Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 84 (2012)

Artikel: Wasser für Roms Städte : neue Forschungsergebnisse zum römischen Aquäduktbau

Autor: Grewe, Klaus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-378490

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

Wasser für Roms Städte

Neue Forschungsergebnisse zum römischen Aquäduktbau

von Klaus Grewe

Aquäduktbrücke Pont du Gard – eines der Glanzstücke im römischen Wasserleitungsbau.
(Foto: K. Grewe)

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.

The engineering of large structures such as roads, bridges and water pipelines is not an end in itself! Hence, three basic conditions had to be fulfilled before such large projects could go into planning: There had to be a demand for the construction, a powerful client with the financial means and, last but not least, a professional to solve the technical problems. Naturally, these planning principles were also applied to the building of large projects like the Roman aqueducts – and, in fact, they still apply today.

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 ist zwar im Zusammenhang mit der Beschreibung vieler Fernwasserleitungen immer wieder gestellt worden, 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.

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. Zu diesem Zweck müssen aber von einer Reihe dicht bei-

einanderliegender Sohlenpunkte die exakten 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, konnten 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 entziffern.[1]

Nach diesen Forschungsergebnissen gilt, dass man im römischen Fernleitungsbau die sich stellenden Probleme nach Sachlage und damit pragmatisch gelöst hat. Der verantwortliche Baumeister hatte vor Ort und nach den jeweils gegebenen Umständen zu entscheiden, welche Lösung sinnvoll, zweckmässig und auch 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 gestanden haben – und auch diesbezüglich gibt es neue und interessante Forschungsergebnisse.

Vitruvs Chorobat – ein genial einfaches Gerät zur Höhenvermessung

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 des römischen Fachschriftstellers Vitruv (1. Jh. v. Chr.) für die Entschlüsselung des antiken Nivellierverfahrens eine ganz besondere Bedeutung zu. Vitruv beschreibt uns mit seinem 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 vorgelegt hat und 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: «Die erste Arbeit ist das Nivellieren. Nivelliert aber wird mir dem Diopter oder der Wasserwaage oder dem Chorobat, aber ein genaueres Ergebnis erreicht man mit dem Chorobat, weil Diopter und Wasserwaage täuschen. Der Chorobat aber besteht aus einem etwa 20 Fuss[2] langen Richtscheit. Dieses hat an den äussersten Enden ganz gleichmässig gefertigte Schenkel, die an den Enden (des Richtscheits) nach dem Winkelmass (im Winkel von 90 Grad) eingefügt sind, und zwischen dem Richtscheit und den Schenkeln durch Einzapfung festgemachte schräge Streben. Diese Streben haben genau lotrecht aufgezeichnete Linien, und jeder einzelnen dieser Linien entsprechend hängen Bleilote von dem Richtscheit herab, die, wenn das Richtscheit aufgestellt ist und alle Bleilote ganz gleichmässig die eingezeichneten Linien berühren, die waagerechte Lage anzeigen.

2. Wenn aber 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 5 Fuss Länge, einem Zoll Breite und 1½ 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 waagerecht ist. Ebenso wird man, wenn mit diesem Chorobat so nivelliert ist, wissen, wie gross das Gefälle ist.»[3]

Seit der Renaissancezeit bemüht sich die Wissenschaft um eine funktionsgerechte Rekonstruktion dieses Chorobates, der uns von Vitruv so nachdrücklich empfohlen wird. Aber schon Leonardo da Vinci weicht von der Vitruv-Beschreibung ab und zeigt uns ein gänzlich anderes Gerät. Auch nach Leonardo werden uns statt nachvollziehbarer Vitruv-Rekonstruktionen eigentlich immer nur Chorobat-Neuerfindungen vorgelegt. Das geht – von wenigen Ausnahmen abgesehen – bis in unsere heutige Zeit.[4]

Folgt man aber der Beschreibung Vitruvs wortgetreu, so entsteht ein Nivelliergerät, das in seiner Einfachheit von geradezu bestechender Genialität ist. Nach diesen neu-

Der Chorobat von Leonardo da Vinci (um 1500) hat ein einfaches Stabstativ und Visiereinrichtungen, er entsprach also nicht den Vorgaben Vitruvs und muss deshalb als Neuerfindung der Renaissance bezeichnet werden.
(Cod. Atl.131 R-a; der Text wurde von Leonardo da Vinci in spiegelverkehrter Schrift verfasst.)

