

Pont du Gard, Aquäduktbrücke über den Gardon im Verlauf der römischen Wasserleitung nach Nîmes (Südfrankreich). Mit fast 50 m Höhe nicht nur imposant, sondern auch von außergewöhnlicher Ästhetik.



Die Großprojekte der Römerzeit beeindrucken nicht nur durch ihre Dimensionen, auch die in den Bauwerken heute noch sichtbare Ästhetik lässt jeden Besucher verwundern. Wenn man dann auch noch in Betracht zieht, dass die Bauwerke in staunenswert kurzen Bauzeiten errichtet worden sind und heute noch aufrecht stehen, ist die Bewunderung vollkommen.

Wie kam es zu den »unverschämt« kurzen Bauzeiten bei römischen Großprojekten?

Stellt man die Grundfrage nach den bautechnisch gesehen bedeutendsten Errungenschaften der römischen Zeit, kommt ganz sicher zuvorderst der Halbkreisbogen ins Spiel, denn erst durch die Anwendung des Halbkreises als architektonischem Element waren Brückenbögen und Kuppeldächer in Ausmaßen zu bauen, die

vorher nicht möglich waren. Als großartigstes Beispiel für die Anwendung des Halbkreisbogens im Aquäduktbau ist sicherlich der rund 50 m hohe Pont du Gard anzusehen, den die Römer im Verlauf der Wasserleitung nach Nîmes (Frankreich) gebaut haben (Titelbild).

Im Straßenbau ist die ebenfalls 50 m hohe Brücke von Alcántara (Spanien) ein großarti-

ges Beispiel (Bild 1). Und jeder Rombesucher hat wahrscheinlich das Pantheon mit seiner unglaublichen 43 m-Kuppeldachkonstruktion gesehen, in der Antike die größte freitragende Kuppel der Welt – eine Brücke in der dritten Dimension (Bild 2)!

Das sind Beispiele dafür, wie die römischen Ingenieure die Schwerkraft schein-



Bild 1: Die römische Straßenbrücke über den Tajo bei Alcántara (Spanien) ist mit 50 m Höhe das gewaltigste Bauwerk seiner Art und heute noch in Betrieb.



Bild 2: Die Kuppel des Pantheons in Rom war mit 43 m Spannweite seinerzeit das größte freitragende Gewölbe. In diesem Bauwerk ist der beste Beweis für die Tragfähigkeit römischen Betons (Opus caementicium) gegeben.

Nun waren derartige Brückenbögen nie ohne Hilfskonstruktionen zu errichten. Anders als bei einer kleinen Bogenabdeckung über einem Wasserleitungsgerinne von gerade einmal 0,8 m lichter Weite, ist die Bogenkonstruktion einer Talbrücke ein völlig anderes Kaliber. Das zum Bau erforderliche Lehrgerüst ist bei Spannweiten der zugehörigen Bögen von bis zu 24,5 m (Pont du Gard), resp. 28,9 m (Alcántara) eine gewaltige Zimmermannsarbeit. Eine solche Holzkonstruktion musste die gesamte Last des Bogens tragen bis der Schlussstein gesetzt war, und es ist leicht vorstellbar, dass ein solches Lehrgerüst kunstvoll auf den Kämpfersteinen der Brückenpfeiler aufgesetzt sein musste, um die einwirkenden Kräfte auf die Pfeiler abzuleiten. Erst wenn der Schlussstein eingesetzt war, konnte das Lehrgerüst vorsichtig entfernt werden und der Bogen sich selbst tragen.

Bild 3: Die römische Brücke über den Eurymedon bei Selge (Türkei) zeugt heute noch von der Tragfähigkeit eines Halbkreisbogens, denn sie dient immer noch sogar schweren Holztransportern.

bar aufgehoben haben, mit dem Ergebnis, dass Bauwerke entstanden sind, die uns wegen ihrer kühnen Konstruktionen heute noch ins Staunen versetzen. Und eines darf man nicht vergessen: Erst die Halbkreisbögen machen eine Brücke aus (Bild 3). Eine Brücke ohne Bögen wäre keine Brücke gewesen, sondern eine Mauer. Und wenn man sich vorstellt, wie ein solches Bauwerk von 50 m Höhe ohne die Öffnungen unter den Bögen dem Winddruck standhalten sollte, muss man eigentlich zwangsläufig auf eine Brückenkonstruktion kommen – von der Ersparnis an Baumaterial einmal ganz zu schweigen.

