



## Wasser für Rom – Techniken der Wasserversorgung im Imperium Romanum

Klaus Grewe <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Landschaftsverband Rheinland / Rheinisches Amt für Bodendenkmalpflege; Endericher Str. 133; D-53115 Bonn*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **93** (1), S. 22–44

2005

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Grewe_VGI_200503,  
Title = {Wasser f{"u}r Rom -- Techniken der Wasserversorgung im Imperium  
Romanum},  
Author = {Grewe, Klaus},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {22--44},  
Number = {1},  
Year = {2005},  
Volume = {93}  
}
```





## Wasser für Rom Techniken der Wasserversorgung im Imperium Romanum

*Klaus Grewe, Bonn*

### Zusammenfassung

Um die in römischer Zeit bestehenden hohen Ansprüche an eine ausreichende und dabei qualitätvolle Trinkwasserversorgung zu erfüllen, waren Maßnahmen erforderlich, die selbst mit modernen Maßstäben gemessen als hochtechnisch zu bezeichnen sind. Die Leistungen der antiken Ingenieure auf diesem Gebiet sind in allen Teilen des Imperium Romanum aus den Resten der Aquädukte ablesbar. Da Pläne und Beschreibungen der Erbauungszeit nicht erhalten sind, ist es eine spannende Aufgabe unserer Zeit, den Bauwerkscode der Antike aus den Bauwerken selbst zu entschlüsseln. Die in den antiken Aquädukten, Brücken und Tunneln sichtbar werdende Technik zeugt von bewundernswerten Leistungen der römischen Baumeister. Nicht minder einzuschätzen sind allerdings die Resultate der antiken Fachkollegen auf dem Gebiet der Planung und Trassierung.

### Abstract

To meet the high demands of Roman times on sufficient and high quality drinking water, measures were necessary, that have to be called sophisticated even compared with modern standards. The achievements of the antique engineers in this field are visible from the remnants of the aqueducts in all parts of the Roman Empire. As there exist no plans or descriptions from the times, when they were constructed, it is an exciting task to reconstruct the building code of antiquity from the buildings themselves. The technique of the antique aqueducts, bridges and tunnels is an admirable example of the achievements of the Roman master builders. Even more so we have to admire the achievements of the antique colleagues in the field of planning and line routing.

### Einleitung

Straßen und Wege, Aquädukte und Entwässerungskanäle waren auch in der Frühzeit unserer kulturellen Entwicklung nicht ohne Planung und Trassierung zu erbauen. Deshalb kann man diese Bauwerke treffend einem Bautyp zurechnen, den wir heute mit dem Sammelbegriff „Ingenieurbau“ beschreiben. Straßen, Aquädukte und Kanäle haben gemeinsam, dass sie sich über eine längere Strecke durch die Landschaft ziehen und dabei oftmals Geländehindernisse überwinden müssen. Von den Kunstbauten, die im Zuge dieser Bauwerke zu errichten gewesen waren, sind die Talüberquerungen augenfällig und teilweise sogar spektakulär. Die 50 m hohen Brücken, wie die Straßenbrücke über den Tajo bei Alcántara in Spanien und die Aquäduktbrücke Pont du Gard bei Nîmes in Frankreich, zeugen von einer Blüte des Ingenieurbaus in römischer Zeit.

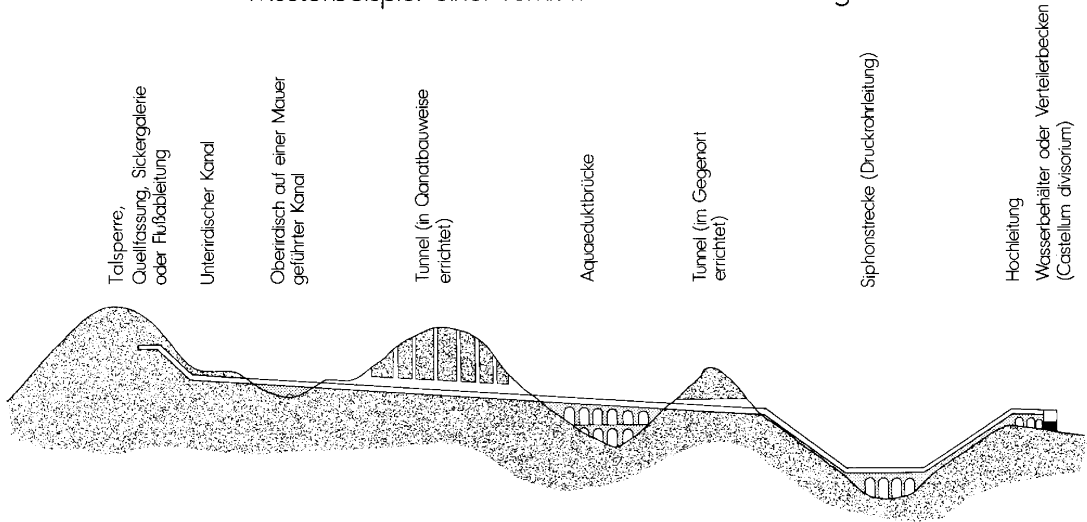
Wenn aber der Planung statt eines Tales ein bergiges Hindernis im Wege lag, gab es oftmals nur die Möglichkeit, mittels eines Tunnelbaus die Passage zu ermöglichen. Da Tunnelbauten naturgemäß nicht in der Weise ins Auge fallen konnten wie die Brücken, standen sie in der bisherigen technikgeschichtlichen Betrachtung immer ein wenig im Hintergrund. Die große technische Leistung, die in den von Eupalinos auf

Samos bis Nonius Datus in Saldae gebauten Tunneln steckt, war dabei allerdings nie in Frage gestellt: man bewunderte das Gelingen solcher Tunnelbauten schlechthin.

Es wäre verlockend, einen bis in unsere Tage erhaltenen Aquädukt mit seinem ursprünglichen Bauplan vergleichen zu können. Auf diese Weise wären die antiken Planungsgedanken und Arbeitsmethoden am ehesten nachzuvollziehen. Leider hat keiner dieser Originalpläne bis heute überlebt. Auch zeitgenössische Beschreibungen geben nur wenig Auskunft über das in den Bauwerken steckende Maß an Technik; diese Quellen beziehen sich eher auf die Umstände, die zum Bau eines Aquäduktes geführt haben und auf die Auftraggeber eines Bauwerks und deren Beweggründe, den Auftrag zu erteilen und schließlich auch die Kosten dafür zu tragen.

Der Bau von Tunneln, Druckleitungen und auch der großen Aquäduktbrücken wurde zwar voll beherrscht, aber allein schon aus Kostengründen nur dann in Planung genommen, wenn es sinnvoll und wirtschaftlich war. In diesen Elementen römischen Wasserleitungsbaus zeigt sich aber nicht nur die Spannbreite des technisch Machbaren, auch römische Geisteshaltung wird in ihnen sichtbar.

## Musterbeispiel einer römischen Fernwasserleitung



**Abb. 1:** Längsprofil durch eine römische Fernwasserleitung: In dieser schematisierten Trasse sind alle Elemente des römischen Aquäduktbaus von der Quellfassung über Brücken, Tunnel und Druckleitungen bis zum Wasserverteiler untergebracht.

Schon die erhalten gebliebenen Reste der Kunstbauten aus dem Sektor des Ingenieurbaus zeugen von einer bewusst geplanten Wirkung nach außen. Wenn diese Bauwerke uns selbst heute noch so stark beeindrucken, wie groß muss ihre Wirkung erst auf die Urbevölkerung in den von Römern besetzten Gebieten in ihrem Weltreich gewesen sein. Dass derartige Bauwerke auch ganz gezielt in der Absicht zu imponieren errichtet worden sind, zeigt sich schon daran, dass die großen Nymphäen mit ihren prächtigen Prospekten nur in den südlichen Städten des Imperiums zu finden sind – wen wollte man mit solchen Objekten der Wasserverschwendung im Norden, wo das Wasser doch im Überfluss vorhanden war, denn auch beeindrucken? Wie dem auch sei, gerade im Wasserleitungsbau der Römerzeit zeigt sich ein unglaublich großes Spektrum technischer Möglichkeiten.

Im Anschluss soll nun eine Übersicht über das technisch Machbare im römischen Wasserleitungsbau gegeben werden. Auch die hier zusammengestellten technischen Verfahren im römischen Ingenieurbau waren ganz präzise und punktuell eingesetzt worden, um jeweils ein ganz spezielles Problem lösen zu können. Zusammengefügt ergeben sie das Bild einer großartigen Musterleitung – ausgereifte Technik einer längst vergangenen Zeit.

### Wasserfassungen (Brunnenstuben, Flussableitungen, Talsperren)

Am Kopf einer jeden Wasserleitung war durch einen künstlichen Eingriff in das Gelände der natürliche Abfluss des Wassers zu sperren und dieses in eine Leitung einzuspeisen. Das konnte durch ein kleines Wehr bewerkstelligt werden oder durch eine großartige Talsperre, im Grunde kommt aber auch in jeder Quellfassung dieses Prinzip zur Anwendung. Damit sind aber auch schon die beiden wichtigsten Möglichkeiten der Wassergewinnung angezeigt, nämlich die aus Quellen oder unterirdischen Wasservorkommen und die aus offenen Gewässern, wie Flüssen und Seen. Am liebsten war den Römern das saubere Quellwasser. Wo die hydrologischen Gegebenheiten es zugelassen haben, hat man Quellwasser für die Versorgung der Städte herangezogen. Und wenn darüber hinaus noch die Möglichkeit bestanden hat, Quellen mit kalkhaltigem Trinkwasser für die Versorgung heranzuziehen, so hat man es gar in Kauf genommen, kilometerlange Fernleitungen zu bauen, nur um an das nach dem Geschmack der Römer beste aller Wasser heranzukommen (Abb. 1 bis 4). Dem Ausbau jeder städtischen Wasserversorgung hatte also die genaue Erkundung der Quellen der Umgebung vorauszu gehen, wobei der Radius des in Frage kommenden Gebietes gar nicht so eng anzusetzen ist.



**Abb. 2:** Eifelwasserleitung nach Köln, Freigelegte Trasse bei Mechernich-Breitenbenden.

Die schließlich genutzten Quellen konnten in der Luftlinie durchaus mehr als 50 Kilometer vom Versorgungsgebiet entfernt liegen; wenn das zwischen beiden Orten liegende Gelände es zuließ, so hat man diese Entfernung eben durch eine Fernwasserleitung überbrückt. Die Methoden zur Auffindung von Quellen mit gesundem und schmackhaftem Trinkwasser sind uns schon in dem antiken Fachbuch der Baukunst, das Vitruv im 1. Jahrhundert v. Chr. verfasst hat, beschrieben. Vitruv empfiehlt, sich bei der Suche nicht nur vom eigenen Geschmack leiten zu lassen, sondern auch die Pflanzenwelt in der Umgebung der Quellen und vor allen Dingen die Menschen, die sich bisher aus der betreffenden Quelle versorgt haben, zu begutachten. „Triefaugen“ bei den Menschen seien durchaus auch als ein Hinweis auf die schlechte Qualität des verbrauchten Trinkwassers zu werten.

