Beweisführung für etwaige Planungstheorien aus dem jeweiligen Bauwerk selbst heraus zu führen, ist eine andere Möglichkeit, um die Geheimnisse einer Trassenplanung zu enträtseln. Dabei muss dann von einer verwirklichten Trasse auf eine geplante zurückgeschlossen werden. Es gibt nicht viele Ingenieurbauten der Antike, die in der Weise komplett und tiefgreifend untersucht worden sind, dass sie eine Rekonstruktion der Planungsgedanken zulassen. Beispielhaft für den frühen Tunnelbau ist die Forschungsarbeit im Eupalinostunnel auf Samos, wobei besonders die Entdeckung der bauzeitlichen Messmarken und die Rekonstruktion des verwendeten Maßsystems hervorzuheben sind². Die Eifelwasserleitung nach Köln kann als erste antike Wasserleitung gelten, die in ihrer ganzen Länge archäologisch untersucht und publiziert ist³.

War es im Tunnelbau die Treffsicherheit, mit der zwei Baulose im Berginneren zusammengeführt werden mussten, so war es im Aquäduktbau die Gefälleabsteckung, die das Kernproblem darstellte.

Um bei der Aquäduktforschung auf dem Wege einer Bauaufnahme zum Ziel zu kommen, müssen von einer Reihe dicht beieinander liegender Sohlenpunkte die exakten relativen Höhen bestimmt werden, um danach den Versuch machen zu können, aus Regelmäßigkeiten im Gefälleverhalten der Sohle zu einem Ergebnis zu kommen. Derartige Betrachtungen sind aber nur dort möglich, wo die Sohlen von Leitungen auf genügend lange und damit aussagekräftige Distanzen zugänglich sind. Da von den antiken Aquädukten aber in allen bisher bekannten Fällen die Sohlen nur partiell oder in kurzen Aufschlüssen zugänglich waren, können Aussagen im Sinne der oben beschriebenen Kriterien bisher nicht gemacht werden. Jüngere archäologische Forschungsarbeiten – dazu gehören vor allem die Arbeiten in Siga (Algerien) und Köln – haben aber gezeigt, dass es durchaus möglich ist, durch ganz gezielt eingesetzte Forschungsmethoden den »Bauwerkscode« eines Aquäduktes zu entziffern⁴.

¹ Schmidt, Instrumente.

² K. Grewe, Licht am Ende des Tunnels. Planung und Trassierung im antiken Tunnelbau. Ant. Welt, Sonderh. (Mainz 1998); H. J. Kienast, Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos. Samos XIX (Mainz 1995).

³ Grewe, Atlas.

⁴ Grewe, Planung.

⁵ Ein röm. Fuß = 0,296 m.

⁶ Vitruv. 8, 5, Übers. Fensterbusch.

Nach diesen Forschungsergebnissen gilt, dass man im römischen Fernleitungsbau die Probleme nach Sachlage und damit pragmatisch gelöst hat. Der verantwortliche Baumeister hatte vor Ort und nach den jeweils gegebenen Umständen zu entscheiden, welche Lösung zweckmäßig und kostengünstig war. Dabei spielte nicht nur die vorgegebene Morphologie der zu bewältigenden Landschaft eine Rolle, sondern auch die zur Verfügung stehenden Baumaterialien, die Infrastruktur der Baustelle und nicht zuletzt das technische Vermögen der Bauausführenden. In diesem Zusammenhang ist es von großem Interesse, welche technischen Hilfsmittel den antiken Baumeistern zur Verfügung standen, und auch diesbezüglich gibt es neue und interessante Forschungsergebnisse.

Vitruvs Chorobat

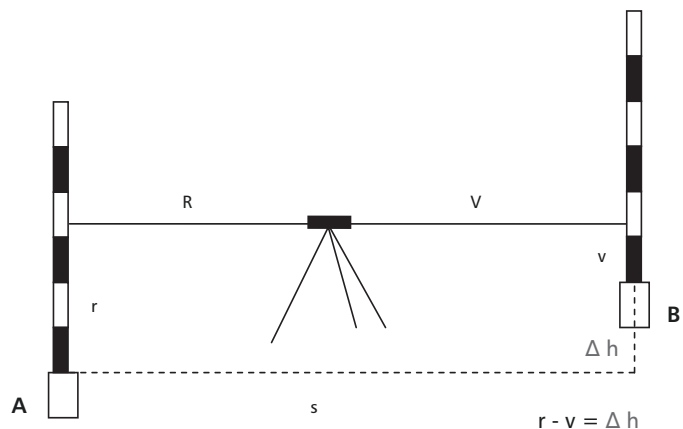
Man darf bei diesen Betrachtungen natürlich nicht vergessen, dass optische Zielhilfen – wie beim modernen Nivellierinstrument das Fernrohr – in der Antike nicht bekannt waren. Deshalb kommt dem Text Vitruvs für die Entschlüsselung des antiken Nivellierverfahrens ganz besondere Bedeutung zu. Vitruv beschreibt mit dem von ihm so genannten Chorobat ein Nivelliergerät, das man nach neuesten Forschungsergebnissen als genial und einfach zugleich bezeichnen muss. Vitruvs Ausführungen haben aber einen gravierenden Mangel, da er uns lediglich eine textliche Beschreibung des Chorobates vorlegt und darin die Handhabung dieses Gerätes vermissen lässt. Erklärende Skizzen zum Text fehlen; sie sind vermutlich verloren gegangen.

Im Rahmen seiner Beschreibung der »Anlage einer Wasserleitung« stellt Vitruv diese probate Methode des Nivellierens vor:

»(1) [...] Die erste Arbeit ist das Nivellieren. Nivelliert aber wird mit dem Diopter oder der Wasserwaage oder dem Chorobat, aber ein genaueres Ergebnis erreicht man mit dem Chorobat, weil Diopter und Wasserwaage täuschen. Der Chorobat aber besteht aus einem etwa zwanzig Fuß⁵ langen Richtscheit. Dieses hat an den äußersten Enden ganz gleichmäßig gefertigte Schenkel, die an den Enden (des Richtscheits) nach dem Winkelmaß (im Winkel von neunzig Grad) eingefügt sind, und zwischen dem Richtscheit und

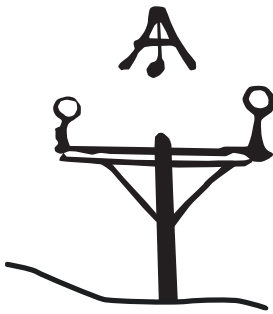
den Schenkeln durch Einzapfung festgemachte schräge Streben. Diese Streben haben genau lotrecht aufgezeichnete Linien, und jeder einzelnen dieser Linien entsprechend hängen Bleilote von dem Richtscheit herab, die, wenn das Richtscheit aufgestellt ist und alle Bleilote ganz gleichmäßig die eingezeichneten Linien berühren, die waagerechte Lage anzeigen.

(2) Wenn aber der Wind störend einwirkt und durch die so hervorgerufenen Bewegungen der Bleilote die Linien keine zuverlässige Anzeige mehr bieten können, dann soll das Richtscheit am obersten Teil eine Rinne von fünf Fuß Länge, einem Zoll Breite und anderthalb Zoll Tiefe haben, und dort hinein soll man Wasser gießen. Wenn nun das Wasser in genau gleicher Höhe die obersten Ränder der Rinne berührt, dann wird man wissen, dass die Länge waagrecht ist. Ebenso wird man, wenn mit diesem Chorobat so nivelliert ist, wissen, wie groß das Gefälle ist.«⁶



2. Das Prinzip des Nivellierens.

Seit der Renaissancezeit bemüht sich die Wissenschaft um eine funktionsgerechte Rekonstruktion dieses Chorobates, der von Vitruv so nachdrücklich empfohlen wird. Aber schon Leonardo da Vinci weicht von der Beschreibung bei Vitruv ab und zeigt uns ein gänzlich anderes Gerät. Auch nach Leonardo werden statt nachvollziehbarer Rekonstruktionen des bei Vitruv Beschriebenen eigentlich immer nur Neuerfindungen des Chorobats vorgelegt. Das geht – von wenigen Ausnahmen abgesehen – bis in heutige Zeit⁷.