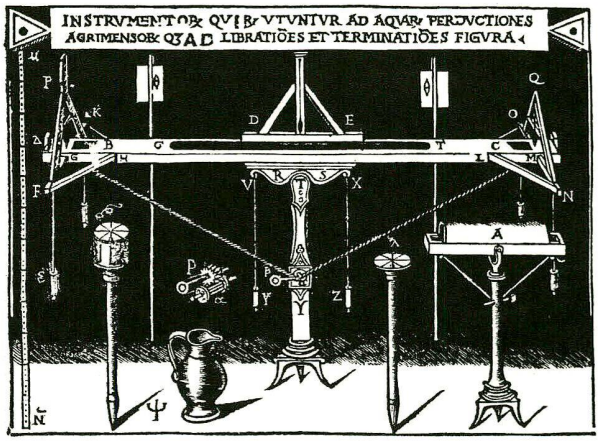
esten Erkenntnissen wird mittels des Gerätes nicht mehr visiert, sondern die Höhenunterschiede werden am Gerät selbst gemessen. Dazu benutzt man dieses Gerät wie einen riesigen Stechzirkel: Durch stetiges Wenden des Gerätes werden bei jedem zweiten Messgang sämtliche Gerätefehler sowie die Auswirkungen der Erdkrümmung 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 Aquäduktrasse ermittelt.

Dabei galt zu allen Zeiten: Wer den Höhenunterschied zwischen zwei Punkten ermitteln wollte, musste zwischen ihnen eine horizontale Linie herstellen. Aus der Differenz der über den Punkten gemessenen Abstände zur Horizontalen liess sich der Höhenunterschied errechnen. Am einfachsten war das mittels eines Holzbalkens möglich, den man mit einer Wasserwaage oder einer Setzwaage horizontal gestellt hatte. Legte man diesen Holzbalken nämlich mit einem Ende auf einem der anzumessenden Punkte auf, so liess sich über die 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 sie etwas komfortabler zu gestalten, galt es, den Messvorgang vom Boden in eine praktikablere Höhe zu verlegen. Dazu brachte man an beiden Enden des Balkens Stützen in Form von Holzpfosten an, die man über schräge Streben fest mit dem Balken verband. Wenn die Stützen exakt gleich lang waren, hatte man die Messlinie parallel nach oben verschoben und konnte die Arbeiten mit Wasserwaage oder Setzwaage zur Horizontierung des Balkens in Brusthöhe durchführen. War der Abstand zwischen den beiden Höhenpunkten grösser als der Balken lang war, so musste in mehreren Lagen gemessen werden, d. h., man bestimmte den Höhenunterschied über Zwischenpunkte. Dazu musste 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 «abschreitet».

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 gelegt hat.

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 ist.[5] Die Geräte verfügen über Einrichtungen für das Visieren über grössere Entfernungen und waren wie moderne Nivellierinstrumente, allerdings ohne Fernrohr, einsetzbar: An einer Nivellierlatte wurden 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 Zielungen in allen Richtungen zuliess, konnte damit sogar ein Streckennivellement mit Vor- und Rückblicken durchgeführt werden.

Die Sache hat allerdings einen Haken: Diese Nivelliergeräte entsprechen in keiner Weise der Beschreibung Vitruvs, sie sind typische Entwicklungen der Renaissance. Die Konstrukteure der Renaissance haben zwar Vitruvs Grundideen bezüglich des Einsatzes von Loten und Wasserwaage zur Horizontierung übernommen, ansonsten aber völlig neuartige Geräte entwickelt.



Die Chorobat-Rekonstruktion von Cesariano basiert auf den Grundideen Leonardo da Vincis.
(Foto: K. Grewe)

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.