War die Entscheidung für die Ausnutzung eines Wasserdargebotes gefallen, so war es nun die Sache des antiken Wasserbauers, über eine zweckmäßige Methode der Wassergewinnung



**Abb. 3:** Eifelwasserleitung nach Köln, Leitungsquerschnitt bei Euskirchen-Kreuzweingarten mit 30 cm starken Kalkablagerungen.

nachzudenken. Am einfachsten war dies bei den Quellen, denn diese waren auf einfache Art durch einen Mauerkranz zu fassen (Abb. 4). In diesem Becken sammelte sich das Wasser, und eine Überlaufvorrichtung ermöglichte das Abfließen in die Leitung. Schwieriger war es, wenn diese Quellen nicht offen zutage traten, sondern wenn es galt, einen unterirdischen Quellhorizont anzuzapfen.



**Abb. 4:** Eifelwasserleitung nach Köln, Quellfassung bei Mechernich-Kallmuth.



Abb. 5: Segovia (Spanien), Flußableitung am Rio de la Acebeda.

Standen Quellen mit ausreichenden Schüttmengen nicht zur Verfügung, so hat man auch Flusswasser für die Versorgung herangezogen, dabei dann aber Wert darauf gelegt, die Wasserentnahmestelle möglichst weit flussaufwärts zu legen, um auch auf diese Weise reines Wasser zu gewinnen.

In Deutschland war für das römische Trier eine Fernwasserleitung in das Ruwertal gebaut worden, um deren Wasser in die Stadt zu leiten. Schönstes Beispiel für eine antike Flussableitung ist das kleine Wehr am Oberlauf des Rio de la Acebeda, mit dessen Hilfe man das Wasser für die Versorgung des römischen Segovia (Spanien) aufstaute (Abb. 5). Diese Anlage erhält ihre besondere Bedeutung durch die Tatsache, dass wir in ihr das einzige noch funktionierende Bauwerk dieser Art sehen müssen, das uns aus antiker Zeit überkommen ist.

Nun werden nicht sämtliche Teile des Wehres noch römischen Ursprungs sein, dennoch ist anzunehmen, dass zumindest die mächtigen Steinquader auch bei Renovierungsarbeiten immer wieder benutzt worden sind. Auch in der Ausführung der mit Blei vergossenen Eisenklammern, die die einzelnen Blöcke zusammenhalten,

bietet sich dem Betrachter heute noch ein Bild römischer Bautechnik (Abb. 6).



Abb. 6: Segovia (Spanien), die Steinquader des Wehres werden mit verbleiten Eisenklammern zusammengehalten.

Die größere Schwester eines solchen Wehres ist die Talsperre. Ihre Aufgabe umfasst aber nicht nur das Aufstauen und Ableiten eines fließenden Gewässers, sie hat vielmehr zusätzlich noch die Aufgabe des Wasserspeicherns übernommen. Der Bau von aufwändigen Talsperren ist nicht zu vermeiden, wenn der aufzustauende Fluss nicht das ganze Jahr über gleichmäßig und ausreichend Wasser führt, und dieses mengenmäßig wechselnde Wasserdargebot auch für wasserarme Jahreszeiten gespeichert werden soll.

Baulich gibt es mehrere Möglichkeiten, ein wasserführendes Tal zu sperren, das jeweils angewendete Konstruktionsprinzip hängt mit der vorgegebenen Geländebeschaffenheit, dem Untergrund und mit den zur Verfügung stehenden Baumaterialien zusammen. Letzteres spielte besonders in früheren Zeiten eine Rolle, als sich die Transportprobleme noch anders als heute stellten.

Man unterscheidet zwei Grundtypen von Stauanlagen. Den einen finden wir in der Gewichtsstaumauer und dem Erddamm wieder, hierbei wird die gesamte Bauwerksmasse dem Wasserdruck entgegengesetzt; im anderen Falle wird die Festigkeit des Baumaterials ausgenutzt, so bei der Pfeiler- und Bogenstaumauer. Die älteste Gewichtsstaumauer ist zwar schon aus dem 4. Jahrtausend v. Chr. bekannt, aber die Römer, die in ihrem Einflussgebiet keine direkten Vorbilder für den Bau von Staudämmen hatten, müssen diese Technologie also selbstständig entwickelt haben.

Von den ungezählten Fernwasserleitungen im *Imperium Romanum* wurden nicht wenige aus großen Stauseen gespeist, die südlichen wasserarmen Länder sind in einer solchen Liste naturgemäß besonders häufig vertreten.

Reste römischer Talsperren finden sich heute noch im Vorderen Orient und in Nordafrika, von denen die kleine Staumauer in Gabès (Tunesien) ein beliebtes Touristenziel dieser Oasenstadt ist. In Europa sind die Talsperren dünner gesät: In Frankreich und Italien finden wir jeweils nur ein Exemplar im Vallon de Baume und oberhalb von Subiaco. Letztere staute das Wasser des Anio wenig oberhalb der „Villa des Nero“ für die 38 n. Chr. gebaute Wasserleitung *Anio Novus* auf, die zu den neun bei Frontinus genannten stadtrömischen Wasserleitungen gehörte. Rund 40 Meter hoch, zählte sie zu den großen Staumauern der Antike, und vor ihr staute sich ehemals ein gewaltiger See auf. Nach dem Bruch dieser

Staumauer im Jahre 1305 sind heute noch in den beiden Seitenhängen des Anio-Tales Baureste von einst zu sehen.

In Spanien finden sich heute die Reste mehrerer römischer Stauanlagen. Neben den Ruinen von Alcantarilla und Consuegra sind besonders die heute noch in Funktion befindlichen Anlagen nahe Mérida, dem antiken *Emerita Augusta*, von Interesse. Die beiden Stauseen Proserpina und Cornalvo, die das Wasser für die Versorgung des antiken Mérida aufbrachten, sind heute allerdings nur noch für die Versorgung einiger umliegender kleinerer Ortschaften in Betrieb. Beide Anlagen sind frühestens nach der Stadtgründung unter Kaiser Augustus im Jahre 25 v. Chr. errichtet worden, möglicherweise aber auch erst unter Kaiser Trajan, der von 98 bis 117 n. Chr. regierte.

Der nördlich von Mérida liegende Proserpina-Staudamm (Abb. 7) erfährt in seiner gesamten Ausdehnung zwei deutliche Knicke, so dass sich seine Gesamtlänge von 427 Metern aus drei geraden Stücken zusammensetzt. Die sich daraus ergebende leichte Bogenform lehnt sich flussaufwärts konvex gegen den Druck des Wassers. Die zwölf Meter hohe Stauwand fällt in schmalen Stufen, aber nahezu senkrecht zum Fuß hin ab. Sie besteht aus einem sorgfältig gearbeiteten Quadermauerwerk, dem zur Wasserseite hin neun Stützpfiler vorgelagert sind. Auf der Luftseite schließt eine Bruchsteinmauer die Stauwand ab. Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Mauern ist mit Beton verfüllt, wodurch eine Stauwand von 2,30 Meter Stärke gebildet wird, die ihre Stabilität aber erst durch den gewaltigen Erddamm erhält, der hinter ihr angeschüttet worden ist. Der Wasserentnahme dienen zwei Türme, die sich innerhalb des Erddammes an die Staumauer anlehnen. Anders beim Cornalvo-Staudamm (Abb. 8), der ehemals ebenfalls der Wasserversorgung Méridas gedient hat, hier ist der Entnahmeturm dem Staudamm vorgelagert und hielt mit diesem eine Verbindung über einen Brückenbogen. Von dieser antiken Bedienungsbrücke ist heute am Turm nur noch der Bogenansatz zu sehen, ansonsten ist dieses Bauteil durch eine Stahlbrücke ersetzt. Der Staudamm selbst ist auf seiner Krone 194 Meter lang und sperrt das Tal in einer Höhe von bis zu 20 Meter. Auch hier ist hinter der steinernen Staumauer ein mächtiger Erddamm angeschüttet, der auf der Krone eine Breite von acht Meter hat und zur Luftseite hin schräg abgebösch ist.



Abb. 7: Mérida (Spanien), Proserpina-Talsperre.



Abb. 8: Mérida (Spanien), Cornalvo-Talsperre.

## Rinnen und Rohre

Die einfachste Form der Wasserleitung war auch in römischer Zeit die Gefälle- oder Freispiegelleitung. Das Wasser wird dabei in einem – bei größeren Leitungen meist gemauerten U-förmigen – Gerinne talwärts geführt, wobei die Trasse mit mehr oder minder starkem Gefälle dem Hang augenscheinlich isohypsenparallel folgt, tatsächlich aber stetig an Höhe verliert. Aus Gründen der Sicherheit, in den nördlichen Provinzen aber auch, um ein Einfrieren des Wassers zu verhindern, sind die Leitungen, wo es ging, unterirdisch verlegt worden. In die Baugrube wurde als erstes eine Stickung aus losen Steinen eingebracht und darauf die Sohle aus Gussbeton gegossen. Der Beton (*Opus cementicium*) besteht aus einem sehr festen Mörtel, dem man die verschiedensten Materialien wie Kies, Grauwacke, Basalt oder ein anderes Kleinschlagmaterial beigemischt hat. Die Kanalwangen sind entweder aus dem gleichen Material in einer Schalung gegossen worden oder aufgemauert. Es kommt aber auch häufig vor, dass die Innenseiten der Wangen aus behauenen Handquadersteinen als verlorene Schalung gemauert worden sind und der Freiraum zwischen dieser Schalung und der Baugrubenwand aus Gussbeton gefertigt worden ist.

Interessant ist in diesem Zusammenhang das Ergebnis einer Untersuchung auf die Druckfestigkeit des römischen Betons. Die dabei ermittelten Werte lagen in den meisten Fällen um 10 – 15 N/mm<sup>2</sup>, im Falle der älteren Vorgebirgswasserleitung nach Köln aber sogar bei dem geradezu phantastischen Wert von 35 – 40 N/mm<sup>2</sup>.

Der Innenraum der Kanalrinne wurde mit einer Schicht hydraulischen Putzes (*Opus signinum*) bestrichen, um die gewünschte Dichtigkeit zu erreichen. Dieser Putz war zumeist von rötlicher Färbung, da er unter Verwendung von Ziegelmehl hergestellt worden ist. Bei Verwendung eines anderen Beischlagmaterials zur Herstellung des *Opus signinum* konnte dieser aber auch eine andere dementsprechende Farbe annehmen.

Diese Schicht bedeckte die Sohle und die Wangen; meist wurde in den unteren Ecken ein mehrere Zentimeter starker Viertelrundstab ausgeformt, um diese bruchgefährdeten Stellen besonders zu schützen. An den Oberkanten der Wangen zog die *Opus signinum*-Schicht zumeist noch einige Zentimeter ein; hierauf lagerte dann das aus Bruchsteinen über einem Lehrgerüst gesetzte Gewölbe oder einfach eine Plattenabdeckung. Auf den Gewölbeinnenseiten

ist in vielen Fällen heute noch der Abdruck der Bretter des Lehrgerüsts im Beton zu sehen.