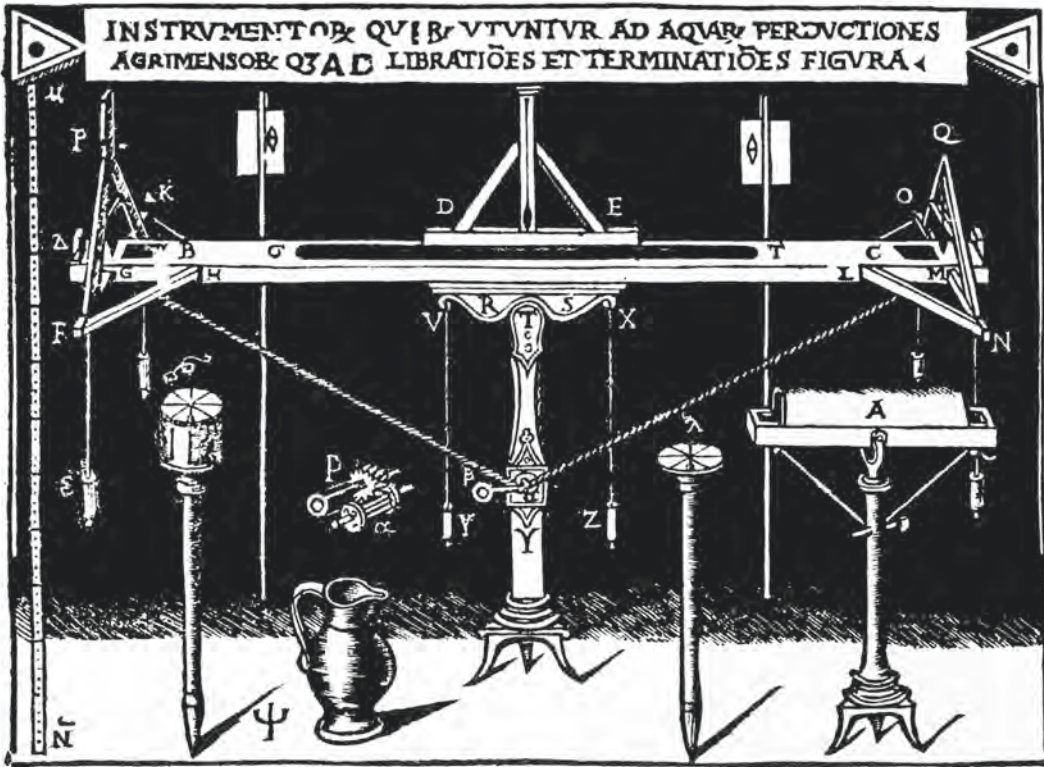
Folgt man aber der Beschreibung Vitruvs wortgetreu, so entsteht ein Nivelliergerät, das in seiner Einfachheit von geradezu bestechender Genialität ist. Nach diesen neuesten Erkenntnissen wird mittels dieses Gerätes nicht mehr visiert, sondern die Höhenunterschiede werden am Gerät selbst gemessen. Dazu benutzt man es wie einen riesigen Stechzirkel: Durch stetiges Wenden werden bei jedem zweiten Messgang sämtliche Gerätefehler eliminiert. Eine bestimmte Messanordnung schließt darüber hinaus sogar die Schreib- und Rechenfehler aus und macht Kontrollmessungen weitgehend überflüssig. Ganz nebenbei wird gleichzeitig mit dem Nivellement die Streckenlänge der späteren Aquädukttrasse ermittelt; die Auswirkungen der Erdkrümmung werden eliminiert.

Dabei galt zu allen Zeiten: Wer den Höhenunterschied zwischen zwei Punkten ermitteln will, muss zwischen ihnen eine horizontale Linie herstellen (Abb. 2). Aus der Differenz der über den Punkten gemessenen Abstände zur Horizontalen lässt sich der Höhenunterschied errechnen. Am einfachsten ist das mittels eines Holzbalkens möglich, den man mit einer Wasserwaage oder einer Setzwaage horizontal gestellt hat. Legte man diesen Holzbalken nämlich mit einem Ende auf einem der anzumessenden Punkte auf, so lässt sich anhand der Höhenlage des anderen Balkenendes über dem zweiten Punkt der Höhenunterschied bestimmen. Die Messung war allerdings dann recht unbequem, wenn die Punkte in Bodenhöhe lagen. Um die Messung etwas komfortabler zu gestalten, gilt es, den Messvorgang vom Boden in eine praktikablere Höhe zu verlegen. Dazu bringt man an beiden Enden des Balkens Stützen in Form von Holzpfosten an, die man über schräge Streben fest mit dem Balken verbindet. Wenn die Stützen exakt gleich lang sind, hat man die Messlinie parallel nach oben verschoben und kann die Arbeiten mit Wasserwaage oder Setzwaage zur Horizontierung des Balkens in Brusthöhe durchführen. Ist der Abstand zwischen den beiden Höhenpunkten größer als der Balken lang ist, so muss in mehreren Lagen gemessen werden, das heißt man bestimmt den Höhenunterschied mittels Zwischenpunkten. Dazu muss man mit dem Gerät die Strecke abschnittsweise durchmessen – genau wie man mit einem Zirkel arbeitet, den man zum Abgreifen einer Strecke hin und her wendet, wenn man eine Streckenlänge in einer Karte auf dem Blatt abschreitet.

⁷ K. Grewe, Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates, eines römischen Nivelliergerätes nach Vitruv. Allg. Vermessungs-Nachr. 88, 1981, 205–220.

⁸ Später als die Entwürfe Leonardo da Vincis (Codice Atlantico, Blatt 131Ra) wurden ähnliche Geräte veröffentlicht bei Fra Giovanni da Verona, M. Vitruvius per Jocundum solito castigatior factus cum figuris et tabula ut jam legi et intellegi possit (Venedig 1511; ³1522; Nachdr. Tours 2005), Marcus Vitruvius Pollo, De architectura libri decem [Übersetzt von Cesare Cesariano. Kommentar von Cesariano, Benedetto Giovio und Bono Mauro da Bergamo] (Como 1521) und Giovanni Antonio Rusconi,

Della architettura. Con Centofefsanta Figure Disegnate dal medesimo, secondo i precetti di Vitruvio, e con chiarezza, e brevità dichiarate, libri dieci (Venedig 1590). In der ersten deutschen Vitruvsausgabe von Walther Hermann Ryff wird die Rekonstruktion von Cesariano wiedergegeben, s. Vitruvius Teutsch. Nemlichen des aller namhafftigsten vn[d] hocherfarnesten, Römischen Architecti, und Kunstreichen Werck oder Bawmeisters, Marci Vitruuij Pollionis, Zehen Bücher von der Architectur vnd künstlichem Bawend. Ein Schlüssel vnd einleytung aller Mathematische[n] (Nürnberg 1548) 8. Buch, 6. Cap., Bl. 255.



Rekonstruktionen des vitruvschen Chorobats.
 3 (Buchseite gegenüber) Nach Leonardo da Vinci.
 4 (oben) Nach Cesare Cesariano.

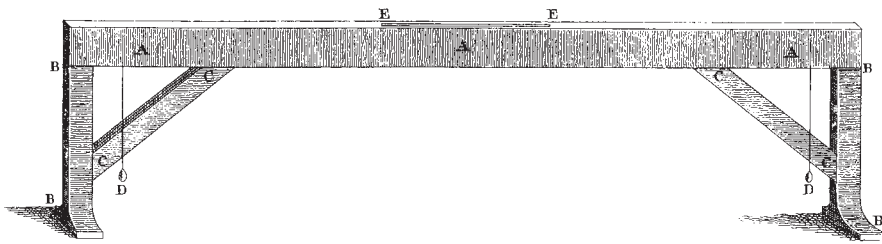
Mit diesem Messvorgang und dieser Hilfskonstruktion ist sicherlich die einfachste Art des Nivellements beschrieben. Die nachfolgenden Betrachtungen werden zeigen, dass Vitruv genau diese Gedanken dem von ihm beschriebenen Verfahren zur Höhenvermessung zugrunde legt.

Grundlegend unterscheiden sich zwei Modelle der Rekonstruktion. Die von Leonardo angeführte Gruppe zeigt Geräte, die mit einer beweglichen Ziellinie über einem mittig angebrachten Standbein ausgerüstet sind⁸. Die Geräte verfügen über Einrichtungen für das Visieren über größere Entfernungen und sind wie moderne Nivellierinstrumente einsetzbar, allerdings ohne Fernrohr: An einer Nivellierlatte werden die Höhenwerte über Geländepunkten abgelesen und daraus der Höhenunterschied zwischen jeweils zwei Punkten berechnet. Diese Modelle sind für ihre Zeit hochmodern. Da die bewegliche Ziellinie Peilungen in allen Richtungen zulässt, kann damit sogar ein Streckennivellement mit Vor- und Rückblicken durchgeführt werden (Abb. 3 und 4).

Die Sache hat allerdings einen Haken: Diese Nivelliergeräte entsprechen in keiner Weise der Beschreibung Vitruvs. Sie sind typische Entwicklungen der Renaissance. Die Konstrukteure der frühen Neuzeit übernehmen zwar Vitruvs Grundideen bezüglich des Einsatzes von Loten und Wasserwaage zur Horizontierung, entwickeln sonst aber völlig neuartige Geräte.

Bleiben die vitruvgetreuen oder der Beschreibung Vitruvs angenäherten Rekonstruktionen des Chorobates: Daniel Barbarus stellt 1567 ein solches Gerät vor. Er bringt allerdings nicht schräge Streben zwischen Richtscheit und Standbeinen (Schenkeln) unter, sondern ein über die ganze Länge des Gerätes reichendes Holz.

Giovanni Poleni und Simone Stratico sind die ersten, die 1825–1830 eine wirklich detailgetreue Rekonstruktion des vitruvschen Chorobats vorlegen: Richtscheit, Standbeine und Querstreben des Gerätes entsprechen exakt der Beschreibung Vitruvs, auch die Anbringung der Bleilote



5 Rekonstruktion des Chorobates von Giovanni Poleni und Simone Stratico.

entspricht den Vorgaben. Die Beschreibung des Fachschriftstellers lässt eigentlich eine andere Rekonstruktion gar nicht zu: So muss Vitruvs Chorobat aussehen haben⁹ (Abb. 5).

Nun ist die Diskussion um die Funktionsweise des Chorobates damit aber noch nicht zu Ende. Obwohl Vitruv von Visierhilfen an seinem Nivelliergerät überhaupt nichts erwähnt hat, kommen auch die jüngsten Rekonstruktionen nicht ohne diese Einrichtungen aus¹⁰. Das mag daran liegen, dass aus heutiger Sicht ein solches Gerät nicht anders vorstellbar erscheint. Vielleicht ist man zu sehr dem Gedanken verhaftet, ein Streckennivellement sei immer über Rückblicke und Vorblicke zu führen, so wie man es vom Umgang mit den einfachsten Geräten unserer Tage gewohnt ist. Dabei ist es durchaus reizvoll, sich bei der Rekonstruktion des Messvorgangs nur der von Vitruv genannten Vorbedingungen zu bedienen, und diese sind einfachster Art.