Man hat aber auch in diesem Fall das Problem, dass man gar nicht weiß, wie solche Lehrgerüste auf römischen Baustellen ausgesehen haben, denn Zeichnungen oder Baupläne sind diesbezüglich nicht erhalten. Man muss auch jetzt wieder aus dem Bauwerk herauslesen, wie die antiken Zimmerleute gearbeitet haben. Es gibt aber Hilfe





Bild 4: Anhand der Kragsteine und Balkenlöcher lassen sich Möglichkeiten für den Aufbau der Lehrbögen (Lehrgerüste) rekonstruieren.

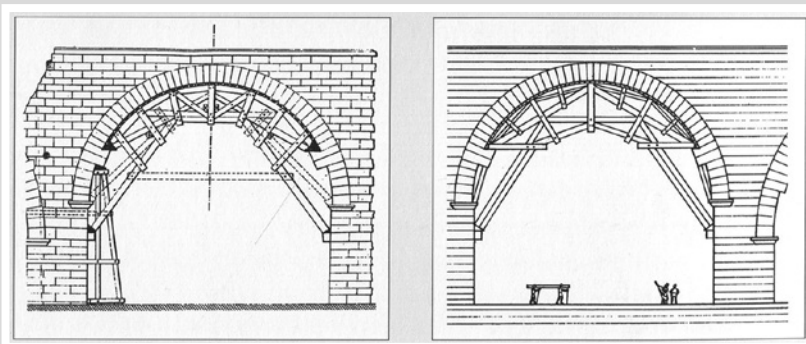


Bild 5 und 6: Obwohl beide für die Rekonstruktion des Lehrbogens in einem Halbkreisbogen des Pont du Gard dieselben Balkenlöcher und Kragsteine benutzen, kommen Léger (links) und Adam (rechts) zu anderen Ergebnissen. Beide Lösungen sind praktikabel.

bei dem Versuch, deren Arbeitsweise zu rekonstruieren und das sind die im fertigen Bogen verbliebenen Balkenlöcher und Kragsteine aus der Bauzeit der Brücke (Bild 4). Im Falle des Pont du Gard sind die Bögen original erhalten, aber wenn es um die Entschlüsselung der Gerüstkonstruktion geht, sind auch diese Konstruktionselemente nicht immer eindeutig. So ermitteln A. Léger und J. P. Adam bei der Rekonstruktion des Lehrgerüsts für einen der Pont-du-Gard-Bögen durchaus unterschiedliche Bauweisen, obwohl beide dieselben Balkenlöcher und Kragsteine des Bogens benutzen (Bild 5).

Bei den großen Aquäduktbrücken handelt es sich zudem um Bauwerke, die aus Großquadern errichtet wurden, die ohne Mörtelverbindung aufeinander gesetzt worden sind. Dabei hatten die römischen Ingenieure noch ein weiteres Baumaterial zur Verfügung: Die zweite bedeutende Errungenschaft der Römerzeit war das Opus caementicium. Dieser aus den Grundbestandteilen Sand, Kalk, Wasser sowie Zuschlagstoffen bestehende Mörtel ließ wegen seiner enormen Druckfestigkeit nicht nur große Bauwerksdimensionen zu, sondern gewährleistete zugleich eine lange Bauwerksnutzung. Durch das Zuschlagma-

terial von bis zu kinderfaustgroßen Bruchsteinen und das sorgfältige Stampfen wurde eine Mauerqualität erreicht, die selbst mit heutigen Materialien nur schwer zu übertreffen ist.

Druckfestigkeitsuntersuchungen an Materialproben aus der Kölner Vorgebirgswasserleitung (30 n. Chr. erbaut) ergaben Werte zwischen 5 und 40 N/mm² – die Werte für heutigen Beton liegen bei 20 bis 80 N/mm² (Bild 7). Mit Opus caementicium zu bauen hieß, praktisch für die Ewigkeit zu bauen: Die Kuppel über dem Pantheon in Rom wurde aus diesem Baustoff errichtet – und trägt sich heute noch. Das Bauen mit Opus caementicium konnte also ein echter Ersatz für das Bauen mit Großsteinquadern sein.