G. Poleni und S. Stratico sind die Ersten, die 1825–1830 eine wirklich detailgetreue Vitruvrekonstruktion vorlegen: Richtscheit, Standbeine und Querstreben des Gerätes entsprechen exakt der Beschreibung Vitruvs, auch die Anbringung der Bleilote und die Ausarbeitung der Wasserrinne entsprechen den Vorgaben. Die Beschreibung Vitruvs lässt eigentlich eine andere Rekonstruktion gar nicht zu – so muss Vitruvs Chorobat ausgesehen haben![6]

Nun ist die Diskussion um die Funktionsweise des Chorobates damit aber noch nicht zu Ende. Obwohl Vitruv von

Die Chorobat-Rekonstruktion von Poleni und Stratico (1825–1830) hält sich wortgetreu an die Vitruv-Vorgaben: Sie hat keinerlei Zielvorrichtung. So muss Vitruvs Chorobat ausgesehen haben.
(Foto: K. Grewe)

Visierhilfen an seinem Nivelliergerät überhaupt nichts erwähnt hat, kommen auch die jüngsten Rekonstruktionen nicht ohne diese Einrichtungen aus.[7] Das mag daran liegen, dass aus heutiger Sicht ein solches Gerät anders nicht 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 die sind einfachster Art.

Nimmt man bei der Betrachtung die Bedeutung des griechischen Wortes «Chorobat» 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» Gerät zur Verfügung.[8] Aus Vitruvs Beschreibung und Benennung lässt sich also keinesfalls ableiten, dass mit dieser Urform des Chorobates über grössere Entfernungen visiert worden ist, 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 (20 röm. Fuss = 5,92 m) auseinander, musste mit Wechselpunkten gearbeitet werden.

Vitruvs Chorobat: Ein neuer Rekonstruktionsversuch

Beim Wasserleitungsbau dürfen die zwei Arbeitsschritte «Planung» und «Trassierung» und die dabei angewandten Messmethoden allerdings nicht verwechselt werden:

- Das Nivellement als Methode der Bestimmung von Höhenunterschieden und Streckenlängen als Grundlage für die Planung eines Gefälles und
- 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.

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

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

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 Chorobat-Neuerfindungen 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 18. Jahrhunderts findet sich ein «Technologisches Wörterbuch» von J. K. G. Jacobsson, in dem eine treffliche Erklärung zu dem angesprochenen Problem gegeben wird:

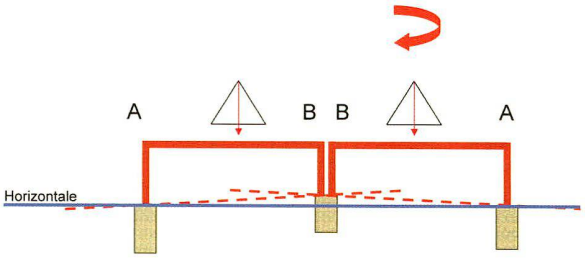
«Wasserwaage des Vitruvs. (Chorobates.) An beyden Enden eines 20 Schuh langen Parallelepipedi oder latte giengen zwey Arme oder ein Paar andere gleich lange kürzere Latten herunter, auf denen ein Paar Linien genau mit einander parallel gezogen, auf einer dritten, längs des Parallelepipedi gezogenen Linie, 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 gestellt waren, so hatte man erstlich längs des Parallelepipedi eine Horizontallinie. Weil man aber besonders bey windigem Wetter kein Senkbley gebrauchen konnte, so wurde längs der Oberfläche des erwähnten Parallelepipedi eine überall gleich tiefe Rinne eingeschnitten, in die man Wasser goss, und nun das Werkzeug so lange ruckte, bis das Wasser in der Rinne überall gleich hoch stand, ohne an einer Seite überzulaufen, woraus man denn ebenfalls die horizontale Stellung der beyden herab hängenden Arme beurtheilte. Beym Ge-

brauch 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 Abzug beyder Höhen, um wie viel der eine Punkt des Bodens über dem anderen lag. So maass man also 20 Fuss zu 20 Fuss das Steigen und das Fallen des Bodens.»[9]