Nimmt man bei der Betrachtung die Bedeutung des griechischen Wortes *χωροβάτης* hinzu, so wird das Nivellement nach Vitruv sehr bildhaft, denn in den Wortteilen ist vom Raum, Grund, Boden und vom Messen, Gehen, Schreiten die Rede. Danach hätten wir mit dem Chorobat ein »auf dem Boden dahinschreitendes« Gerät¹¹. Aus Vitruvs Beschreibung und Benennung lässt sich also keinesfalls ableiten, dass mit dieser Urform des Chorobates über größere Entfernungen visiert wurde, es bleibt vielmehr nur Raum zu der Annahme, dass das Gerät ganz einfach zum Nivellieren der berührten Punkte verwendet wurde. Lagen die Messpunkte mehr als die Länge des Chorobates auseinander, nämlich zwanzig römische Fuß, also 5,92 Meter, so musste mit Wechsellagen gearbeitet werden (Abb. 6).

Vitruvs Chorobat: Ein neuer Rekonstruktionsversuch

Beim Wasserleitungsbau dürfen die beiden Arbeitsschritte der Planung und der Trassierung sowie die dabei angewandten Messmethoden allerdings nicht verwechselt werden:

(1) Das Nivellement als Methode der Bestimmung von Höhenunterschieden und Streckenlängen als Grundlage für die Planung eines Gefälles und

(2) die Gefälleabsteckung, also die Übertragung einer Gefällelinie nach der Planung in das Gelände (Trassierung).

Der Chorobat ist also das Gerät, das von den römischen Ingenieuren in der Planungsphase zur Ermittlung des Höhenunterschiedes und der Streckenlänge zwischen zwei Festpunkten eingesetzt wurde.

⁹ M. Vitruvii Pollionis architectura. Textu ex recensione codicum emendato cum exercitationibus notisque novissimis Ioannis Poleni et commentariis variorum additis nunc primum studiis Simonis Stratico I–VIII (Udine 1825–1830), zur Rekonstruktion des Chorobates s. Bd. III (1829) S. II Taf. V, Abb. II. – A. Neuburger, Die Technik des Altertums (Leipzig 1919) 396 schlägt auf dieser Basis eine Erweiterung vor, wonach der Chorobat wie ein Küchentisch von 6 m Länge aussieht. – G. Cozzo, Ingegneria Romana (Rom 1928; Nachdr. 1970) denkt an eine weitere Variante, die

aber nur bezüglich der Streben Änderungen aufweist, s. hierzu Grewe, Planung 20 f.

¹⁰ K. Peters, Messgeräte des Altertums. Nachbau – Experimente – Genauigkeit. Schriftenr. Förderkreis Vermessungstechn. Mus. 30 (Dortmund 2002); I. Moreno Gallo, Roman Surveying. In: Proceedings of the European congress »Elementos de ingeniería romana« (Tarragona 2004) 25–33; G. Opdenberg, Der Chorobat des Vitruv, VDVmagazin Vermessung u. Geoinf. 58, 2007, 120–125.

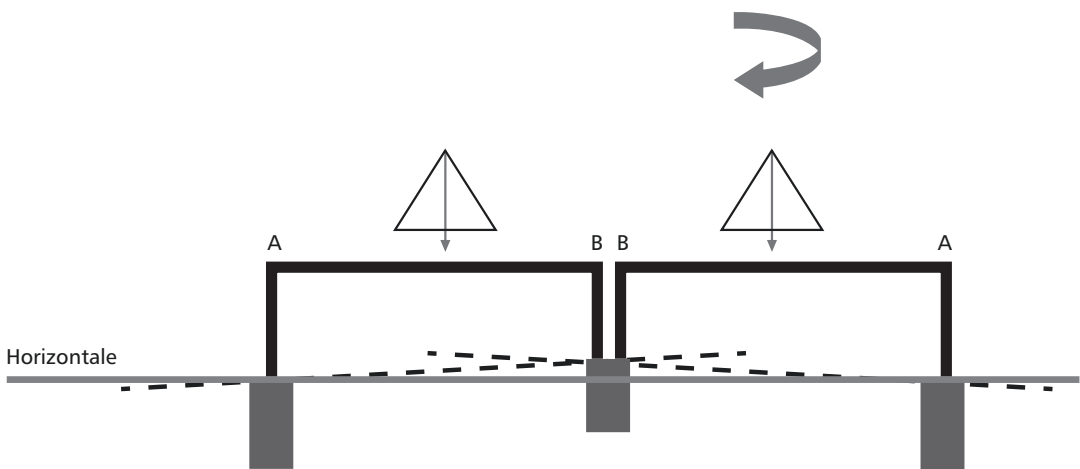
¹¹ Schmidt, Instrumente 49.

Bleibt die Frage, was Vitruv uns nun eigentlich vorgestellt hat. Nach den genannten Einsatzmerkmalen kann mit seinem Gerät eigentlich nur direkt gemessen werden: Eine mittig angebrachte Stehachse ist bei Vitruv nicht vorhanden, also konnte nicht in verschiedene Richtungen gezielt werden; Visierhilfen sind nicht vorhanden, also kann auch nicht visiert werden; und da die Stativbeine an beiden Enden des Richtscheits fest und unbeweglich mit diesem verbunden sind, kann also allenfalls das gesamte Gerät gewendet werden.

Es scheint tatsächlich so zu sein, als stelle uns Vitruv mit dem Chorobat ein Nivelliergerät in seiner reinsten Form vor, das auf genial einfache Weise ein Nivellement auch über längste Strecken zulässt. Im Grunde haben wir hier eine überlange Wasserwaage vor uns, die an beiden Enden mit Stativbeinen ausgestattet ist und direkt auf den anzumessenden Punkten horizontal aufgestellt wird, wonach der Höhenunterschied an einem der Stativbeine zu ermitteln ist.

All diese Überlegungen wären rein hypothetisch, wenn es nicht Belege für die Anwendung des einen oder anderen Verfahrens gäbe, zumal Vitruv selbst nur den Aufbau des Gerätes beschreibt, nicht aber dessen Anwendung. Lassen wir die Neuerfindungen von Chorobaten seit Leonardo außer Acht, so haben wir für die verbleibenden Modelle ohne Visiereinrichtungen ebenfalls lediglich die Gerätebeschreibung zur Verfügung und keine Beschreibung der Handhabung. Es gibt allerdings eine Ausnahme: Unter den Ingenieurtraktaten des achtzehnten Jahrhunderts findet sich ein ›Technologisches Wörterbuch‹ von Johann Karl Gottfried Jacobsson, in dem eine treffliche Erklärung zu dem angesprochenen Problem gegeben wird:

»Wasserwaage des Vitruvs. (Chorobates.) An beyden Enden eines 20 Schuh langen Parallelepipedum oder Latte giengen zwey Arme oder ein Paar andere gleich lange kürzere Latten herunter, auf denen ein Paar Linien genau mit einander parallel gezogen, auf einer dritten, längs des Parallelepipedum gezogenen Linie, senkrecht standen. Ließ man nun längs diesen beyden Linien Lothe herab hängen, und verrückte man das Parallelepipedum so lange, bis die parallelen Arme genau vertikal gestellet waren, so hatte man erstlich längs des Parallelepipedum eine Horizontallinie. Weil man aber besonders bey windigem Wetter kein Senkbley gebrauchen konnte, so wurde längs der Oberfläche des erwähnten Parallelepipedum eine überall gleich tiefe Rinne eingeschnitten, in die man Wasser goß, und nun das Werkzeug so lange rückte, bis das Wasser in der Rinne überall gleich hoch stand, ohne an einer Seite überzulaufen, woraus man denn ebenfalls die horizontale Stellung des Parallelepipedum, und folglich die vertikale Stellung der beyden herab hängenden Arme beurtheilte. Beym Gebrauch wurde nun erstlich das Parallelepipedum parallel gestellt. Nun maaß man, wie hoch beyde Enden der vertikalen Latten über dem Boden standen, und fand durch den



6 Durch Drehung des Chorobats nach jedem Messgang werden Gerätefehler eliminiert.

Abzug beyder Höhen, um wie viel der eine Punkt des Bodens über dem anderen lag. So maaß man also von 20 Fuß zu 20 Fuß das Steigen und das Fallen des Bodens.«¹²

Dieses Verfahren ist nicht nur einfach durchzuführen, sondern von geübten Landmessern auch schnell, schließlich befand man sich bei diesem Arbeitsschritt noch auf dem noch unverritzten Gelände an der Erdoberfläche. Bei näherem Hinschen wird deutlich, dass dieses Verfahren ganz nebenbei noch ein paar weitere Vorteile bietet, die besonders die Fehlervermeidung betreffen.

Jacobsson zeigt in seiner Beschreibung die Durchführung eines regelrechten Nivellements, allerdings ohne Visuren, sondern durch Berühren der Zwischenpunkte mit den beiden Füßen des Chorobates. Er führt also nach jeder Aufstellung eine kleine Berechnung durch, um den Höhenunterschied (Δh) zwischen den beiden Punkten zu ermitteln. Am Ende eines Streckennivellements ergibt die Summe dieser Δh den Höhenunterschied zwischen Anfangs- und Endpunkt der vermessenen Strecke. So einfach das beschriebene Verfahren ist, Jacobsson beschreibt damit sogar schon die schwierigere Variante aller Möglichkeiten, denn er hätte sich über den größten Teil der Strecke auch auf einer Höhenlinie bewegen können. Bei diesem Verfahren sind sämtliche Zwischenpunkte mittels Holzpfähchen auf einer Höhe abzustecken. Damit wären in diesem Teil der Strecke keine Aufzeichnungen und keine Zwischenrechnungen nötig. Der gesamte Höhenunterschied würde dann erst in der Schlussstrecke ermittelt, womit auch die Kontrollmessungen nur in diesem Bereich durchzuführen wären.