Wenn das Gelände es erforderte, hat man in den Bergstrecken dem Kanal hangseitig noch eine Begleitdrainage außen beigegeben. Diese besteht aus lose aufgeschichtete Bruchsteinen, die bis zur Geländeoberfläche hinaufreichen und vom Hang kommendes Regen- und Sickerwasser vor dem Kanalbauwerk nach unten bis zu einem in Stickungshöhe installierten Drainagekanälchen ableiten. Auf diese Weise hat man Fremdwasser vom Kanal ferngehalten.

Besonders bei den großen Fernwasserleitungen sind die Kanalrinnen in ihrem Querschnitt häufig stark überdimensioniert gebaut worden: das Querprofil hätte ein Vielfaches der tatsächlich transportierten Wassermenge bewältigen können. Auf diese Weise hat man nicht nur eine Vorsorgemaßnahme gegen das Zuwachsen der Leitung durch Versinterung (Verkalkung) getroffen, in vielen Fällen wurde der Kanal sogar mit einem gebückt begehbaren Querschnitt ausgestattet, wodurch eine Inspektion des Leitungssystems möglich wurde.

Dem Einstieg in den Kanal dienten besondere Schächte, die in unterschiedlichen Abständen installiert waren. Waren die großen Fernwasserleitungen in den meisten Fällen in einer der obigen Beschreibung entsprechenden Bauweise errichtet worden, so sind bei kleineren Leitungen auch andere Materialien verwendet worden; auch hier kommt wieder das auf Zweckmäßigkeit gerichtete Denken des römischen Ingenieurs zum Tragen. Bei archäologischen Untersuchungen fanden sich die verschiedenartigsten Rinnen und Rohre in Verwendung: offene und abgedeckte Holzzinnen ebenso wie aufgebohrte Holzstämmen als Rohre, bearbeitete Steinrinnen aus Naturstein ebenso wie Fertighohre aus Gussbeton, weiterhin auch Ton- und Metallrohre der verschiedensten Kaliber. Letztere sind besonders aus Blei gegossen oder gebogen worden und fanden hauptsächlich im innerstädtischen Netz Verwendung.

## Aquäduktbrücken

Die imposantesten Reste der antiken Wasserleitungen stellen sich dem Betrachter heute in den oftmals hervorragend erhaltenen Aquäduktbrücken dar. Die zweifellos schönste Brücke dieser Art findet sich im Zuge der römischen Wasserleitung nach Nîmes. In knapp 50 Meter Höhe wird hier das Wasser auf einer dreigeschossigen Brücke über den Fluss Gardon geführt, der schließlich auch dieser Brücke ihren Namen gegeben hat. Nicht



nur die technische Perfektion, auch die selbst in dieser Monumentalität noch zum Ausdruck kommende Ästhetik und Schönheit dieses Zweckbaues geben dem Pont du Gard (Abb. 9) eine Sonderstellung, der seine Besichtigung zum Pflichtprogramm eines jeden Provence-Besuchers werden lässt.

In Deutschland sind es vor allen Dingen die Brückenreste der Leitungen nach Mainz und Köln, die optisch noch befriedigen können, wenngleich sie auch mit den Resten derartiger Bauwerke vor allem in den südlichen Provinzen des römischen Weltreiches nicht mithalten können. Die im Mainzer Zahlbachtal noch aufrecht stehenden Pfeilerkerne geben einen guten Einblick in das antike Bauverfahren. Der Gussbeton zeigt deutlich die Abdrücke von sorgfältig zubehauenen Quadersteinen, die ehemals die Außenhaut der Pfeiler gebildet haben und dereinst beim Bau als „verlorene“ Schalung errichtet worden sind. Die Steine dieser Schalung sind entweder im Laufe der Zeit abgesprungen oder ein Opfer nach-römischer Steinräuber geworden, die dieses qualitativ bearbeitete Material gern für andere Bauzwecke wiederbenutzt haben.

Beispiele für einen derartigen Steinraub an antiken Aquäduktbrücken finden wir an den

verschiedensten Orten und zu allen Zeiten. Die Tuffsteinverblendung der großen Swistbachbrücke aus dem Verlauf der Eifelleitung finden wir heute im Mauerwerk eines mittelalterlichen Klosters wieder – und auch am anderen Ende der römischen Welt finden wir im Zuge der Leitung nach Karthago, die über ein Viertel ihrer Gesamtstrecke auf Bogenstellungen geführt worden ist, viele der riesigen Pfeiler ihrer Schale beraubt. Hier hat man dafür sogar einen Ersatz zu schaffen versucht, indem man die stehengebliebenen harten Betonkerne nach dem Abbruch der Quadersteine mit einem Stampfmauerwerk aus Erde ummantelt hat. So war die Optik – fast – wiederhergestellt.

Wir haben dadurch aber einen deutlichen Beweis dafür, dass dem Schalenmauerwerk zu keiner Zeit überhaupt eine statische Funktion zugekommen ist, sondern der Betonkern die Last der Brücke allein zu tragen hatte. Diese Verfahrensweise zeigt noch einmal deutlich das empirische Vorgehen der römischen Ingenieure; die daraus resultierende Überdimensionierung der Bauten in Material und Maßen ist aber andererseits ein wesentlicher Grund für das Überdauern manches dieser Bauwerke bis in unsere Zeit.



Abb. 9: Nîmes (Frankreich), Pont du Gard.

Zwei wesentlich unterschiedliche Geländebedingungen waren es, die den Bau von Bogenstellungen im Verlauf von Aquädukten erforderlich gemacht haben. Einmal die ungezählten Bäche, Flüsse und Seitentäler, die von den Leitungen zu queren waren; dann aber auch noch die Erfüllung einer wesentlichen hydraulischen Voraussetzung für die innerstädtische Wasserversorgung, denn dort musste das Wasser ja in einer Höhenlage ankommen, die eine Verteilung über Druckleitungen auch in höher gelegenen Stadtteilen oder in die oberen Stockwerke von Gebäuden gewährleisten konnte.

Die gleiche Erfordernis konnte durch eine topographische Vorgabe entstehen, wenn nämlich die Städte – sei es aus fortifikatorischen Gründen oder zum Schutz vor Hochwasser – auf Anhöhen angesiedelt waren, das Umland also tiefer lag. Zur Überwindung derartiger Senken mussten die Aquädukte in vielen Fällen als Hochleitungen errichtet werden, damit das Wasser den Stadtberg überhaupt erreichen konnte. Die Bogenstellungen solcher Hochleitungen unterscheiden sich in keiner Weise von denen der Brückenbauwerke, sie konnten auch genau wie diese ganz beeindruckende Ausmaße annehmen.

Die Hochleitungen für das antike Rom selbst sind bis zu acht Kilometer lang geworden, um die Campagna vor der Stadt zu durchqueren. Die Hochleitung vor den Toren Kölns (Abb. 10) erreichte ca. 8,6 Kilometer Länge, und selbst die grandiose Aquäduktbrücke in Segovia (Abb. 11) gehört in diese Kategorie römischer Kunstbauten.



Abb. 10: Eifelwasserleitung nach Köln, Aquäduktbrücke bei Mechernich-Vussem.



Abb. 11: Segovia (Spanien), Aquäduktbrücke.

Können wir auch von der Bogenkonstruktion her zwischen den verschiedenen römischen Aquäduktbrücken kaum einen Unterschied feststellen, so müssen wir bei unserer Betrachtung doch die vielen kleinen Brückchen von den Bauwerken mit großer Spannweite trennen. Nach DIN 1076 hätte eine der kleinen Aquäduktbrücken heute nicht einmal mehr das Recht, sich „Brücke“ zu nennen, da man Bauwerke mit weniger als zwei Meter Öffnungsweite heute nur noch als Durchlass bezeichnet.

Klassifizieren wir die Aquäduktbrücken nach ihrer Größe in drei Kategorien, so wird dieser kleine Bautyp am häufigsten anzutreffen sein, da die Aquädukte in ihrem gewundenen, dem Gelände angepassten Verlauf im Scheitelpunkt einer jeden Talausfahrung ein solches Bauwerk haben mussten. Unzählige solcher Durchlässe sind aus diesem Grund zur Überquerung von Bachläufen oder kleinen Trockentälern, die nur nach Regenfällen Wasser führten, zu errichten gewesen.

Der nächst größeren Klasse möchte man die Aquäduktbrücken zurechnen, mit deren Hilfe die zuvor beschriebenen Trassenschlingen vermieden werden konnten und die somit zur Abkürzung der auszubauenden Linie dienten. Durch den Bau dieser Brücken wurde aber nicht nur eine Verkürzung der Trasse mit der damit verbundenen Einsparung von Baumaterial erreicht, sondern als weiterer Effekt auch noch das Maß an Energiehöhe eingespart, das zur Überwindung des nächsten Bergrückens zur Verfügung stehen musste.

Von dieser Mittelklasse heben sich dann noch einmal jene Brücken ab, die durch ihre Monumentalität bestechen. Dazu sind ganz sicher die großartigen Bauten im Zuge der Wasserleitungen nach Metz, Nîmes, Tarragona, Segovia, Karthago und Rom selbst zu nennen.

Aber auch die durch Aneinanderreihung von fast 300 bis zu elf Meter hohen Bögen über das Swisttal im Zuge der Eifelleitung errichtete Brücke von 1,4 Kilometer Länge wollen wir dieser höheren Klasse noch zurechnen.

## Tunnelbauten

Neben den Tälern zählen die quer zur Trasse liegenden Bergrücken zu den großen Hindernissen beim Bau der römischen Fernwasserleitungen. Dort, wo es möglich war, hat man diese Geländehindernisse umfahren; war dies nicht möglich oder nicht rationell, musste der Berg durchtunnelt werden. Nun sind Tunnelbauwerke nicht nur für den Bau von Wasserleitungen

notwendig geworden, es sind in der Antike auch Ableitungstunnel zum Zwecke einer Wasser-spiegelabsenkung, z. B. bei der Trockenlegung von Kraterseen, oder auch Straßentunnel gebaut worden.

Ein Sonderfall derartiger Bauwerke ergab sich durch die geologische Schichtung im Neuwieder Becken. Hier im Laacher Vulkangebiet waren bei den letzten größeren Vulkanausbrüchen in Deutschland 9000 v. Chr. mit der Landschaft auch die Quellen durch meterhohe Bimsschichten verschüttet worden. Die in diesem Gebiet siedelnden Römer mussten deshalb zur Wassergewinnung unterirdische Stollen vortreiben, um diese Quellen zu fassen und abzuleiten. Die mit begehbarem Querschnitt ausgestatteten Stollen dienten der Aufnahme der eigentlichen wasserführenden Rinnen, die auf der Stollensohle in Form der üblichen Steinkanäle installiert worden sind.

Im Gegensatz zu solchen relativ kleinen Stollenvortrieben sind die echten Bergdurchtunnelungen unter den Ingenieurbauten der schwierigsten Kategorie zuzurechnen. Bis zum Tage des Durchschlags liegt selbst noch heute über den Tunnelbaustellen ein Hauch von Ungewissheit, und die Ingenieure der Antike werden diesem alles entscheidenden Tag mit noch wesentlich größerer Ungeduld entgegen gefiebert haben, da ihnen aus heutiger Sicht nur einfachstes Gerät sowohl für die Vermessung als auch für den Baubetrieb zur Verfügung gestanden hat.