Dieses Verfahren ist nicht nur einfach durchzuführen, sondern von geübten Landmessern auch schnell. Erst bei näherem Hinsehen wird deutlich, dass es 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 geplanten Trasse. 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 Holzpfählchen auf einer Höhe abzustecken. Damit wären in diesem Teil der Strecke keine Aufschriebe und keine Zwischenrechnungen nötig gewesen. Der gesamte Höhenunterschied wäre dann erst in der Schlussstrecke ermittelt worden, womit auch die Kontrollmessungen nur in diesem Bereich durchzuführen gewesen 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 einsetzte, löste sich das Problem auf ebenso einfache Weise und zudem noch mit der grösstmöglichen Genauigkeit. Da bei diesem Messverfahren eine Linie gleicher Höhe «abgeschritten» wurde, bewegte man sich beim Messvorgang praktisch auf der späteren Trasse. Die im Abstand von 20 Fuss abgesteckten Zwischenpunkte bildeten mit einer Kette von Messpunkten praktisch den späteren Trassenverlauf. Man musste zur Ermittlung der Trassenlänge die Anzahl der Geräteaufstellungen zählen und mit der Länge des Chorobates multiplizieren. Lediglich das Gefälle war auf dieser Strecke noch nicht berücksichtigt; das konnte aber bei der späteren Gefälleabsteckung durch eine leichte seitliche Verschiebung der Trasse oder durch eine kontinuierliche (und geringfügige) Tieferlegung der Wasserleitung berücksichtigt werden.



Beim Streckennivellement musste der Chorobat nach jedem Messgang gewendet werden, z. B. um Gerätefehler zu eliminieren.
(Foto: K. Grewe)

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. Bildhaft gesprochen war das, als wenn man sich auf der Sehne eines Bogens bewegen würde, 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.

Vitruv schreibt unmissverständlich: «Ebenso wird man, wenn mit diesem Chorobat so nivelliert ist, wissen, wie gross das Gefälle ist»[10] – 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 der Höhenunterschied und die Trassenlänge ermittelt wurden, wonach schliesslich auch das Gefälle errechnet werden konnte.

Um Missverständnissen vorzubeugen, muss noch einmal verdeutlicht werden, dass der Chorobat nur bei Ermittlung der Höhen im Vorlauf der Trassenplanung zum Einsatz kam.

Die Gefälleabsteckung nach der Methode des Austafelns

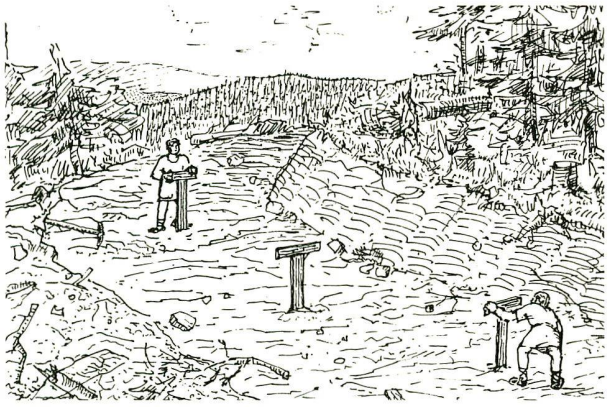
Es war eigentlich schon immer klar, dass eine römische Fernwasserleitung ab einer gewissen Trassenlänge nicht mehr in einem Zuge gebaut worden sein konnte. Die Vermutung, dass man bei langen Trassen in mehreren Bau-

losen gleichzeitig gearbeitet hat, liess sich aber bis vor einigen Jahren mit wissenschaftlicher Beweisführung nicht hinterlegen. Erst seit den Ausgrabungen an den Aquädukten von Siga (Algerien) und Köln ist die Bauloseinteilung durch archäologischen Befund nachgewiesen. Auffällige Gefälleknicke und Hilfsbauten zur Überwindung von Höhenversprüngen in 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, hat man bei grösseren Höhenversprüngen regelrechte Tosbecken eingebaut, damit die zerstörerische Kraft des Wassers an Sollstellen vernichtet wurde.[11]

Auch die Genauigkeit der Gefälleabsteckung mit grenzwertigen Ergebnissen von bis zu 0,14 m 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 einer unglaublichen Genauigkeit bei einfachster Anwendung.