Es darf nicht übersehen werden, dass jedes Nivellement, egal nach welchem Verfahren es durchgeführt wird, durch eine zweite Messung kontrolliert werden muss. Wird dabei ein Fehler festgestellt, so muss das Nivellement sogar durch eine dritte Messung kontrolliert werden. Bewegt man sich aber mit dem Chorobat auf einem Teil der Strecke auf einer Höhenlinie, so ist die Messung in diesem Abschnitt praktisch fehlerfrei.

So paradox das Ganze klingen mag: Wenn man den Chorobat in seiner einfachsten Form und Anwendung mittels Nivellieren der berührten Punkte einsetzt, löst sich das Problem auf ebenso einfache Weise und zudem noch mit der größtmöglichen Genauigkeit. Da bei diesem Messverfahren eine Linie gleicher Höhe ›abgeschritten‹ wird, bewegt man sich beim Messvorgang auf der späteren Trasse. Die im Abstand von zwanzig Fuß abgesteckten Zwischenpunkte bilden mit einer Kette von Messpunkten praktisch den späteren Trassenverlauf. Man muss zur Ermittlung der Trassenlänge die Anzahl der Geräteaufstellungen zählen und mit der Länge des Chorobates multiplizieren. Lediglich das Gefälle ist auf dieser Strecke noch nicht berücksichtigt; das kann aber bei der späteren Gefälleabsteckung durch eine leichte seitliche Verschiebung der Trasse oder durch eine kontinuierliche (und geringfügige) Tieferlegung der Wasserleitung berücksichtigt werden.

Bei einem Nivellement mit Fernzielung, wie es für den römischen Wasserleitungsbau bisher allgemein angenommen wurde, wäre die Strecke in einer vom Nivellement getrennten Streckenmessung zu ermitteln gewesen. Trassengetreu wäre das allerdings nur schwerlich oder schlicht unmöglich gewesen, da man die Strecke einer Trasse zu ermitteln hatte, deren genaue Lage man noch gar nicht kannte. Selbst wenn man sich bemüht hätte, mit der Streckenmessung möglichst nahe an der zu planenden Trasse zu liegen: die ermittelte Streckenlänge wäre mit der gesuchten Trassenlänge niemals identisch gewesen, und das war für die Planung der oftmals grenzwertig

¹² J. K. G. Jacobsson, *Technologisches Wörterbuch VIII* (Berlin und Stettin 1795) 156. Neben der Bezeichnung ›Chorobates‹ verwendet Jacobsson den Begriff ›Parallelepiped‹; er beschreibt dieses Gerät aber auch genauer: »Parallelepiped = Richtscheit mit 20 Fuß Länge und einer markirten Linie. Dazu zwei Standhölzer, die je zwei

senkrechte parallele Linien aufwies. Die senkrechten Linie und die zum Richtscheit parallel angelegte Linie waren streng rechtwinklig zueinander angelegt. Dazu eine Wasserrinne.«

¹³ Vit. 8, 5.



7 Die Methode des Austafelns.

geringen Gefälle römischer Wasserleitungen eigentlich unabdingbar. Da man verfahrensgemäß in längeren geraden Streckenabschnitten gemessen hätte, wäre im Ergebnis ein von der gesuchten gewundenen Trassenlinie abweichender Polygonzug gemessen worden. Bildhaft gesprochen wäre das, als wenn man sich abschnittsweise auf der Sehne eines Bogens bewegte, denn nun wurde nicht die Länge des Bogens ermittelt, die man für die Gefälleberechnung doch dringend benötigte, sondern die Länge der Sehne, was für die zu ermittelnde Strecke zwangsläufig zu einem kürzeren Ergebnis führen musste. Nicht nur der Aufwand war wesentlich größer, auch die Genauigkeit hätte unter diesem Verfahren gelitten.

Und Vitruv schreibt doch unmissverständlich: »Ebenso wird man, wenn mit diesem Chorobat so nivelliert ist, wissen, wie groß das Gefälle ist«¹³. Er schreibt also nicht, dass man nach der Messung weiß, wie groß der Höhenunterschied ist. Möglicherweise ist das ein weiterer Hinweis darauf, dass beim Nivellement mit dem Chorobat in einem Durchgang sowohl der Höhenunterschied als auch die Trassenlänge ermittelt wurde, wonach schließlich auch das exakte Gefälle errechnet werden konnte.

Um Missverständnissen vorzubeugen muss noch einmal verdeutlicht werden, dass der Chorobat nur bei der Ermittlung der Höhen im Vorlauf der Trassenplanung zum Einsatz kam. Mit dem Chorobat wurden die Messpunkte in den Baulosgrenzen und eventuelle Gefällewechsellpunkte vor dem Ausbau der Trasse in der Höhe festgelegt. Für die Absteckung des Gefälles zwischen diesen Punkten bediente man sich eines anderen Verfahrens: des Austafelns.

Die Gefälleabsteckung nach der Methode des Austafelns

Es war eigentlich schon immer klar, dass man eine römische Fernwasserleitung ab einer gewissen Trassenlänge nicht mehr in einem Stück erbaut haben konnte. Die Vermutung, dass man bei



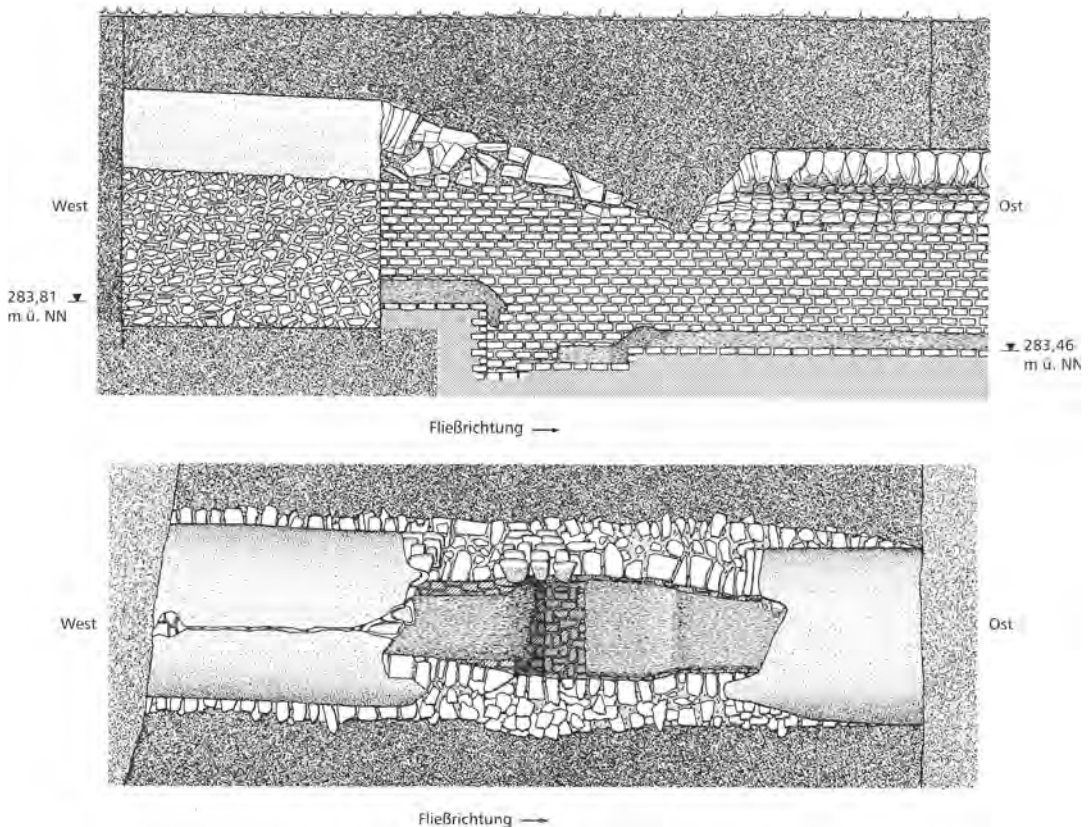
Tosbecken der Eifelwasserleitung an einer Baulosgrenze bei Mechernich-Lessenich.

8 (links) Ansicht

9 (unten) Verursacht durch die beim Austafeln nicht berücksichtigte Erdkrümmung trifft das obere Baulos (links) um 0,35 m zu hoch auf das anschließende Baulos.

langen Trassen in mehreren Baulosen gleichzeitig arbeitete, ließ sich aber bis vor einigen Jahren wissenschaftlich nicht beweisen. Erst seit den Ausgrabungen an den Aquädukten von Siga in Algerien und Köln ist die Bauloseinteilung durch archäologischen Befund nachgewiesen. Auffällige Gefälleknicke und Hilfsbauten zur Überwindung von Höhenversprüngen an Baulosgrenzen lassen Einblicke in die Vorgehensweise der römischen Baumeister und damit in die Baustellenorganisation in der Antike zu. Um Beschädigungen an den Bauwerken zu vermeiden, wurden bei größeren Höhenversprüngen regelrechte Tosbecken eingebaut, damit die zerstörerische Kraft des Wassers an solchen Sollstellen aufgehoben wurde¹⁴.