Den antiken Bauwerken kann man in vielen Fällen die Schwierigkeit, eine projektierte Linie nach unter Tage zu übertragen und dann auch einzuhalten, heute noch ablesen. Es nimmt deshalb nicht wunder, dass man auf manchen Baustellen der Treffsicherheit im Durchstich einen Vorrang vor einer rationellen Bauweise eingeräumt hat. Aus diesem Grund finden wir im antiken Tunnelbau neben dem so genannten Gegenort-Verfahren, also dem Vortrieb von zwei Seiten aus, auch das bezüglich der zu bewegenden Erdmassen aufwändigere Qanat-Verfahren (Lichtloch-Verfahren) angewendet.

Die ältesten Tunnelbauten der Geschichte haben der Wasserversorgung gedient, und sowohl bei dem unter König Hezekiah (725–696 v. Chr.) im Zuge des Siloah-Kanals für Jerusalem errichteten Tunnels, als auch bei dem im 6. Jahrhundert v. Chr. durch Eupalinos für Polykrates gebauten Tunnel auf Samos hat das Gegenort-Verfahren seine Anwendung gefunden. Beide Bauwerke sind erfolgreich beendet worden, aber die Betrachtung der Linienführung durch den

Berg zeigt, dass nur nach mehrmaligen Richtungsänderungen im Berg ein Durchschlag erfolgen konnte.

Ein wesentliches Merkmal dieser Linienführungen ist, dass man im Vortrieb jeweils eines Stollens dieser Tunnel einen sichelförmigen Bogen beschrieben hat, der dann vom geradeaus vorgetriebenen jeweiligen Gegenstollen zwangsläufig getroffen werden musste. Mit Tunnelängen von 537 Meter (Hezekiah) und 1036 Meter (Eupalinos) zählen diese Bauwerke zu den Großtaten der Technikgeschichte, und ihren Baumeistern ist ein hohes Maß an Genialität zu bescheinigen.

Ebenfalls im Gegenort ist um 150 n. Chr. ein Tunnel für die Wasserversorgung des römischen Saldae (heute Bejaïa/Algerien) gebaut worden. Der mit der Trassierung beauftragte *librator* Nonius Datus hat einen Bericht über seine Arbeiten angefertigt und in Stein hauen lassen (Abb. 12). Wir besitzen deshalb ein hochkarätiges zeitgenössisches Dokument zu diesem Sektor der antiken Ingenieurvermessung.

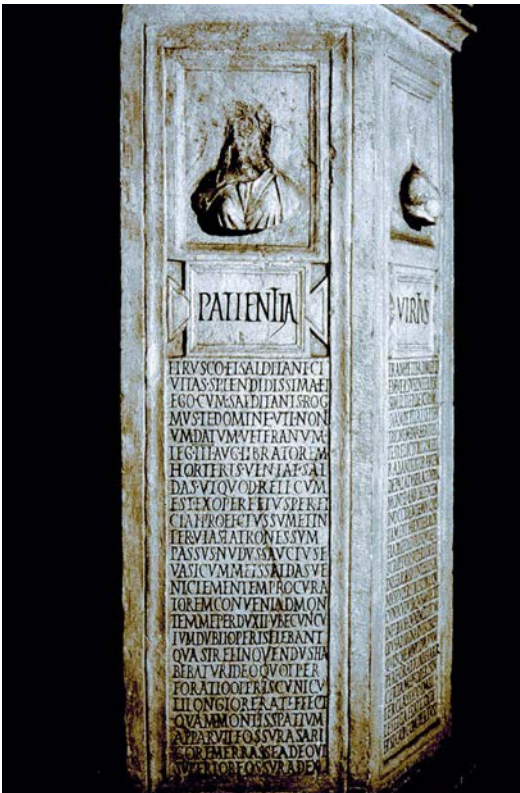


Abb. 12: Stein des Nonius Datus mit der Beschreibung eines Tunnelbaus um 150 n. Chr.

Der Inschrift zufolge war der von Nonius Datus über den Berg abgesteckte Tunnelverlauf von den Bauleuten unter Tage nicht eingehalten worden, und die Bürger Saldae „klagten (deshalb) verzweifelt, den Tunnelbau dieses mißlungenen Bauwerkes aufgeben zu müssen, weil der Vortrieb der beiden Stollen bereits länger ausgeführt war, als der Berg breit war“.

Der versierte Praktiker Nonius Datus stellte bei einem zweiten Aufenthalt in Saldae den im Vortrieb gemachten Fehler fest, glich ihn durch eine bauliche Korrektur aus, und die Wasserversorgung Saldae konnte in Betrieb genommen werden.

Die vorgenannten Beispiele legen die Schwierigkeiten des Tunnelbaues im Gegenort offen und zeigen, dass nur die besten Ingenieure in der Lage waren, derartige Bauwerke zu planen und zu bauen. Nonius Datus nennt in seiner Inschrift noch die Tugenden, die den antiken Tunnelbauern abverlangt wurden, denn er hat seine Inschrift unter die Schlagworte „*Patientia – Virtus – Spes*“ (Geduld, Tatkraft und Zuversicht) gestellt.

Andere Baumeister haben derartige Probleme durch die Anwendung eines zweiten Bauverfahrens weitgehend vermieden. Aus dem alten Persien kannte man das im Qanatbau angewendete Verfahren des Stollenvortriebs von senkrechten Schächten aus. Dieses Verfahren wurde (und wird mancherorten auch heute noch) zur Wasserversorgung der Oasen angewendet, wenn es nämlich galt, von den Siedlungsplätzen entfernt liegende unterirdische Wasservorkommen anzuzapfen. Diese wurden durch einen Versuchsschacht erst einmal festgestellt, wonach ein Tunnel in seine Richtung vorzutreiben war. Dieser Tunnel wurde von einer Kette eng beieinanderliegender Schächte, die man bis zu einer notwendigen Tiefe abgeteuft hatte, abschnittsweise unterirdisch miteinander verbunden, indem man sich jeweils bis zu den benachbarten Schächten vorarbeitete.

Bei diesem Verfahren wurden also kleine Tunnelbaulose miteinander verbunden, wobei es der wesentlichste Faktor war, dass man die Generalrichtung des Qanats auf nur kurze Teilstrecken nach unter Tage übertragen und einhalten musste. Dieses Qanat-Verfahren ist dann auch von den Etruskern übernommen worden, die um 500 v. Chr. den Tunnel zur Entwässerung des Ariccia-Kessels in den Albaner Bergen nach diesem Vorbild gebaut haben.

Etruskische Baumeister waren später die Paten der römischen Ingenieure, die am Albaner See, am Nemi-See und vor allen Dingen am Fuciner See zwecks Absenkung der Wasserspiegel noch weitere großartige Tunnel gebaut haben.

Die Tunnelbauten der römische Zeitstellung in Deutschland haben sämtlich der Wasserversorgung gedient und sind nach dem Qanat-Verfahren gebaut worden. Dabei nahmen die Stollen im Laacher Gebiet die anfangs beschriebene Sonderstellung ein. Größere Bauwerke sind bekannt aus Saarbrücken (Halberg-Tunnel) und Brey bei Koblenz.

In Brey (Abb. 13) ist ein Teilstück des Tunnels durch einen der antiken Bauschächte heute zugänglich gemacht und zu besichtigen. Die auf der Sohle verlegte Wasserleitung führt heute noch Wasser, ohne dass festzustellen wäre, woher und wohin das Wasser fließt; lediglich die

Fließrichtung und die Fließgeschwindigkeit sind im Tunnel festzustellen.

Der Tunnel durch den Drover Berg (Abb. 14) zwischen dem Heiligen Pütz bei Drove und Soller (Kreis Düren/Rheinland) diente vermutlich der Wasserversorgung einer reichen römischen Villa. Der 1660 Meter lange Tunnel liegt unter einem Truppenübungsplatz bis zu 26 Meter tief. Sein Verlauf ist anhand der von den Römern wieder-gefüllten Bauschächte zu verfolgen, da das Füllmaterial zusammengesackt ist und an der Erdoberfläche trichterförmige Löcher zurückgeblieben sind (Abb. 15). Wie an einer Schnur aufgereihter Perlen zieht sich im Luftbild die Linie dieser Trichter über den Berg, allerdings sind inzwischen die meisten von ihnen durch den Betrieb von Kettenfahrzeugen zerstört worden; ihre Restbestände sind im Zuge der archäologischen Untersuchung von 1981 topographisch aufgenommen worden.



Abb. 13: Brey bei Koblenz, Aquäduktunnel.



Abb. 14: Düren, Wasserleitung im Aquäduktunnel durch den Drover Berg.



Abb. 15: Düren, Mit Ton verfüllter Bauschacht des Drover Berg-Tunnels.

Dabei zeigte sich der Pragmatismus römischer Ingenieure noch einmal sehr deutlich. Schon aus der Nonius Datus-Inschrift wissen wir, dass Spezialisten für den Tunnelbau beim Militär entliehen werden mussten, da diese Bauform viel zu selten angewendet wurde, um auch im Zivilbereich die notwendigen Fachingenieure bereitzuhalten. Deshalb ersannen sich die Fachleute eine Trassierungsmethode, die es ihnen erlaubte, nach der Absteckung der Festpunkte für die Anlage der Bauschächte die Aufsicht über den weiteren Baubetrieb den örtlichen „Polieren“ zu überlassen. Sie steckten dazu den Abstand der Bauschächte genau so weit auseinander ab, wie die jeweiligen Bauschächte tief werden sollten. Damit waren die Maßvorgaben klar vorgegeben und größere Fehlerquellen von vorneherein ausgeschaltet. Beim Drover Berg-Tunnel ließ sich dieses Verfahren nachweisen: die Schachtabstände nahmen im ansteigenden Berg- hang zu und erreichten auf der Höhe ihre größten Werte, um dann in der absteigenden Hanglage hinter dem Berg zum Tunnelausgang wieder abzunehmen. Demzufolge liegen die Abstände auf der Höhe des Drover Berges 26 m auseinander – genau so weit wie die Teufe der Tunnelbauschächte an dieser Stelle errechnet wurde.

Mit Fug und Recht kann man die Tunnelbauten zu den großartigsten Ingenieurleistungen der Antike zählen. In nachrömischer Zeit sollte es erst mit dem Aufblühen der Bergbautätigkeit im hohen Mittelalter wieder möglich werden, an die Leistungen der Antike anzuschließen. Ein Tunnelbauwerk des Mittelalters in Deutschland ist der Mitte des 12. Jahrhunderts am Laacher See gebaute 880 Meter lange „Fulbert-Stollen“. Erst 1997 wurde ein weiterer mittelalterlicher Tunnel wiederentdeckt, der der Wasserversorgung der Burg Blankenheim in der Eifel gedient hat.