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 im Gelände oder in einer Karte, kann eigentlich der Gedanke, es habe eine ordentliche Trassenabsteckung in römischer Zeit nicht gegeben, gar nicht aufkommen.

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. Dazu benötigte man drei T-förmig konstruierte Zieltafeln und zwei Ausgangshöhenpunkte am Anfang der Gefällestrecke. Diese beiden Ausgangshöhenpunkte waren äusserst exakt abzustecken, und zwar sowohl bezüglich ihres Abstands als auch ihres Höhenunterschiedes. In beiden Punkten wurden Messpfählchen exakt so tief in die Erde eingeschlagen, dass sie zueinander einen Höhenunterschied aufwiesen, der dem Sollgefälle im anschliessenden Trassenabschnitt entsprach. Plante man, die Trasse mit einem glatten Gefälle von beispielsweise 2 % abzustecken, so mussten auch der Abstand und der Höhenunterschied der Gefälleausgangspunkte glatte Werte aufweisen: 2 Fuss Höhenunterschied auf einen Abstand von 100 Fuss ergab zwischen beiden Punkten eine Linie mit dem geplanten Gefälle von 2 %.



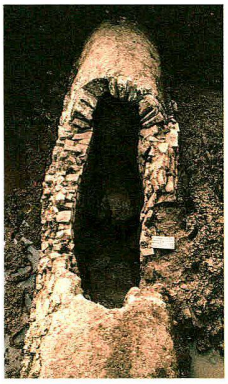
Von zwei Ausgangspunkten ausgehend, wurde die Gefällelinie einer Wasserleitung der geplanten Trasse folgend verlängert. Dabei bewegte man sich allerdings auf der Tangente der Erdkrümmung.
(Foto: K. Grewe)

Die drei T-Tafeln mussten exakt identisch gefertigt worden sein. Zwei von ihnen wurden über den Gefälleausgangspunkten aufgestellt. Durch Peilung über die Oberkanten dieser beiden T wurde das Sollgefälle in Augenhöhe sichtbar gemacht – es ergab sich eine Visierlinie, die über die Oberkanten der beiden T verlief und nun sukzessive über den nachfolgenden Trassenabschnitt verlängert werden konnte.

Auf diese Weise fuhr man bis zum Ende des Bauloses oder bis zum nächsten Trassenfestpunkt fort, der aus der vorangegangenen Baulosabsteckung durch ein einnivelliertes Holzpfählchen markiert war. Dieser Zwangspunkt musste höhenmässig möglichst exakt getroffen werden, da ein zu tiefes Erreichen dieses Punktes zu einem Nacharbeiten (Auffüllen) der gesamten Wasserleitungssohle im vorangegangenen Abschnitt geführt hätte. Kam man in diesem Festpunkt jedoch zu hoch an, so musste die Sohle der Wasserleitung durch eine Stufe oder – bei grösseren Differenzen – durch ein Tosbecken an das Anschlussbaulos angeschlossen werden.

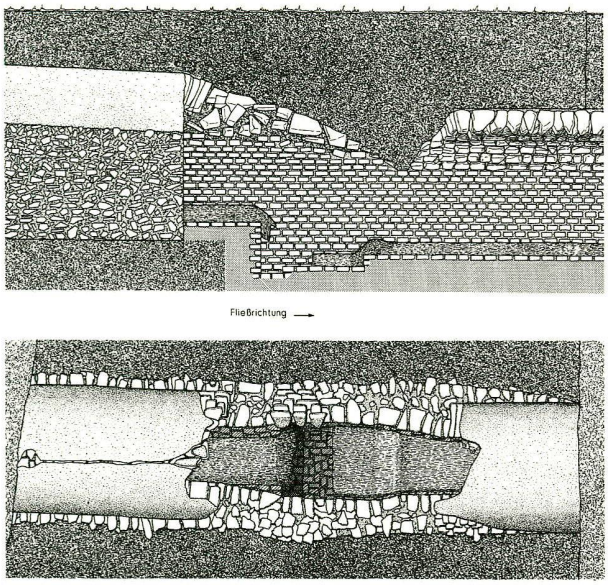
Durch den archäologischen Nachweis von Höhenstufen und Tosbecken in der Sohle der Eifelwasserleitung nach Köln war es erstmals möglich, Aussagen über das in römischer Zeit angewendete Absteckverfahren für Aquäduktgefälle zu machen. Zu dieser neuen Erkenntnis führten Ausgrabungsergebnisse im Verlauf der Eifelwasserleitung im Trassenabschnitt vor einer Baulosgrenze. In diesem Abschnitt liess sich das Gefälle im betreffenden Trassenabschnitt auf 3,5 Kilometer sehr exakt bestimmen, und zwar mit 0,297–0,298 %.[12] Das legt die Vermutung nahe, hier sei planungsgemäss ein «glattes» Gefälle von 0,300 % abzustecken gewesen, also von 3 römischen Fuss auf 1000.