Auch die Genauigkeit der Gefälleabsteckung mit grenzwertigen Ergebnissen von bis zu vierzehn Zentimeter auf einen Kilometer ließ bislang viele Fragen nach der angewandten Absteckungsmethode offen. Neue archäologische Erkenntnisse lassen aber auch in dieser Hinsicht heute klarer sehen: Die römische Gefälleabsteckung nach der Methode des Austafelns war erstaunlich effektiv und dabei von hoher Genauigkeit bei einfachster Anwendung.



10 Kleine Aquäduktbrücke der Eifelwasserleitung bei Mechernich-Vollem.



Nachdem die Planungsphase abgeschlossen war, konnte man sich dem Ausbau der Trasse zuwenden. Dazu musste eine planerisch gefundene Linie in das Gelände übertragen werden. Betrachtet man den Verlauf einer antiken Fernwasserleitung vor Ort oder in einer Karte, kann eigentlich der Gedanke gar nicht aufkommen, es habe eine ordentliche Trassenabsteckung in römischer Zeit nicht gegeben.

Im Gegensatz zu dem in der Planungsphase eingesetzten Chorobat bediente man sich bei der Gefälleabsteckung eines Verfahrens, das im Kanalbau vor wenigen Jahrzehnten noch üblich war, nämlich der Methode des Austafelns (Abb. 7). Dazu benötigt man zwei mit Hilfe des Chorobates abgesteckte Ausgangshöhenpunkte am Anfang der Gefällestrecke und für die folgende Gefälleabsteckung drei T-förmig konstruierte Zieltafeln. Die beiden Ausgangshöhenpunkte sind äußerst exakt abzustecken und zwar sowohl bezüglich ihres Abstands, als auch ihres Höhenunterschiedes. In beiden Punkten werden Messpfähchen exakt so tief in die Erde eingeschlagen, dass sie zueinander einen Höhenunterschied aufweisen, der dem Sollgefälle im anschließenden Trassenabschnitt entspricht. Plant man, die Trasse mit einem glatten Gefälle von beispielsweise zwei Prozent abzustecken, so müssen auch der Abstand und der Höhenunterschied der Gefälleausgangspunkte glatte Werte aufweisen: zwei Fuß Höhenunterschied auf einen Abstand von hundert Fuß ergibt zwischen beiden Punkten eine Linie mit dem geplanten Gefälle von zwei Prozent.

Die drei T-Tafeln müssen exakt identisch gefertigt sein. Zwei von ihnen werden über den Gefälleausgangspunkten aufgestellt. Durch Peilung über die Oberkanten dieser beiden T-Stücke wird das Sollgefälle in Augenhöhe sichtbar gemacht – es ergibt sich eine Visierlinie, die über die Oberkanten der beiden Instrumente verläuft und nun sukzessive über den nachfolgenden Trassenabschnitt verlängert werden kann.

Auf diese Weise fährt man bis zum Ende des Bauloses oder bis zum nächsten Trassenfestpunkt fort, der bei der vorangegangenen Baulosabsteckung durch ein einnivelliertes Holzpfähchen markiert ist. Dieser Zwangspunkt muss in der Höhe möglichst exakt getroffen werden, da ein zu tiefes Erreichen dieses Punktes zu einem Nacharbeiten, also Auffüllen der gesamten Wasser-

¹⁴ Grewe, Atlas 97–107, Fundstelle 24.1.

leitungssohle im vorangegangenen Abschnitt führt. Kommt man in diesem Festpunkt jedoch zu hoch an, so muss die Sohle der Wasserleitung durch eine Stufe oder – bei größeren Differenzen – durch ein Tosbecken an das Anschlussbaulos angeschlossen werden (Abb. 8 und 9).

Durch den archäologischen Nachweis von Höhenstufen und Tosbecken in der Sohle der Eifelwasserleitung nach Köln ist es erstmals möglich, Aussagen über das in römischer Zeit angewendete Absteckverfahren für Aquäduktgefälle zu machen. Zu dieser neuen Erkenntnis führten Ausgrabungsergebnisse im Verlauf der Eifelwasserleitung im Trassenabschnitt vor einer Baulosgrenze. An der betreffenden Strecke ließ sich das Gefälle auf dreieinhalb Kilometer sehr exakt bestimmen: und zwar mit 0,297–0,298 Prozent¹⁵. Das legt die Vermutung nahe, hier sei planungsgemäß ein ›glattes‹ Gefälle von 0,300 Prozent abzustecken gewesen, also von drei auf eintausend römische Fuß.

Das zu flach ausgebaute Gefälle führte dazu, dass man auf den nächsten Höhenfestpunkt in einer Baulosgrenze zu hoch traf, und zwar um fünfunddreißig Zentimeter, was den Bau eines Tosbeckens erforderte, um das Wasser in das Anschlussbaulos überzuleiten. Geht man nun allerdings davon aus, dass die Höhenfestpunkte mit Hilfe des Chorobates abgesteckt worden waren, die Gefälleabsteckung danach durch Austafeln, dann wird klar, wo die Diskrepanz ihre Ursache hat: Bei der Vermessung mit dem Chorobat war die Erdkrümmung ausgeglichen worden, während man sich beim Austafeln auf der Tangente zur Erdkrümmung bewegt hatte.

Nun ist aber noch offen, warum wir hier ein Gefälle von 0,297 % ermittelt haben, wo doch von den römischen Baumeistern ein Gefälle von 0,300 % abgesteckt wurde. Das wiederum liegt ganz einfach in der Tatsache begründet, dass wir bei der Gefällebestimmung heute mittels eines geometrischen Nivellements gearbeitet haben, und dabei natürlich die Erdkrümmung wieder ausgeglichen wurde (Abb. 10).

Erstaunlicherweise ließ sich diese Art der Vermarkung durch Holzpfähle bei der Gefälleabsteckung sogar archäologisch nachweisen, und zwar zweimal im Verlauf der Eifelwasserleitung nach Köln, wie es Waldemar Haberey beschreibt: »Ein unversehrt erhaltenes Stück dieser Leitung wurde in der Weihnachtswoche 1952 herausgetrennt, um in Hürth in einer Grünanlage aufgestellt zu werden. Ein Zufall hat uns gerade dieses Stück herausgreifen lassen. Erst als es aufgestellt und gereinigt war, zeigte sich im harten Gussbeton der Sohle ein senkrechtes, durchgehendes Loch von etwa 0,05 m Dm. Es ist wohl das als Hohlraum erhaltene Negativ eines Pfähleins; und zwar eines jener Pflöcke, wie sie in die Sohle des fertig ausgeschachteten Kanalgrabens genau so tief eingeschlagen werden, dass ihre Oberkante das verlangte Niveau der zu fertigenden Betonrinne angibt. [...] Der Pflöck in Hürth ist verrottet; sein zurückgebliebener Hohlraum wird für uns zum Guckloch über Jahrhunderte zurück auf die römische Baustelle.«¹⁶

Der zweite Nachweis gelang 1990 in Euskirchen-Rheder in der freigelegten Sohle der Rampe zur Aquäduktbrücke über die Erft: »Exakt in der Mittellinie des langgestreckten Mauerzuges fand sich ein rechteckiges Loch von 4 × 8 cm, dessen Seiten parallel bzw. rechtwinklig zu den Bauwerkskanten lagen. Die Untersuchung ergab, dass dieses Loch durchgängig alle drei [...] Schichten des Aquäduktunterbaus durchfuhr; es reichte also noch durch die zuunterst liegende Stückerdung hinab bis in den gewachsenen Boden«¹⁷. Die Lage der aufgefundenen Holzpfähleindrücke im Sohlenbereich der Wasserleitung macht klar, dass diese Pflöcke zur Trassenabsteckung beim Austafeln in der ausgehobenen Baugrube eingeschlagen wurden¹⁸.

¹⁵ Grewe, Planung 38.

¹⁶ W. Haberey, Die römische Wasserleitung nach Köln (Bonn 1965; ²1972) 15.

¹⁷ K. Grewe, Bonner Jahrb. 191, 1991, 385–422, hier 404f.

¹⁸ Im Falle der Eifelwasserleitung lag die Baugrubensohle ca. 3 m unter dem unverritzten Gelände.

Die Groma, das Winkelkreuz der römischen Landmesser

Nach diesen Vorgaben für das Nivellement würde es fast verwundern, wenn die römischen Ingenieure nicht auch bei der Winkelabsteckung ein auf antikem Pragmatismus beruhendes Gerät zur Verfügung gehabt hätten. Nun spielt die Winkelmessung im Wasserleitungsbau nicht die Rolle, die sie in der normalen Bauabsteckung einnimmt. Dort aber war der rechte Winkel sprichwörtlich an allen Ecken und Kanten gefragt, wenn der ›architectus‹ ein ordentliches Bauwerk abliefern wollte. Das Abstecken des rechten Winkels war beim Hausbau unverzichtbar, aber auch bei der Landaufteilung (Limitation und Centuriation) war ohne den rechten Winkel kein befriedigendes Ergebnis zu erreichen.