## Druckleitungsstrecken

Abgesehen von den Druckleitungen im innerstädtischen Versorgungsnetz konnte es auch im Verlauf einer Fernwasserleitung durchaus zweckmäßig sein, ein Teilstück der Trasse als Siphon (Düker) anzulegen. Betrachten wir die bekannten Druckleitungsstrecken bei Pergamon, Aspendos und Patara (Türkei), Lyon (Frankreich) und Almuñécar (Spanien), dann wird deutlich, dass eine solche Einrichtung ab einer bestimmten Tiefe und Breite des zu durchquerenden Taleinschnittes wirtschaftlich war. Diese Grenze der Wirtschaftlichkeit von Aquäduktbrücken war im Höhenbereich von 40 bis 50 Meter erreicht und bei einer Talbreite, die etwa im Kilometerbereich lag.

Vitruv beschreibt auch dieses Spezialproblem im Wasserleitungsbau im achten seiner zehn Bücher über Architektur schon recht anschaulich: „Sind aber ausgedehnte Täler da, dann wird man die Leitung am Abhang entlang herabführen. Wenn man ins Tal gekommen ist, wird ein so hoher Unterbau aufgeführt, dass die Leitung eine möglichst lange Strecke die gleiche Niveauhöhe hat. Dies aber wird der ‚Bauch‘ sein, den die Griechen *Koilia* nennen. Kommt dann die Leitung an die andere ansteigende Seite, dann schwillt das Wasser infolge des langen Zwischenraumes, den der Bauch bildet, leicht an und dürfte wohl zum Kamm der Höhe hinaufgedrückt werden.“

Die bei Vitruv schon im 1. Jahrhundert v. Chr. nachzulesende Beschreibung können wir in den oben angeführten Bauwerken detailgetreu wiederfinden. Einfach gesagt wird bei diesem Verfahren die Höhenlage der Talüberquerung weitmöglichst talwärts verlegt und dort als Brückenbauwerk üblichen Zuschnitts errichtet. Zu einer solcher Siphonbrücke führt von der auf der bergseitigen Talkante ankommenden Freispiegelleitung eine Rampe hinunter, und jenseits des Tales steigt nach dem Ende der Siphonbrücke eine Rampe wieder bergan, um im Gegenhang wieder knapp die Ausgangshöhe zu erreichen. Dieses Bauwerk ist die Substruktion für die eigentliche Druckleitung, die auf diesem Baukörper in Form von Stein-, Blei- oder Tonrohren verlegt wird. Am Beginn und am Ende des Siphons waren Freispiegelbecken installiert, in denen der Übergang von der Rinne in die Rohrstrecke und umgekehrt stattfand.

Betrachten wir drei nach dem verwendeten Rohrmaterial unterschiedliche Druckleitungsstrecken näher, so wird beim Beispiel der Leitung

für Aspendos noch ein zusätzliches Problem offenbar: Hier finden wir nicht nur die technische Einrichtung von Rampen und „Bauch“, sondern ein zusätzliches Bauelement an zwei Stellen in der Druckleitungsstrecke, in denen die Trasse auch noch seitlich abknickt. In diesen horizontalen Knickpunkten sah man offenbar die gleiche Gefahr wie in dem von Vitruv beschriebenen „Knie“ und hat an diesen Stellen zur Druckminderung Leitungstürme (*Colliquariae*) angelegt:

*„Wenn aber kein Bauch in den Talniederungen angelegt und kein waagerechter Unterbau hergestellt ist, sondern ein Knie, dann wird das Wasser durchbrechen und die Verbindungsfugen der Röhren sprengen. Auch muß man in dem Bauch Kolliquarien anlegen, damit durch sie der Luftdruck gemindert wird.“*

In Aspendos setzen zwei solcher Leitungstürme noch heute ganz besondere Akzente in der Landschaft (Abb. 16). Die aus den Bergen kommende Wasserleitung quert die breite Talenke vor dem Erreichen des Stadtberges als Druckleitung, und in den beiden Knickpunkten im Verlauf dieser Strecke wird das Wasser auf Rampen zu einem Freispiegelbecken hinauf – und danach in den nächsten Abschnitt des Siphons wieder hinabgeführt. Anschließend an den ersten Leitungsturm verläuft die Druckleitung auf einer niedrigen horizontalen Brücke, eben dem Vitruvschen „Bauch“, um im nächsten Knickpunkt wieder auf einen solchen Turm geführt zu werden. Der dritte tiefliegende Druckleitungsabschnitt führt dann wiederum zum Ende einer Rampe, die nun in Versorgungshöhe am Stadtrand liegt.

Von der eigentlichen wasserführenden Druckleitung ist in Aspendos *in situ* nichts mehr zu finden, die ehemals verwendeten Steinrohre liegen in der Umgebung verstreut oder sind in einer mittelalterlichen Straßenbrücke als Baumaterial wiederverwendet worden. Es handelt sich um aus Steinblöcken mit quadratischem Querschnitt herausgearbeitete Rohre, die mit Muffen zur gegenseitigen Verbindung versehen waren. In den Bergen bei Patara, ebenfalls in der Türkei gelegen, ist eine solche Stein-Druckrohrleitung noch in ihrer ursprünglichen Lage zu finden (Abb. 17).

Die vier auf das antike Lugdunum/Lyon (Frankreich) zuführenden Leitungen besitzen

alle jeweils mindestens eine große Siphonstrecke in ihrem Verlauf, eine davon sogar wie in Aspendos durch einen Leitungsturm (Les Tourillons) unterbrochen. Anders aber die verwendeten Materialien: hier führen von den Einlaufbecken nebeneinander verlegte Bleirohre auf den Rampen durch das Tal.

Im Beispiel der Gier-Leitung durch das Yzeron-Tal waren zehn solcher Rohrleitungen nebeneinander in einem starken Mörtelpaket verlegt. Beeindruckend sind auch die technischen Daten dieser Talüberquerung: Länge der verrohrten Strecke: 2600 Meter, Tiefgang: 123 Meter; der Auslauf liegt 9,20 Meter tiefer als der Einlauf. Auch die Lyoner Düker weisen die von Vitruv geforderten horizontalen Strecken zwischen den Fußpunkten der jeweiligen Rampen auf, sie bilden im Talgrund die eigentlichen Brücken über den Gewässern. Die Yzeron-Siphonbrücke ist immerhin noch 269 Meter lang und führt auf 30 Bogenstellungen in 17,40 Meter Höhe das Wasser über den Fluss.

Auf die in Lyon ehemals verwendeten Bleirohre kann allerdings nur noch aus dem restlichen Baubefund geschlossen werden, denn auch dieses Material war in nachrömischer Zeit ein begehrter Grundstoff für eine sekundäre Verwendung. Rechnen wir das für den Yzeron-Siphon verwendete Blei einmal zusammen, so kommen wir bei  $10 \times 2,6$  Kilometer auf eine Gesamtlänge von 26 Kilometer Bleirohr, was einer Menge von 2000 Tonnen Blei entspricht.

Wegen der Verschiedenheit im verwendeten Material sei noch eine weitere Druckrohrleitung aus römischer Zeit angeführt. Nach Vitruv war dies das preiswerteste Verfahren, einen Düker zu bauen: *„Will man aber mit weniger Kosten (eine Wasserleitung anlegen), muß man folgendermaßen verfahren: Man stelle Röhren aus dichtem Ton her, nicht weniger als zwei Zoll stark, aber so, dass sich diese Röhren an einem Ende zu einer Zunge verjüngen, so dass die eine Röhre in die andere hineingehen und hineinpassen kann. Ihre Fugen aber sind mit ungelöschtem Kalk, der mit Öl unterzoogen ist, zu verstreichen.“*

Reste einer solchen Druckrohrleitung finden wir in Almuñécar, südlich von Granada (Spanien). Die Technik der Anlage entspricht der zuvor beschriebenen, lediglich das Material der Rohre besteht in diesem Falle aus Ton.



Abb. 16: Aspendos (Türkei), 40 m hoher Turm zur Druckentlastung einer Druckleitung.



Abb. 17: Patara (Türkei), Steinrohre einer Druckleitung.



### Kleinbauwerke (Einstiegschächte, Sammelbecken, Tosbecken, Absetzbecken)

Zum Betrieb einer großen Fernwasserleitung waren zwischen der Wasserfassung und der innerstädtischen Wasserverteilung einige technische Einrichtungen erforderlich, die neben den großen Brücken und Tunneln durchaus auch Erwähnung finden müssen: die Kleinbauwerke. Der mit begehbarem Querschnitt ausgestattete Kanal musste zum Zwecke der Revision natürlich nicht von einem Ende bis zum anderen begangen werden, sondern dazu waren in bestimmten Streckenabschnitten Einstiegmöglichkeiten angelegt worden. Im Verlauf der Eifelwasserleitung nach Köln sind rund ein Dutzend solcher Einstiegschächte gefunden worden, die in manchen Abschnitten dicht beieinanderliegen, woanders aber nur vereinzelt angetroffen worden sind.

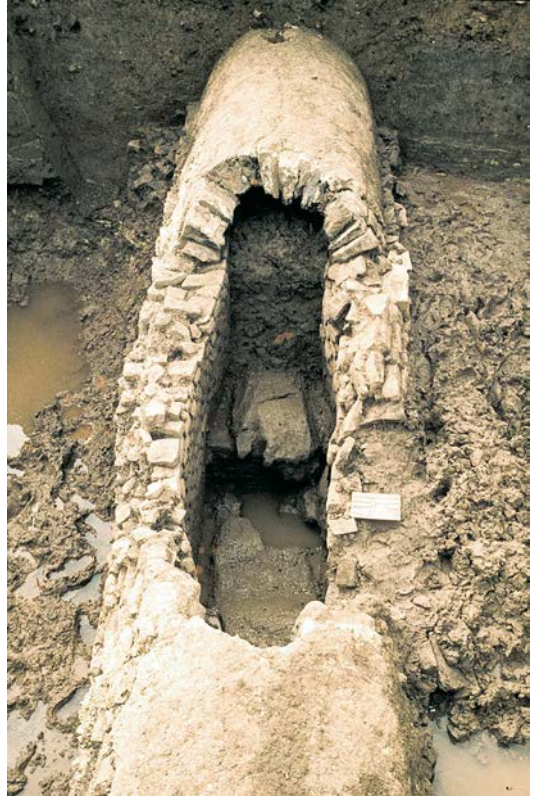
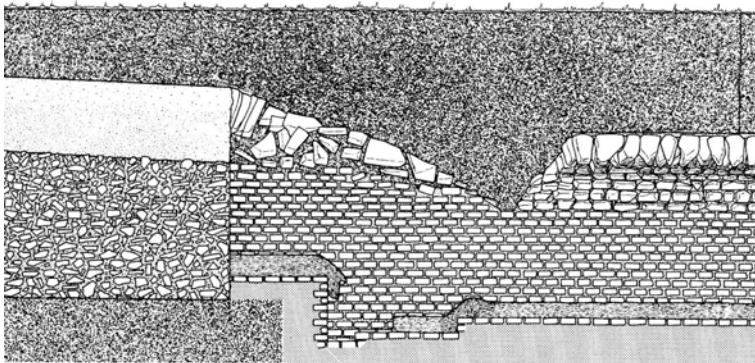


Abb. 18 Eifelwasserleitung nach Köln, Tosbecken zum Höhenausgleich in einer Bauosgrenze einer Fernwasserleitung bei Mechernich-Lessenich.