Das zu flache Gefälle führte dann dazu, dass man auf den nächsten Höhenfestpunkt in einer Baulosgrenze zu



Bei Mechernich-Lessenich ausgegrabenes Tosbecken in einer Baulosgrenze der Eifelwasserleitung nach Köln.
(Foto: K. Grewe)

Verursacht durch die beim Austafeln nicht berücksichtigte Erdkrümmung, trifft das obere Baulos (links) um 0,35 m zu hoch auf das Anschlussbaulos.
(Foto: K. Grewe)



hoch getroffen ist – und zwar in diesem Fall um 0,35 m, was dann den Bau eines Tosbeckens erfordert hat, 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 dann durch Austafeln, dann wird klar, wo die Diskrepanz ihre Ursache hat: Bei der Chorobates-Vermessung war die Erdkrümmung ausgeglichen worden, während man sich beim Austafeln auf der Tangente zur Erdkrümmung bewegt hat.

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 worden ist. Das wiederum liegt ganz einfach in der Tatsache begründet, dass wir bei der Gefällebestimmung heute wieder mittels eines geometrischen Nivellements gearbeitet haben – und dabei natürlich die Erdkrümmung wieder ausgeglichen worden ist.

Kleine Aquäduktbrücke der Eifelwasserleitung bei Mechernich-Vollem. Da der Bau der Aquäduktbrücken zeitlich vorgezogen wurde, stellten sie immer Problemstellen dar; sie mussten von der nachgeführten Wasserleitung möglichst höhennah getroffen werden.
(Foto: K. Grewe)

Erstaunlicherweise liess sich diese Art der Vermarkung durch Holzpfählchen bei der Gefälleabsteckung sogar archäologisch nachweisen, und zwar zweimal im Verlauf der Eifelwasserleitung nach Köln: «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 Pfählchens, 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 Pflock in Hürth ist verrottet; sein zurückgebliebener Hohlraum wird für uns zum Guckloch über Jahrhunderte zurück auf die römische Baustelle.» [13]

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 0,04 m x 0,08 m, 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 Stickung hinab bis in den gewachsenen Boden.» [14]

Resümee

Die von einer schier unglaublichen Exaktheit geprägten Ergebnisse beim Bau der römischen Wasserleitungen las-

sen Fachleute wie Laien immer wieder staunen. Neuere Forschungen haben Lösungen aufgezeigt, die uns die antiken Methoden der Planung und Trassierung erschliessen: Die Höhenvermessungen in römischer Zeit wurden mittels des Chorobates, der uns bei Vitruv beschrieben ist, durchgeführt; für die Absteckung der Gefälle hat man dagegen die Methode des Austafelns angewandt. 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 in römischer Zeit kaum in grösserer Zahl zur Verfügung gestanden haben dürften – möglicherweise mussten diese Spezialisten sogar beim Militär ausgeliehen werden. 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 Chorobates als auch des Austafelns waren sozusagen «selbstkontrollierend».