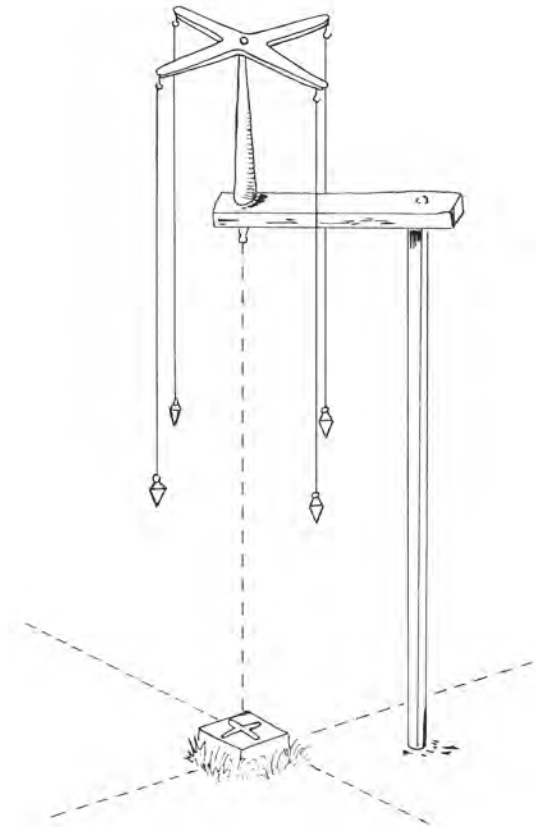
Auch das Abstecken der Straßenachsen bei Stadtgründungen war ohne rechten Winkel undenkbar: Schließlich baute sich das ganze Straßennetz einer römischen Stadt auf deren Nordsüdachse (Cardo maximus) und der Ostwestachse (Decumanus maximus) auf. Die untergeordneten Straßen, also die übrigen Cardines und Decumani, wurden dann als Parallelen zu den beiden Hauptachsen angelegt – und dazu war wiederum mit rechten Winkeln zu arbeiten.

Aber nicht nur die städtischen Siedlungen waren in der Regel nach einem rechtwinkligen Schema aufgebaut, auch bei der Anlage der Militärlager war der rechte Winkel erforderlich. Selbst die abendliche Absteckung eines Marschlagers erforderte den Einsatz des Legionsvermessers, um einen auf rechten Winkeln basierenden Lagergrundriss herzustellen.

Dazu verwendete man die Groma. Dieses Gerät gehörte praktisch zur Grundausstattung der römischen Landvermesser, und vermutlich ist das der Grund, warum der ganze Berufsstand sich auch als gromatici (Sing. gromaticus) bezeichnete. Selbst ein Ergebnis ihrer Vermessungen hat man mit dieser Bezeichnung belehnt: Den Schnittpunkt in der Hauptstraßenkreuzung eines Lagers bezeichnete man ebenfalls als Groma.

Die Groma aus Pompeji

Obwohl man die Groma fast als römisches Allerweltsgerät bezeichnen könnte, ist ihr Aufbau und ihre Handhabung noch lange nicht aus der Diskussion. Dabei ist die Quellenlage zu ihrer Beschreibung gar nicht so dürftig. Der älteste Fund einer Groma sollte sich jedoch schon bald als Fehlinterpretation herausstellen: Ein 1887 im rätischen Limeskastell Pfünz entdecktes Achsenkreuz aus Eisen samt einer dazugehörigen Eisenstange wurde anfangs als Groma gedeutet: »Die Groma bestand, wie sich aus den Angaben der Feldmesser ergibt, aus einem eisernen Stativ, dem ferramentum, und einem Paar fest miteinander verbundener, sich rechtwinklig schneidender



11 Vereinfachte Darstellung der Groma aus Pompeji.

Lineale, der stella, von deren vier Enden (cornicula) Perpendikel (nerviae, fila, perpendiculi) mit Gewichten (pondera) herabhingen.«¹⁹ Hermann Schöne benennt mit dieser Auflistung die in den Schriften der römischen Feldmesser²⁰ genannten Einzelteile einer Groma zwar völlig richtig, der Pfünzer Fund wird dieser Beschreibung aber gar nicht gerecht. Schon Matteo Della Corte, der 1912 bei Ausgrabungen in Pompeji Reste von Vermessungsgerätschaften fand, deutet die vermeintliche Groma aus Pfünz um und sieht darin die eisernen Bestandteile eines römischen Getreidemaßes (modius)²¹. Eduard Nowotny übernimmt diese Interpretation²², und jüngst hat Dietwulf Baatz sich dieses Themas noch einmal angenommen und weist eindrucksvoll nach, dass derartige Achsenkreuze auf hölzerne Messeimer gesetzt waren, um ein Abstreichen des mit Korn gefüllten Behälters zu erleichtern²³. Da Baatz diesen Vorgang an mehreren Beispielen belegen kann, ist das Pfünzer Modell für die Gromaforschung endgültig ad acta zu legen.

Auch Della Corte bringt Teile seines Fundes von 1912 nicht von vorneherein mit einer Groma in Zusammenhang, da die Einzelteile des Gerätes im Laufe eines ganzen Grabungsjahres nach und nach an das Tageslicht kamen. Dann aber fügte sich alles zu einem kompletten Vermessungsgerät zusammen: Auch die Groma aus Pompeji besteht aus den beiden Hauptteilen des Stabstativs (ferramentum) und des Winkelkreuzes (stella). Der Stab hatte am unteren Ende einen teils aus Eisen, teils aus Bronze bestehenden Fuß, der in einer Spitze endete und oben einen ausgeprägten Rand hatte, um ihn in die Erde eintreten zu können. Am oberen Ende war das Stabstativ mit einem Zapfen versehen, um einen Auslegerarm drehbar aufsetzen zu können. Am Ende des Auslegers wurde das Achsenkreuz – ebenfalls drehbar – aufgesetzt. An den vier Enden der Achsen des Winkelkreuzes wurden mittels Schnüren Lote eingehängt, die der Visur dienten. Damit wird auch deutlich, warum der Konstrukteur dieser Groma in seinem Modell einen Auslegerarm untergebracht hat, denn nur mit dieser Hilfskonstruktion war eine freie Sicht über jeweils zwei gegenüberliegende Lotschnüre überhaupt möglich. Mit dieser Rekonstruktion stand den Gromatici ein funktionstüchtiges Gerät zur Absteckung rechter Winkel zur Verfügung (Abb. 11).

Die Handhabung der Groma

Zur Aufstellung der Groma wird im Schnittpunkt des Winkelkreuzes ein weiteres Lot eingehängt, womit sich das Gerät über dem Vermessungspunkt, in dem ein rechter Winkel abgesteckt werden soll, positionieren lässt. Damit ist ein Punkt der Grundlinie fixiert. Zur Messung wird das mittig eingehängte Lot wieder entfernt, um die Visierlinien freizugeben.

Nun orientiert man das Winkelkreuz und zielt über zwei diagonal gegenüberliegende Lotschnüre den Fluchtstab im zweiten Punkt der Grundlinie an; damit ist die Groma eingerichtet. Die beiden anderen Lotschnüre zeigen nun die Richtung des rechten Winkels zur Grundlinie an. Mittels einer Visur über diese beiden Lotschnüre lässt sich der rechte Winkel in das Gelände übertragen.

¹⁹ H. Schöne, Das Visirinstrument der römischen Feldmesser, *Jahrb. DAI* 16, 1901, 127–132 Taf. 2.

²⁰ F. Blume / K. Lachmann / A. Rudorff, Die Schriften der römischen Feldmesser (Berlin 1848; Nachdr. Hildesheim 1967) 335 f.

²¹ M. Della Corte, *Groma. Mon. Ant.* 28, 1922, 5–100 (= *Groma [Rom 1922]*), hier 8.

²² E. Nowotny, *Groma. Germania* 7, 1923, 22–29, hier 22.

²³ D. Baatz, *Groma oder Modius? Zu einem Fund aus dem Limeskastell Pfünz*, *Bayer. Vorgeschbl.* 59, 1994, 73–83 Taf. 5–7.

²⁴ Grewe, *Planung* 21–23.

²⁵ Ivrea, *Museo Civico*. – *CIL* V 2 Nr. 6786; della Corte (*Anm.* 8) 29; Nowotny (*Anm.* 22) 22; Schöne (*Anm.* 19) 127; K. Grewe, *Die Groma auf dem Grabstein des Mensors Lucius Aebutius Faustus*, *Der Vermessungsingenieur* 31, 1980, 164; J.-P. Adam, *La Construction Romaine* (Paris 1984) 9.

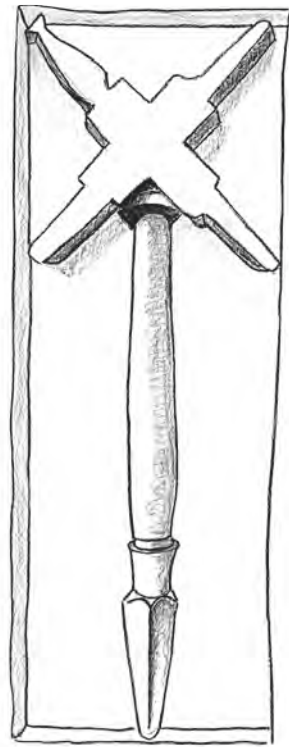
Da eine solche Groma bezüglich des rechten Winkels im Schnittpunkt ihrer beiden Achsen nicht fehlerfrei herzustellen war, konnte auch die Übertragung in das Gelände kaum fehlerfrei gelingen. Hier setzt nun aber die im Grundkonzept der Groma erkennbare Genialität ein, denn mittels eines zweiten Messganges ließ sich der Winkelfehler der Absteckung auf null reduzieren. Dazu wurde das Winkelkreuz um neunzig Grad gedreht und der Messvorgang wiederholt. Dieses Mal wurde die Groma also über die zwei anderen Lote auf der Grundlinie eingerichtet, und danach konnte der rechte Winkel ein zweites Mal abgesteckt werden. Da der Gerätefehler derselbe wie beim ersten Messvorgang war, war die Absteckung natürlich wiederum fehlerhaft und zwar in derselben Größenordnung – dieses Mal aber mit einem anderen Vorzeichen: Lag man mit der ersten Absteckung links vom wahren rechten Winkel, so lag man mit der zweiten Absteckung um denselben Wert rechts davon. Der Abstand zwischen den beiden abgesteckten Punkten zeigte also den doppelten Absteckfehler an und musste nun nur noch halbiert werden, um einen exakten rechten Winkel zur Grundlinie zu erhalten. Bei sorgfältiger Absteckung war auf diese Weise eine fast fehlerfreie Messung möglich.