Fließrichtung →

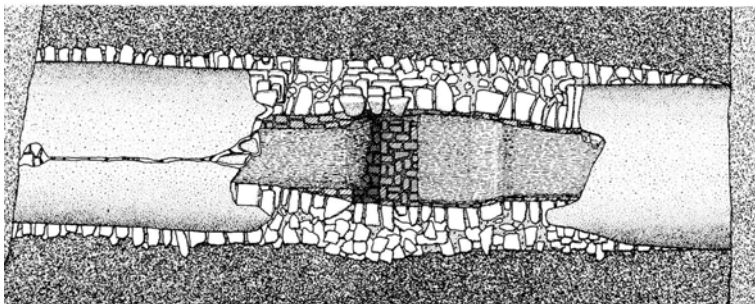


Abb. 19: Eifelwasserleitung nach Köln, Tosbecken zum Höhenausgleich in einer Bauosgrenze einer Fernwasserleitung bei Mechernich-Lessenich.

Die Schächte haben als Querschnitt die lichte Weite des unterirdischen Kanals, denn dessen Seitenwangen sind im Schacht bündig hochgezogen. Die Aussparung im Gewölbe ist sauber gesetzt, darauf sitzen die beiden quer zum Leitungsverlauf angeordneten Schachtwände. Dieser kaminartige Aufsatz des Kanals reichte auch nach der Abdeckung der Leitung noch über das Erdreich hinaus. Ein vollständiger Einstiegschacht ist zwar nirgends gefunden worden, aber anzunehmen ist, dass sie ehemals bis in Brusthöhe aufrecht standen und mit Steinplatten abgedeckt waren. Durch derartige Einstiege war also die Möglichkeit zur Revision des Leitungsinners gegeben. Ein Mann des Wartungspersonals konnte in bestimmten zeitlichen Abständen einsteigen und im Kanalinnern dessen einwandfreien Zustand überprüfen. Störungsmöglichkeiten waren durchaus gegeben, denn durch Erdrutsche oder kleine Beben konnte das Mauerwerk geborsten sein, ohne dass der Schaden sich obertägig angezeigt hat. Es konnten aber auch Fremdkörper in die Rinne gelangt sein: In Euskirchen-Kreuzweingarten fanden sich bei einer Ausgrabung im Kanal stark versinterete Baumwurzeln, die den Abfluss des Wassers natürlich behindert hatten.

Ein Problem für sich war die Versinterung des Kanalgerinnes. Die Vorliebe der Römer für kalkhaltiges Wasser hatte zwangsläufig den Nachteil, dass sich ein Teil des Kalkgehaltes während des Transportes auf der Sohle und an den Wangen niederschlug. Im Laufe der Zeit bildete sich eine dicke Schicht von Kalksinter, die den Querschnitt der Leitungen immer mehr einengte.

Beispiele für die Leitungsversinterung finden sich überall dort, wo kalkhaltiges Wasser transportiert worden ist. Wer beispielsweise den Pont du Gard bei Nîmes (Frankreich) einmal besucht und in der Kanalrinne die Brücke passiert hat, der ist dort auf einer mächtigen Sinterschicht gegangen, die auch die Wangen noch hoch bedeckt.

In Punkten der Zusammenführung zweier Leitungsstränge hätte es zu hydraulischen Problemen kommen können. Um einen Rückstau in einem der Kanäle zu vermeiden, ließ man entweder beide Trassen nicht höhengleich aufeinanderstoßen oder baute ein regelrechtes Sammelbecken. Ein solches wurde 1960 in Mechernich-Eiserfey ausgegraben und ist seit 2005 wieder zugänglich (Abb. 20).

Ein wichtiges Element im Zuge einer römischen Fernwasserleitung war die Reinigung des Wassers auch von den darin befindlichen Schweb-

stoffen. Dieser Wasserklärung diente kurz vor den Städten im Leitungsverlauf installierte Absetzbecken. Das Funktionsprinzip ist einfach, denn in einem solchen Absetzbecken wird der Durchfluss verlangsamt, das Wasser kann sich etwas beruhigen, und Fremdkörper können sich absetzen.

An verschiedenen Orten haben sich Absetzbecken noch hervorragend erhalten, so bei Metz und Segovia (Spanien). Diese Bauwerke hatten in der Regel noch eine zweite Funktion zu erfüllen, nämlich die eines Ableitungsbeckens vor einem obertägigen Bauwerk. In Metz liegt das Absetzbecken im Hang direkt vor der großen Aquäduktbrücke über die Mosel und in Köln am Anfang der ehemaligen Hochleitung im Verlauf der ersten Fernwasserleitung der Römerstadt aus dem Vorgebirge (Abb. 21). In beiden Fällen war durch einen seitlichen Überlauf im Becken neben der Klärfunktion zusätzlich noch die Möglichkeit gegeben, das Wasser vor den Brücken abzuleiten, um diese anfälligen Bauwerke für Reparaturarbeiten trockenlegen zu können.

Auch in Segovia hat es einer solchen Einrichtung bedurft, sie ist dort aber nicht im Absetzbecken untergebracht, sondern als eigenständiges Ableitungsbecken direkt vor der großen Aquäduktbrücke.



**Abb. 20:** Eifelwasserleitung nach Köln, Sammelbecken im Schnittpunkt zwei Leitungsarme bei Mechernich-Eiserfey.



**Abb. 21:** Eifelwasserleitung nach Köln, Absetzbecken zur Klärung des Wassers vor der Stadt im Kölner Grüngürtel.

## Innerstädtische Wasserverteilung und Abwasserentsorgung

Mit dem Erreichen der Stadtmauer begann ein neuer Abschnitt in der Wasserversorgung einer römischen Stadt. Hier musste das Wasser gesammelt, notfalls auch gespeichert werden. Dann musste es auf die verschiedenen Stadtteile verteilt werden und dort unterverteilt werden zu den städtischen Laufbrunnen, den öffentlichen Bade- und Toilettenanlagen sowie an die Haushaltungen, die sich einen privaten Wasseranschluss leisten konnten.

Wo anders ließe sich die Technik einer innerstädtischen Wasserverteilung besser nachvollziehen als in einer Stadt, deren antiker Zustand gleichsam in einer Momentaufnahme versiegelt worden ist – so wie es beim Ausbruch des Vesuvs am 24. August 79 n. Chr. mit der zu seinen Füßen liegenden Stadt Pompeji geschah. Die Ausgrabungen der letzten Jahrzehnte brachten auch die komplette Wasserversorgung der Stadt wieder an das Tageslicht.

## Wasserspeicher

Im Normalfall durchstieß die Wasserleitung die Stadtmauer in einer Höhe, die innerhalb der Stadt einen ausreichenden Druck für die Weiterverteilung in einem Drucknetz bereitstellen ließ. Dort, wo es notwendig war, füllte sie einen Behälter, wodurch eine gewisse Wasserbevorratung auch in wasserarmen Zeiten möglich war. Derartige Endspeicher können Größen aufweisen, die uns allein von ihren Dimensionen her heute noch stark beeindrucken.

Der Speicher am Endpunkt der 132 Kilometer langen Wasserleitung vom Djebel Zaghouan nach Karthago (Tunesien) hatte bei einer Grundfläche von  $39 \times 155$  Metern ein Fassungsvermögen von rund 30 000 Kubikmetern. Das dokumentiert natürlich einmal mehr die besonderen Verhältnisse der Wasserversorgung in den südlichen Provinzen des römischen Weltreiches. Eine einzigartige Zweckentfremdung hat übrigens der antike Wasserbehälter von Tabarka (Tunesien) erfahren: Er wurde nach seiner Außerbetriebnahme zur Kirche umfunktioniert. Und wenn man sich das Innere dieses Bauwerkes anschaut, wird man feststellen, dass dazu kaum bauliche Veränderungen vorzunehmen waren.

Ein solcher Eindruck ist in vortrefflicher Weise auch im gerade restaurierten Wasserbehälter „Piscina Mirabilis“ in Bacoli am Kap Misenum (Golf von Neapel) zu gewinnen. 48 Pfeiler tragen die

Gewölbe der fünf Längs- und 13 Querschiffe dieser  $72 \times 26$  Meter messenden Halle.

## Wasserverteiler und Wassernutzung

Innerhalb der Städte war das Wasser dann in einem Drucknetz zu verteilen. Vitruv spricht zwar auch dieses Problem an, aber sein Vorschlag von einer „sozialen“ Wasserverteilung, die im Falle der Wasserknappheit nacheinander die privaten Haushalte, dann die Thermen und zuletzt die öffentlichen Brunnen trockenlegen würde, hat sich bisher an keinem Ort nachweisen lassen. So sind wir für die Rekonstruktion dieses Verfahrens auch hier auf die archäologische Befundlage angewiesen.

Der Hauptverteiler von Nîmes (Frankreich) gibt uns einen anschaulichen Einblick in das Verteilersystem dieser Stadt (Abb. 22). Das aus der Fernwasserleitung von Uzès kommende Wasser fließt in ein kreisrundes Becken von etwa 6 Meter Durchmesser, von dem drei Leitungen im Boden und zehn im Beckenrand abzweigen



Abb. 22: Nîmes (Frankreich), Wasserverteiler.

In Pompeji können vom Hauptverteiler aus drei verschiedene Druckleitungsnetze gespeist werden. Die Wasserleitung erreicht am Vesuv-Tor die Stadt, also an ihrer höchsten Erhebung, dadurch war ein ausreichender Druck für die Verteilung vorhanden. Im Hauptverteiler war der Zufluss zu den einzelnen Druckleitungssträngen mittels Schützen abzusperrbar; davor angeordnete Rechen hielten Fremdkörper zurück, die das Röhrennetz hätten verstopfen können.

Die von hier ausgehenden drei Hauptleitungen verteilten das Wasser über die Stadt, wobei aber noch einmal Verteilertürme zwischengeschaltet waren. Diese Türme waren ein ganz wesentliches Element im Stadtbild einer antiken Stadt. In Pompeji findet man sie heute noch an vielen

Straßenkreuzungen sinnvoll über das Stadtgebiet verteilt. Es handelt sich um rund 5 Meter hohe, aufgemauerte Pfeiler, die auf ihrer Krone ein kleines Freispiegelbecken ragen. Diesem wurde von einem der drei Hauptstränge über eine Steigleitung das Wasser zugeführt. Die von hier abgehenden, kleiner dimensionierten Leitungsröhre verteilten das Wasser im angeschlossenen Stadtbezirk weiter. Der nächste Laufbrunnen lag meist direkt zu Füßen eines Verteilerturmes. In Pompeji sind die bisher gefundenen 40 Laufbrunnen in einer Dichte über das Stadtgebiet verteilt, dass jeder Bewohner nicht mehr als 50 Meter zu einer öffentlichen Wasserstelle zu gehen hatte.

Da öffentliche Brunnen nicht abzusperrten waren, also ständig Wasser überfloss, waren diese Brunnen auch ein wesentlicher Faktor für das Klima der Stadt: Das Überlaufwasser sorgte für eine stete Durchspülung der Straßen und Kanäle, wodurch die Straßen vom Kehrlicht saubergehalten und die Luft von üblen Gerüchen freigehalten wurden.