Prof. Dr. Dipl.-Ing. Klaus Grewe
Jahrgang 1944, studierte in Mainz Vermessungswesen und übernahm 1967 am Rheinischen Landesmuseum Bonn die Stelle des Vermessungsingenieurs. Seit Beginn seiner Tätigkeit in Bonn widmete er sich intensiv der Erforschung römischer Wasserleitungen im Rheinland und übernahm Ende der 70er-Jahre die Leitung des Forschungsprojektes Eifelwasserleitung. 1988 wurde ihm die Frontinus-Medaille der Frontinus-Gesellschaft verliehen. Wissenschaftlicher Referent beim Rheinischen Amt für Bodendenkmalpflege, mit der Bearbeitung verschiedener technikgeschichtlicher Projekte beschäftigt. 1997 hat er an der Universität Nimwegen promoviert.

1 Grewe 1985.

2 1 röm. Fuss – 0,296 m.

3 Vitruv VIII, 5 (Fensterbusch 1964, S. 391).

4 Grewe, K. 1981, S. 205–220.

5 Nach Leonardo da Vinci (Codice Atlantico, Blatt 131 Ra) sind ähnliche Geräte von Fra Giovanni da Verona (3. Auflage 1522), Cesare Cesariano (1521) und Giovanni Antonio Rusconi (1590) vorgestellt worden. In der ersten deutschen Vitruvausgabe von W. Ryff (2. Auflage 1548) wird die Rekonstruktion von Cesariano wiedergegeben.

6 Poleni/Stratico, M. Vitruvii Pollionis architectura (Udine 1825 – 1830), zur Rekonstruktion des Chorobates s. Bd. III (1829) S. II Taf. V, Abb. II.A. – Neuburger hat auf dieser Basis eine Erweiterung vorgeschlagen, wonach der Chorobat wie ein Küchentisch von 6 m Länge aussieht. Cozzo schlägt 1970 noch eine Variante vor, die aber nur bezüglich der Streben Änderungen aufweist; Grewe 1985, S. 20–21.

7 Peters 2002.

8 Schmidt 1935, S. 49.

9 Jacobsson 1795, 156. (Neben der Bezeichnung «Chorobates» verwendet Jacobsson den Begriff «Parallelepipedi»; er beschreibt dieses Gerät aber auch genauer: «Parallelepipedi – Richtscheit mit 20 Fuss Länge und einer markirten Linie. Dazu zwei Standhölzer, die je zwei senkrechte parallele Linien aufwiesen. Die senkrechten Linie und die zum Richtscheit parallel angelegte Linie waren streng rechtwinklig zueinander angelegt. Dazu eine Wasserrinne.»)

10 Vitruv VIII, 5 (Fensterbusch 1964, S. 391).

11 Grewe 1986, S. 97–107, Fundstelle 24.1.

12 Grewe 1985, S. 38.

13 Haberey 1972, S. 15.

14 Grewe 1991, S. 404 – 405.

Literaturverzeichnis

Grewe, K., Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates, eines römischen Nivelliergerätes nach Vitruv. Allgem. Vermess.-Nachr. 88, 1981, S. 205 – 220.

Grewe, K., Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen. Schriftenr. Frontinus-Ges. Suppl. 1, Wiesbaden 1985.

Grewe, K., Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln. Rhein. Ausgr. 26, Köln 1986.

Grewe, K., Neue Befunde zu den römischen Wasserleitungen nach Köln. Nachträge und Ergänzungen zum «Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln». Bonner Jahrb. 191, 1991, S. 385 – 422.

Haberey, W., Die römische Wasserleitung nach Köln, Bonn 1965; 2. Auflage 1972.

Jacobsson, Technologisches Wörterbuch, Teil 8, Berlin, Stettin 1795.

Peters, K., Messgeräte des Altertums. Nachbau · Experimente · Genauigkeit. Schriftenreihe des Förderkreises Vermessungstechnisches Museum e.V. 30, Dortmund 2002.

Schmidt, F., Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter, Kaiserslautern 1935.

Vitruv, De architectura libri decem (deutsch v. C. Fensterbusch, Darmstadt 1964).

Grewe, K., Chorobat und Groma – Neue Gedanken zur Rekonstruktion und Handhabung der beiden wichtigsten Vermessungsgeräte der antiken Ingenieure. Bonner Jahrb. 209, 2009, Darmstadt 2011, S. 109–128.