Eine Fehlermöglichkeit bei diesem Verfahren bestand allerdings darin, die Wiederholungsmessung versehentlich über dieselben Lotschnüre durchzuführen, die schon bei der ersten Messung verwendet worden waren. Aber auch dagegen hatte man sich versichert, wie wir aus archäologischen Fundkomplexen wissen: Man hatte die Lote unterschiedlich ausgeformt, wobei die jeweils zu einer Visur gehörigen gleichartig waren. Paarweise ausgeformte Bleilote fanden sich zum Beispiel im pompejanischen und in einem spanischen Fundkomplex²⁴.

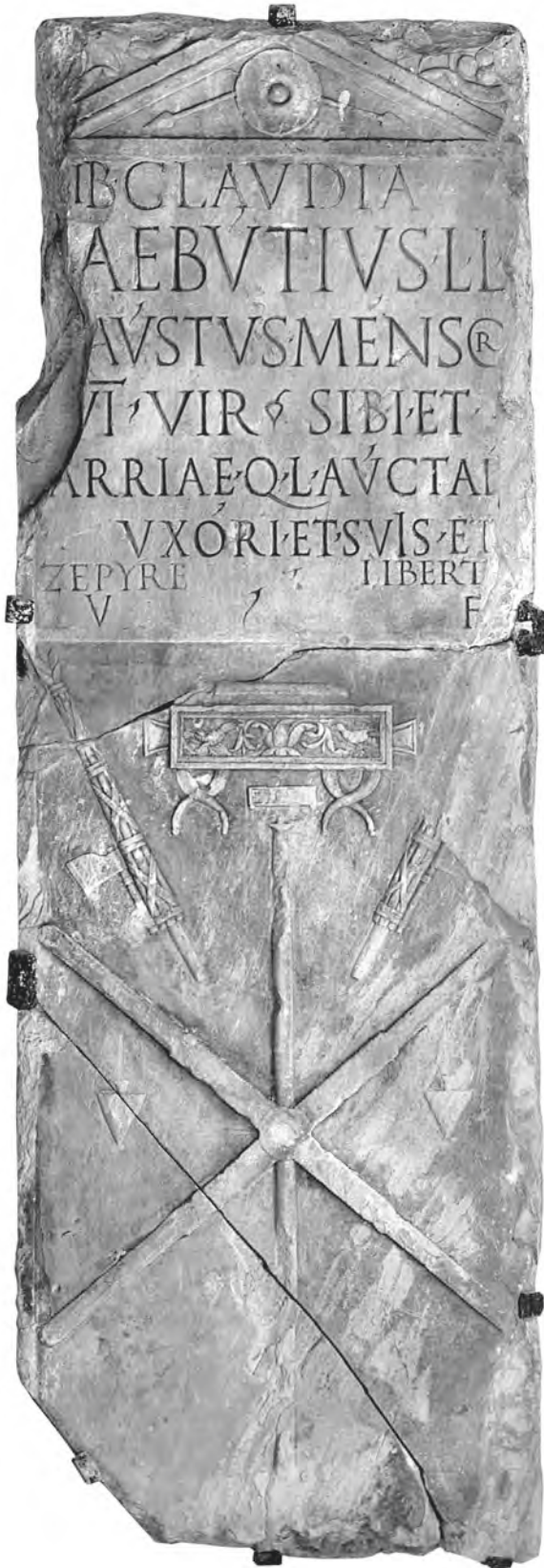
Die Groma von Ivrea

Von zwei Darstellungen einer Groma auf Grabsteinen ist die des Mensors Nicostratus aus Pompeji vom Anfang des ersten nachchristlichen Jahrhunderts zwar recht bildhaft, zeigt aber wenig zur Handhabung (Abb. 12). Nach dem Relief auf dem Grabstein des Mensors Lucius Aebutius Faustus aus Ivrea²⁵, das in der Mitte desselben Jahrhunderts entstand, lässt sich ein Modell der Groma rekonstruieren, das von der Handhabung her aber ziemlich identisch mit dem Stück aus Pompeji ist, denn bei Anwendung dieser Groma wird ebenfalls über die vier Lotschnüre eines Achsenkreuzes visiert. Von den vier notwendigen Loten sind im Relief allerdings nur zwei dargestellt, worin man eine gewisse Vereinfachung der Darstellung sehen kann. Das Drehkreuz ist bei dem Exemplar der Darstellung aus Ivrea allerdings nicht auf ein gekröpftes Stabstativ – also seitlich verschoben – aufgesetzt, sondern ruht direkt auf dem Stativstab (Abb. 13).

Dadurch wäre eine Visur über die diagonal gegenüberliegenden Lotschnüre eigentlich nicht möglich gewesen, da das Stativ die Durchsicht behindert hätte. Deshalb nimmt Schmidt an, auch dieses Modell sei mit einem – allerdings im Relief nicht dargestellten – Auslegerarm ausgestattet gewesen²⁶. Der ist allerdings für die Winkelmessung mit diesem Gerät nicht zwingend notwendig, denn durch eine besondere Einrichtung ist auch dieses Modell funktionstüchtig: Ganz offensichtlich handelt es sich bei der Groma von Ivrea um ein zerlegbares Modell, bei dem

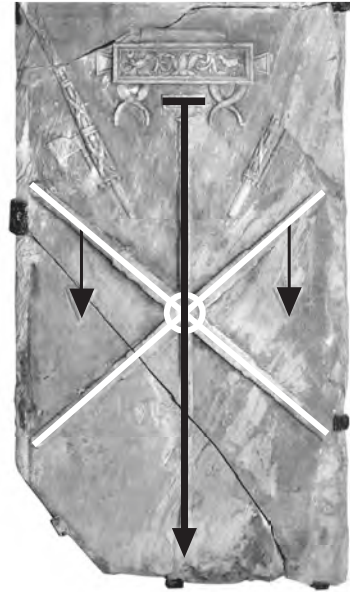


12 Pompeji, Gräberstraße vor dem Herkulaner Tor, Grabstein des Mensors Nicostratus mit Darstellung einer Groma.

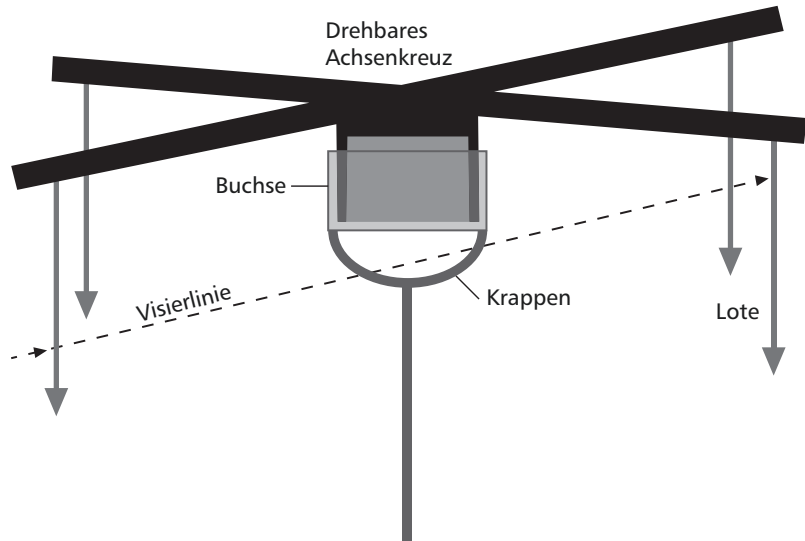


13 Ivrea, Museo Civico, Grabstein des Mensors Lucius Aebutius Faustus mit Darstellung einer Groma.

14 und 15 Ausschnitt des Reliefs von Ivrea mit Überzeichnung der Einzelteile der Groma (unten) und Verdeutlichung der achsialen Ausrichtung des Bisellium und Teilen der Groma (ganz unten).



16 Funktionsskizze der Groma auf dem Relief von Ivrea.



das Winkelkreuz und das Stabstativ zwei getrennte Einheiten darstellen. Das Winkelkreuz war fest auf einem Steckzapfen montiert, der exakt in eine das Stabstativ krönende Buchse passte (Abb. 14). Beide Teile waren nun beweglich miteinander verbunden, denn während die Buchse fest auf dem Stativ aufsaß, ließ sich das Winkelkreuz mit dem Steckzapfen darauf drehen.

Um für die Zielung über die Lotschnüre eine Durchsicht freizulassen, hat man unter der Buchse ein Sichtfenster ausgespart (Abb. 16). Buchse und Stabstativ sind nämlich durch Krapfen miteinander verbunden, ähnlich wie der Goldschmied einen Edelstein auf einen Ring setzt, damit dieser auch von unten noch Licht erhält. Im Relief aus Ivrea sind zwei solcher Krapfen in Ansätzen mehr oder weniger deutlich erkennbar. Es wäre aber auch möglich gewesen, die Buchse mittels drei oder vier Krapfen zu befestigen, um größere Stabilität zu erreichen.