Zu den Hauptwasserverbrauchern zählten die Thermen. Diese großen Badeanlagen, die selbst in den entlegensten Provinzen zum täglichen Leben der Römer gehörten, benötigten einen ständigen Wasserzufluss zum Betrieb der kalten und warmen Bäder. Auch die Abortanlagen hatten eine dauernde Durchspülung eine Form der Hygiene, die manchen Krankheitsherd von vornherein ausschaltete und die in nachrömischer Zeit erst in unseren Tagen wieder erreicht worden ist. Dass es sich bei den Toiletten um gemeinschaftliche Anlagen gehandelt hat, die gleichzeitig von mehreren Personen benutzt werden konnten, mag man durchaus noch der positiven Seite der römischen Lebensweise zurechnen; in fernsehloser Zeit konnte hier jedenfalls ein wesentlicher Teil der täglichen Kommunikation stattfinden.

Die reichen Haushalte hatten in Pompeji einen privaten Wasseranschluss. Eindrucksvolle Reste davon sind im so genannten „Haus der Vettier“ und an einigen Nachbarhäusern zu sehen. Hier wird die komplette Arbeit eines antiken Installateurs offenbar. In den freiliegenden Bleileitungen, die die Brunnen im Peristyl, aber auch die Hausanschlüsse im Obergeschoss versorgten, sind die Hausverteiler ebenso zu sehen wie die verschiedenen Armaturen, um einzelne Zapfstellen zu- oder abschalten zu können.

## Abwasser

Mit dem regen Verbrauch des Wassers war das Leben zwar wesentlich angenehmer zu gestalten gewesen, aber da das Wasser dabei nicht vernichtet wurde, trat als Folgeerscheinung zwangsläufig das nächste Problem auf: die Abwasserbeseitigung. Im römischen Köln lässt sich nachvollziehen, dass dieses Problem bereits in der Konzeption zur Anlage der Stadt berücksichtigt worden war. Zugleich mit dem Ausbau des Straßennetzes der im Jahre 50 n. Chr. gegründeten COLONIA CLAUDIA ARA AGRIPPINENSIS (CCAA) ist auch das Kanalnetz gebaut worden.

Auch in Rom ist ein solcher Einblick in die antike „Unterwelt“ heute noch möglich. Nahe der Tiberinsel mündet die *Cloaca maxima*, der Hauptkanal der römischen Stadtentwässerung, in den Fluss. Dieser Kanal ist zudem ein Mosaikstein bei der Betrachtung der Entwicklung dieser antiken Weltstadt. Seine Anfänge liegen vermutlich unter König Tarquinius Priscus um 500 v. Chr., als man damit beginnt, die Sümpfe zwischen den Hügeln der Stadt trockenzulegen. Vermutlich liegen diesem Kanal etruskische Vorbilder zugrunde. Der offen geführte Entwässerungsgraben folgte der Tallinie zum Tiber, wird später ausgebaut und überbaut und hat wegen dieser Entwicklung heute noch seinen windungsreichen Verlauf.

Diese zwei prächtigen Beispiele für städtische Kanalisationen mögen genügen, um aufzuzeigen, dass mit dem Ausbau einer Wasserversorgung zwangsläufig eine Entsorgung einhergehen musste. Es gehörte zum Standard des urbanen Lebens der römischen Epoche, mit gutem Trinkwasser versorgt zu sein – und auch von den Abwassern wieder befreit zu werden.

## Vermessungsmethoden beim Bau von Fernwasserleitungen

Wir wissen von der Tunnelbaustelle im Zuge der römischen Wasserleitung nach Saldae/Bejaia (Algerien), dass die Hauptrichtungsabsteckung von dem eigens von der Legion angeforderten Librator Nonius Datus durchgeführt worden ist. Nach seiner Abreise von der Baustelle haben nämlich die mit der Feinabsteckung während des Baubetriebes beauftragten Bauleute „Fehler über Fehler“ gemacht, für deren Ausgleich der Ingenieur eigens noch einmal anreisen musste. Eine derartige Arbeitsteilung im Verlauf der Errichtung eines Wasserleitungstunnels legt die Vermutung nahe, auch bei der Trassierung einer Fernwasserleitung habe ein mit entsprechendem

Gerät ausgerüsteter und speziell für derartige Arbeiten ausgebildeter Fachmann die Hauptabsteckung der Trasse mit dem Generalnivelement durchgeführt, wobei dann sicherlich auch in einem Zuge die Baulose eingeteilt worden sind. Dieses Generalnivelement wird mit dem genauesten zur Verfügung stehenden, also dem zeitgenössisch modernsten Instrumentarium durchgeführt worden sein – etwa dem bei Vitruv beschriebenen *Chorobat* (Abb. 23).

Der absteckende Ingenieur war natürlich darüber hinaus in der Lage, am Beginn eines jeden Bauloses das für diesen Abschnitt geplante Gefälle anzugeben, gegebenenfalls mittels zweier Messpföcke zu vermarken. Mit einer solchen Vorgabe war es dann durchaus möglich, dass die Bauleute das Gefälle der Kanalsohle innerhalb ihrer Baustelle selbstständig abgesteckt haben. Dazu war ein spezielles Gerät überhaupt nicht mehr er-

forderlich, denn das nunmehr gleichmäßige Gefälle innerhalb des Bauloses war auf einfachste Weise mittels „Austafeln“ abzustecken. Das „Austafeln“ ist im Kanalbau heute nur noch selten gebräuchlich und wird nach und nach durch mit Laserstrahlen ausgerüstete Instrumente abgelöst. Es werden dafür drei T-förmige Tafeln benutzt, deren Querbalken etwa in Brusthöhe angebracht sind. Zwei dieser Tafeln werden auf Holzpfählen aufgestellt, die als Festpunkte mit einem das geplante Gefälle bildenden Höhenunterschied vermarkt worden sind. Durch Peilung mit bloßem Auge werden nun die Oberkanten der beiden T verlängert, und auf der sich daraus ergebenden Gefällelinie wird die Oberkante des dritten T eingerichtet. Liegen also alle drei T auf einer optischen Gefällelinie, so kann am Fuß des dritten T ein Holzpfahl eingeschlagen werden, wodurch das Gefälle für einen weiteren Punkt der Trasse abgesteckt ist.

## Engentliche Fürreysung mancherley Instrument der Wasserragen vnd absehen der Veldmessung. Magst hierüber auch wol sehen die figur oben am 243. blat.

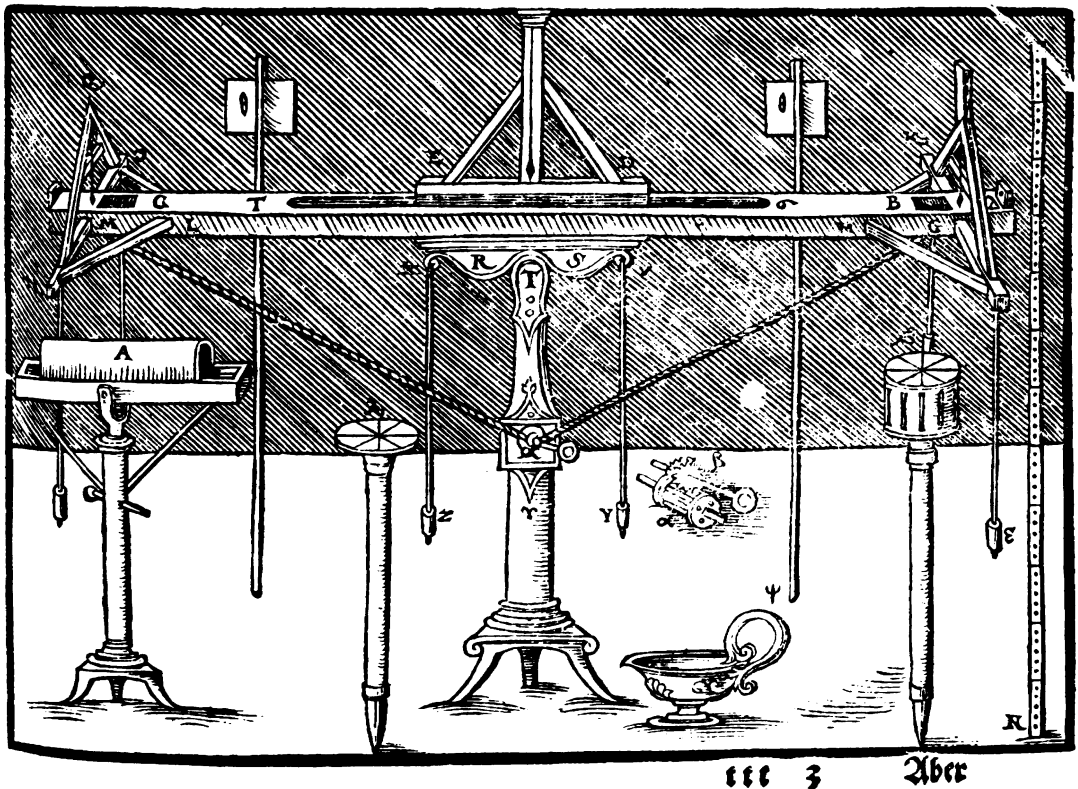


Abb. 23: Chorobates, römisches Nivelliergerät nach Vitruv, Rekonstruktionsversuch von W. Ryff.

Auf diese Weise fährt man mit fortschreitendem Baubetrieb auf der Trassenlinie eines Bauloses fort und kommt irgendwann zum Baulosende oder zum nächsten Festpunkt des Hauptnivelements. Diese fortschreitende Absteckung hatte aber genau das zur Folge, was uns heute an den Stoßstellen zweier Nivellementsabschnitte auffällt: Hier wurde nämlich die Summe der vielen kleinen, sich beim Austafeln fortpflanzenden (systematischen) Fehler offenkundig. Den Bauleuten muss dabei klar gewesen sein, dass sie im Anschlusspunkt keinesfalls zu tief ankommen durften; entsprechend vorsichtig, d. h. nach oben orientiert, werden sie sich beim Austafeln vorgearbeitet haben.

Die archäologischen Ergebnisse von Siga (Algerien) und Mechernich-Lessenich machen diese Vorgehensweise deutlich. In Siga ist das Austafeln des Gefälles im ersten von drei untersuchten Abschnitten offensichtlich gut gelungen, denn der Anschlusspunkt wurde höhengleich getroffen, und es konnte ohne Korrektur in den nächsten Abschnitt übergegangen werden. Beim Austafeln des zweiten Abschnitts hat sich dann ein Höhenfehler von 0,93 Meter summiert, der im Anschlusspunkt zum dritten Abschnitt offenkundig geworden ist. Eine Korrektur dieser Abweichung vom Sollwert hätte nun bedeutet, dass die Grabensohle des gesamten zweiten Abschnittes kontinuierlich tiefer zu legen gewesen wäre. Diese aufwändige Baukorrektur war aber nicht zwingend notwendig, da auch die fehlerhafte Absteckung noch mit einem genügend großen Gefälle versehen war. Man hat die zu einer baulichen Korrektur eigentlich notwendigen Erdarbeiten vermieden und statt dessen den dritten Abschnitt in der neu vorgegebenen Höhenlage begonnen. Für diesen Abschnitt war nun aber ein entsprechend verstärktes Gefälle abzustecken, um nach Möglichkeit den vorgegebenen Zwangspunkt am Ende dieses dritten Abschnittes wieder zu erreichen.