Es ist schon erstaunlich, dass diese Buchse, die in der Reliefdarstellung auf dem Grabstein ein wenig unorganisch über dem Stativ zu schweben scheint, in den bisherigen Rekonstruktionsversuchen mit dem Stabstativ der Groma nie Verbindung gebracht wurde, denn eigentlich ist die auf dem Relief von Ivrea gezeigte Groma gar nicht anders zu rekonstruieren, um ein einsatzfähiges Modell zu erhalten. Statt dessen wurde dieses Detail bislang als Zubehör des darüber dargestellten Sitzes (Bisellium) betrachtet und als Fußbank gedeutet²⁷, da in vergleichbarer Position auf den Grabaltären der Naevoleia Tyche²⁸ und des Gaius Calventius Quietus²⁹ in Pompeji Bisellien mit Fußbänken dargestellt sind (Abb. 17). Betrachtet man das fragliche ›Kästchen‹ auf dem Grabstein des Lucius Aebutius Faustus aber genauer, so fällt auf, dass es im Gegensatz zu den genannten Beispielen axial nicht auf das Bisellium, sondern vielmehr eindeutig auf den Stativstab der Groma ausgerichtet ist. Diese Einschätzung fällt eindeutig aus, da das Bisellium und das Stativ der Groma auf dem Grabstein mit leicht voneinander abweichenden Vertikalachsen dargestellt sind (Abb. 13 und 15).

²⁶ Schmidt, *Instrumente* 113.

²⁷ G. Zimmer, *Römische Berufsdarstellungen*, AF 12 (Berlin 1982) 196 Nr. 141; Th. Schäfer, *Sella Curulis und Fasces. Zur Repräsentation römischer Magistrate*. Mitt. DAI Rom Erg. 29 (Mainz 1989) 341–343.

²⁸ Zimmer (vorherige Anm.) 209 Nr. 157; V. Kockel, *Die Grabbauten vor dem Herkulaner Tor in Pompeji* (Mainz 1983) 105, Taf. 28 b; J. Ronke, *Magistratische Repräsentation im römischen Relief*, BAR Internat. Ser. 370 (Oxford 1985) 68f Abb. 82 Nr. 45.

²⁹ Kockel (vorherige Anm.) 95 Taf. 23.



17 Pompeji, Gräberstraße vor dem Herkulaner Tor, Grab des Calventius Quietus, Bisellium mit Fußbank.

Es sei aber nicht unerwähnt, dass Vorschläge zur Handhabung der Groma vorgelegt wurden, bei denen auf das genannte Sichtfenster verzichtet ist, indem man das Stabstativ nicht senkrecht, sondern mit einer Schräge von drei Grad aufstellt³⁰. Damit erreicht man, dass die senkrecht hängenden Lotschnüre eine Visur neben dem sichtbehindernden Stativ zulassen. Eine solche Handhabung ist aus vermessungstechnischer Sicht allerdings nicht zu akzeptieren: Kein ernsthafter Vermessungsfachmann würde sich auf einer Baustelle mit einem schief aufgestellten Gerät in Position bringen, denn neben dem Messergebnis wäre natürlich auch sein guter Ruf als Fachmann beeinträchtigt. Auch die gelegentlich vorgetragene Einstufung der Groma als Kultgerät³¹ ist aus praktischer Sicht nicht zu rechtfertigen. Ebenso wenig lässt sich die Darstellung auf der Münze des Lucius Roscius Fabatus von 64 n. Chr. als Groma deuten³².

Ergebnis

Die Höhenvermessungen in römischer Zeit wurden mittels des bei Vitruv beschriebenen Chorobates durchgeführt; für die Absteckung von Gefällen wandte man dagegen die Methode des Austafeln an. Beide Methoden haben für ihren Spezialeinsatz im römischen Wasserleitungsbau einen Vorteil, der bezüglich der Baustellenorganisation nicht zu unterschätzen ist: Sowohl beim Nivellement mit dem Chorobat als auch beim Austafeln war die Anwesenheit des Vermessungsfachmanns nur am Beginn der Arbeiten erforderlich, der eigentliche Vermessungsvorgang konnte dann von Hilfskräften durchgeführt werden. Für das Austafeln bedeutete dies, dass lediglich das Anfangsgefälle für einen Trassenabschnitt vom Fachmann abgesteckt werden musste, den Rest machte dann das Hilfspersonal. Das ist deshalb von großer Bedeutung, weil ausgebildete Fachleute

³⁰ T. Schiøler, *The Pompeii-Groma in New Light*, *Analecta Romana* 22, 1994, 45–60; B. Cech, *Technik in der Antike* (Darmstadt 2010) 30–32.

³¹ So G. Opdenberg, *Die Groma der Agrimensoren. Messinstrument oder Kultgerät?*, *VDVmagazin Vermessung*

u. *Geoinformation* 57, 2006, 104–108 = *Arch. Korrbibl.* 37, 2007, 95–106.

³² So A. S. Fava, *I simboli nelle monete argentee repubblicane e la vita dei Romani* (Turin 1969) 36 Nr. 67.

in römischer Zeit kaum in größerer Zahl zur Verfügung gestanden haben dürften; möglicherweise gab es sie nur beim Militär. Für den Bauleiter war es deshalb wichtig zu wissen, dass während seiner Abwesenheit von der Baustelle die Arbeiten fehlerfrei fortgeführt werden konnten. Die aufgezeigten Methoden für das Nivellement mit dem Chorobat als auch des Austafelns waren sozusagen selbstkontrollierend.

Mit der geradezu verblüffend fehlerfreien Handhabung der Groma stand den römischen Ingenieuren neben dem Chorobat ein zweites genial einfaches Vermessungsgerät zur Verfügung. Die Art der Anwendung einfacher Mittel zur Erzielung größtmöglich präziser Ergebnisse, wie sie in der Groma für die Absteckung des rechten Winkels sichtbar wird, ist einmal mehr ein Beleg für den unschlagbaren Pragmatismus der römischen Ingenieure im Vermessungswesen.

Prof. Dr. Klaus Grewe, Tannenstraße 18, 53913 Swisttal, mail@klaus-grewe.de

Abkürzungen

Grewe, Planung	K. Grewe, Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen (Wiesbaden 1985).
Grewe, Atlas	K. Grewe, Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln. Rhein. Ausgr. 26 (Köln 1986).
Schmidt, Instrumente	F. Schmidt, Geschichte der Geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und im Mittelalter (1935; Nachdr. Stuttgart 1988).

Bildrechte. Abb. 13 DAI Rom, D-DAI-ROM-A4868 (13) sowie 77.2083 (17). – Das Übrige vom Verfasser. Abb. 11 und 12 neu umgezeichnet von Jakob Becker, Bergisch Gladbach. Der Abb. 12 liegt Baatz (Anm. 23) Taf. 5, 4 zugrunde. Den Überzeichnungen in Abb. 14 und 15 liegt D-DAI-ROM-A 4869 zugrunde; Bildmontage Hans-Joachim Lauffer, Bonn, jetzt Bochum.

Ergebnis. Nivellements im römischen Wasserleitungsbau wurden mit dem bei Vitruv beschriebenen Chorobat durchgeführt, für die Absteckung von Gefällen wandte man die Methode des Austafeln an. Darunter ist der Arbeitsvorgang zu verstehen, eine mittels T-förmiger Holztafeln sichtbar gemachte Gefälleinie im Gelände fortzuführen. Beide Methoden erfordern nicht dauerhaft die Anwesenheit der Vermessungsfachleute, sondern können weitgehend durch angelernte Hilfskräfte vorgenommen werden. Beim Austafeln musste lediglich das Anfangsgefälle für einen Trassenabschnitt vom Fachmann abgesteckt werden. Beide Techniken waren sozusagen selbstkontrollierend. Mit der geradezu verblüffend fehlerfreien Handhabung der Groma stand den römischen Ingenieuren neben dem Chorobat ein zweites, genial einfaches Vermessungsgerät zur Verfügung. Die Anwendung erlaubte größtmöglich präzise Ergebnisse bei der Absteckung des rechten Winkels.

Conclusion. Geodetic levelling in the Roman conduit construction was done with the help of the chorobates as described by Vitruvius, and the downward slopes were plate-staked. Both methods were self controlling, and both could largely be exercised by aides, only the slope starts of the alignment sections had to be staked by specialists in topographical mensuration. With the stunningly simple handling of the groma the roman engineers had at their command a second ingeniously plain measuring device. Its application allowed utmost precise results in marking right angles.

Résumé. Nella costruzione degli acquedotti, secondo Vitruvio, si misuravano le quote di livello con il chorobates. Per la misurazione della pendenza necessaria ci si serviva invece di una procedura particolare. Essa consiste in una sorta di picchettatura, per procedere alla quale erano necessari due punti altimetrici di partenza, e tre grandi picchetti in forma di T, per riportare sul tratto successivo in pendenza i punti di riferimento di tale picchettatura. Per entrambi i metodi non era necessaria una presenza continua dei topografi, essi potevano invece essere applicati in gran parte da personale ausiliario. Nella misurazione della pendenza doveva essere picchettato da parte del topografo soltanto il dislivello iniziale di un tratto. Tutte e due le tecniche si controllavano poi da sé. Oltre al chorobates, l'ingegnere romano aveva a disposizione anche un secondo strumento di misurazione, semplice e geniale, dall'impiego formidabile, in pratica privo di errori, la groma. La sua applicazione consentiva risultati i più precisi possibili nella misurazione dell'angolo retto.