Es sei noch einmal erwähnt, dass diese Art der Feinabsteckung nicht unbedingt der Anwesenheit des Ingenieurs auf der Baustelle bedurft hat, sondern durchaus vom „Polier“ in eigener Verantwortung betrieben werden konnte. Siga ist nun ein Beispiel dafür, wie der am Ende der Austafelungsstrecke aufgetretene Fehler im anschließenden Gefälleabschnitt ausgeglichen werden konnte, da die gesamte Leitung von einem Bautrupp gebaut worden ist. Anders bei der Eifelwasserleitung nach Köln. Durch die Aufteilung der Gesamttrasse in verschiedene Baulose traf ein Bautrupp am Ende seines Leitungsabschnittes auf den Anfang

des jeweils nächsten Bauloses. Und da die Abschnitte immer von ihrem höchsten Punkt ausgehend ausgebaut worden sein müssen, traf man an der Abschnittsgrenze in manchem Falle wahrscheinlich auf den schon fertig errichteten Kanal des nächsten Bauloses. Ein Höhenfehler war also im Anschlussgefälle nicht mehr auszugleichen; statt dessen musste ein Höhenübergang aus dem zu hoch liegenden Kanal in den tiefer liegenden Anschluss des nächsten Bauloses eingebaut werden.

In Mechernich-Lessenich haben wir offensichtlich eine genau diesem Zweck dienende Einrichtung in Form eines kleinen Tosbeckens vor uns. Dieses Becken, an Stelle einer einfachen Höhenstufe in den Kanalverlauf eingeschaltet, bewirkte den Überlauf des Wassers von einem Abschnitt in den anderen, ohne dabei hydraulische Probleme zu verursachen (Abb. 18 und 19).

Neben einer exakten Feinabsteckung des Gefälles für den zu errichtenden Baugraben, bei der der Anschlusspunkt zum nächsten Abschnitt höhengleich getroffen werden musste, war im römischen Wasserleitungsbau nach unserer Erkenntnis also nur eine Art von Fehler zulässig: dann nämlich, wenn der Anschlusspunkt zu hoch erreicht wurde, das Gefälle also zu flach abgesteckt worden war. Lag dieser Fehler innerhalb einer noch akzeptablen Toleranzgrenze, so hat man es vermieden, die Grabensohle im gesamten Bauabschnitt noch einmal nachzuarbeiten, sondern hat den Fehler entweder durch Berücksichtigung im Anschlussgefälle ausgeglichen oder das Wasser mittels eines kleinen Kunstbauwerks in den tiefer gelegenen Anschlusskanal übergeleitet.

Wir sollten uns dabei auch die auf diese Weise eingesparte Menge von Erdreich und Fels vor Augen halten, die bei einem Nacharbeiten der Grabensohle noch zu bewegen gewesen wäre: Auf 1480 Metern hätte in einem 1,5 Meter breiten Graben ein Fehler von 0,93 Meter einen weiteren Aushub von rund 1000 Kubikmeter erforderlich gemacht. Diese gewaltige Zusatzarbeit erklärt vielleicht, warum man es vorgezogen hat, statt dessen nach Ersatzmaßnahmen zu suchen, die weniger Aufwand erfordert haben.

Nun haben die weiteren Forschungen der letzten Jahre auch bezüglich der Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen neue Forschungsergebnisse gebracht. Dabei hat sich bestätigt, dass das Gefälle der Eifelwasserleitung nach der Methode des Austafelns abgesteckt worden sein muss. Mit dem Austafeln stand den

römischen Baumeistern zwar eine probate Methode der Gefälleabsteckung zur Verfügung (Abb. 24), diese hatte jedoch einen Nachteil. Beim Austafeln bewegt man sich nämlich nicht – wie beim geometrischen Nivellement – auf der Erdkrümmung, sondern auf der Tangente zur Erdkrümmung, und mit der Länge der ausgestafelten Strecke nahm die Auswirkung der Erdkrümmung auf die abgesteckte Höhe überproportional zu.

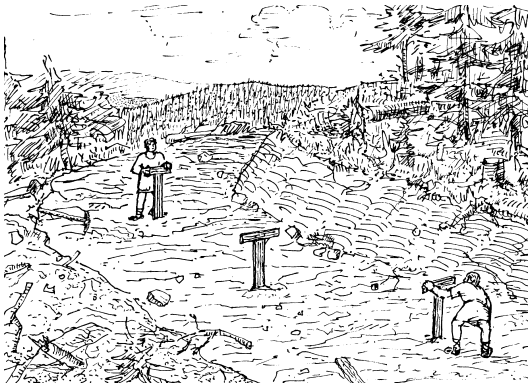


Abb. 24: Bei der Gefälleabsteckung nach der Methode des Austafelns werden die Einflüsse der Erdkrümmung nicht eliminiert.

Man musste also beim Zusammentreffen zweier Baulose mit dem Ende des oberen Bauloses zwangsläufig zu hoch auf das Anschlussbaulos treffen. Da im Falle der Eifelwasserleitung nun auch Streckenabschnitte ermittelt werden konnten, über die ein gleiches Gefälle angelegt wurde, kann auch die Auswirkung des Austafelns auf die Höhenabsteckung im Bereich der Baulose präzisiert werden.

Für das Baulos oberhalb des Lessenicher Tosbeckens lassen sich rund 30 cm Höhenabweichung errechnen, die durch die Auswirkung der Erdkrümmung auf das Absteckverfahren verursacht sind. Da wir in der Baulosgrenze von Mechernich-Lessenich einen Höhenversprung von 38 cm vorgefunden haben, sind diese 30 cm bei einer Fehlerbetrachtung folglich in Abzug zu bringen. Es bleibt also ein wesentlich kleinerer Messfehler festzustellen, als es der erste Anschein vermuten ließ. Dem römischen Baumeister ist also eine größtmögliche Präzision bei der Ausführung seines Bauwerkes zu bescheinigen.

Fassen wir zusammen: Der Absteckung von Hauptpunkten nach Lage und Höhe im Verlauf einer Wasserleitungstrasse hatten der Ausbau

einer Arbeitsterrasse und die Installation des Steinkanals zu folgen. Wir unterscheiden dabei zwei Arten des Trassenausbau. Bei relativ kurzen Fernwasserleitungen wurde der Kanal an der Wasserfassung beginnend in einem Zuge errichtet; das Gefälle errechnete sich in diesem Falle aus der Energiehöhe und der Trassenlänge.

Längere Leitungstrassen wurden aus baubetrieblichen Gründen in mehrere Baulose eingeteilt. Der Ausbau begann in jedem Baulos an dessen oberem Ende und folgte der Feinabsteckung des für den jeweiligen Gefälleabschnitt geplanten Gefälles. Dieses Sollgefälle hat zumeist ein rundes Maß betragen (etwa 0,3 Prozent = 3 römische Fuß auf 1000), welches am Anfang des jeweiligen Gefälleabschnittes sorgfältig in Festpunkten abgesteckt und vermarktet war. Die fortschreitende Gefälleübertragung erfolgte in beiden Fällen proportional, möglicherweise durch eine Methode, die man im Kanalbau mancherorts heute noch anwendet: das „Austafeln“. Eine vorsichtige Vorgehensweise bei dieser Art von Höhenübertragung hat dann verschiedentlich zu einem fehlerhaften (zu hohen) Höhenanschluss im nächsten Höhenfestpunkt der Trasse geführt. Ein Nacharbeiten der Baugrube war nicht nur unwirtschaftlich, sondern wegen eines fortgeschrittenen Baubetriebes in manchem Falle auch nicht mehr möglich; der Höhenausgleich musste also im Bereich der Stoßstelle vorgenommen werden.

Beim Trassenausbau in einem Zuge war das insofern unproblematisch, als man den Fehler ermitteln und im anschließenden Gefälleabschnitt berücksichtigen konnte. Für diese Vorgehensweise gibt uns die römische Wasserleitung von Siga (Algerien) ein Beispiel, denn ein in einem Höhenfestpunkt aufgetretener Fehler wurde durch ein vom Sollwert abweichendes Anschlussgefälle wieder ausgeglichen. War die gesamte Wasserleitungstrasse allerdings in mehrere Baulose aufgeteilt, so traf man am Ende eines Bauloses zwangsläufig auf den bereits fertiggestellten Anfang des anschließenden Bauloses. Bei der zuvor beschriebenen Art der Gefälleabsteckung hatte das zur Folge, dass wegen der Auswirkungen der Erdkrümmung auf diese Absteckmethode nicht zu vermeidenden Höhendifferenzen nur noch durch den Einbau einer Höhenstufe, bei größeren Abweichungen eines regelrechten Tosbeckens aufgehoben werden konnten. Beide Möglichkeiten sind im Zuge der Eifelwasserleitung zur Anwendung gekommen.

**Literatur**

- Th. Ashby:* The Aqueducts of Ancient Rome (Oxford 1935).
- C. Fernandez Casado:* Acueductos Romanos en España (Madrid 1972).
- C. Fensterbusch:* Vitruv, Zehn Bücher über Architektur (Darmstadt 1976).
- Frontinus-Gesellschaft (Hrsg.):* Wasserversorgung im antiken Rom (München, Wien 1982).
- Frontinus-Gesellschaft (Hrsg.):* Die Wasserversorgung antiker Städte (Mainz 1987).
- K. Grewe:* Der Fulbert-Stollen am Laacher See – eine Ingenieurleistung des hohen Mittelalters. Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 7, 1979, 107 und (Köln 1979).
- K. Grewe:* Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates. Allgemeine Vermessungsnachrichten 88, 1981, 205.
- K. Grewe:* Die römische Wasserleitung nach Almuñécar. Der Vermessungsingenieur 34, 1983, 217.
- K. Grewe:* Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen (Wiesbaden 1985).
- K. Grewe:* Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln. Rheinische Ausgrabungen 26 (Köln 1986).
- K. Grewe:* Über den Nachweis von Baulosgrenzen im Verlauf römischer Wasserleitungen. Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft 10, 1987, 53.
- K. Grewe:* Beispiele für das Überleben antiker Fernwasserleitungen in mittelalterlicher Zeit. Wasserbau in der Geschichte, Kolloquiumsbericht (Braunschweig 1987) 101–127.
- K. Grewe:* Der Römerkanal-Wanderweg (Düren 1988; <sup>2</sup>1990; <sup>3</sup>2005).
- K. Grewe:* Licht am Ende des Tunnels. Planung und Trassierung im antiken Tunnelbau. Ant. Welt, Sonderh. (Mainz 1998)

Bildnachweis: Alle Abbildungen vom Verfasser

**Anschrift des Verfassers**

**Dipl.-Ing. Dr. Klaus Grewe:** Landschaftsverband Rheinland / Rheinisches Amt für Bodendenkmalpflege; Endericher Str. 133; D-53115 Bonn; e-mail: k.grewe@lvr.de; www.klaus-grewe.de