Daneben verwendete man als weiteren Mörtel das Opus signinum, das durch den Zuschlag von Trass (Vulkanasche) oder Ziegelmehl seine Wirkung erhielt und als Estrich für Fußböden Verwendung fand – ein antiker Terrazzo könnte man sagen. Mit Opus signinum als hydraulischem Putz wurden aber auch die Innenflächen der Aquädukte und anderen Wasserbauten verkleidet, um sie dauerhaft abzudichten. Dabei formte man in beiden Ecken in Sohlenhöhe jeweils einen Wulst („Viertelrundstab“) aus demselben Material, um diese bruchgefährdeten Stellen im Kanal besonders zu schützen (Bild 8).

Mit Halbkreisbogen und Opus caementicium standen den römischen Baumeistern technische Elemente zur Verfügung, die nicht nur die Qualität ihrer Bauwerke beeinflusst haben, sondern ganz sicher auch die Bauzeiten.

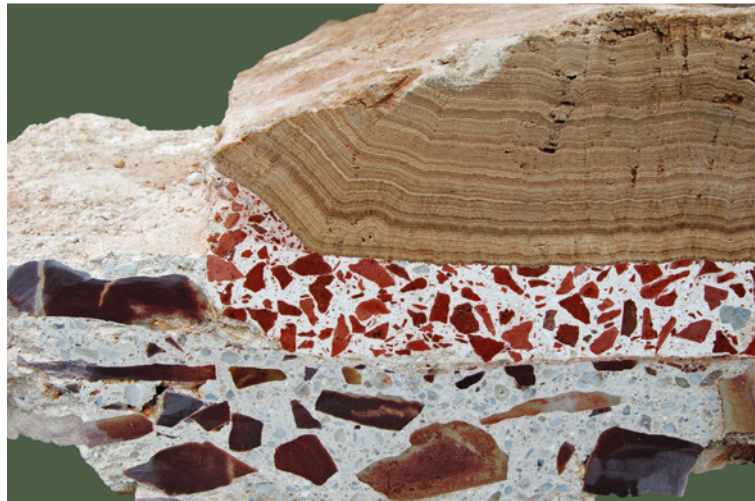
Zur Organisation einer römischen Großbaustelle

Einen ganz besonderen Einfluss auf die Bauzeit eines Großprojektes hat aber auch die Organisation der Baustelle gespielt. Und darin müssen die römischen Ingenieure wahre Meister gewesen sein. Nimmt man eine antike Wasserleitung wie die Eifelwasserleitung nach Köln als Beispiel, dann kann man daran die genialen Grundgedanken der Baustellenplanung sichtbar machen. Ein Aquädukt von 95,4 km Länge war natürlich nicht an der Quelle zu beginnen und sukzessive bis zum Versorgungsgebiet zu bauen. Erst durch die Einteilung der Gesamttrasse in Baulose war eine Verkürzung der Bauzeit zu erreichen, allerdings hatte bis dato



Bild 7: Der Bohrkern aus der ältesten Kölner Römerleitung von 30 n. Chr. zeigt die enorme Qualität des Opus caementicium und eine sehr hohe Druckfestigkeit.

Bild 8: Ein Querschnitt durch die römische Eifelwasserleitung (80/90 n. Chr.) zeigt zuunterst das Opus caementicium des Kanalgerinnes mit Grauwacke-Bruchstücken als Zuschlag. Darauf als hydraulischer Putz eine Schicht Opus signinum mit Ziegelbruch als Zuschlag, die in diesem Leitungsabschnitt auch als Höhenausgleich diente. Darauf hatte sich dann in der Betriebszeit der Leitung ein dickes Paket von Kalksinter abgelagert.



noch niemand eine solche Bauloseinteilung nachweisen können, und aus der antiken Literatur war ein solches Vorgehen ebenfalls nicht zu erkennen. Was fehlte, war der archäologische Nachweis z. B. einer Baulosgrenze. Dieser Nachweis sollte in der Eifel erstmals gelingen, wodurch auch die Abfolge der Arbeiten von der Planung bis zur Trassierung erstmals klar erkennbar wurde (Bild 9).

Vor dem Ausbau einer Aquädukttrasse waren mehrere Arbeitsgänge erforderlich, die sehr streng voneinander zu unterscheiden sind: Grundvoraussetzung war, den Höhenunterschied zwischen Wasserdargebot und Versorgungsgebiet zu ermitteln, wobei ganz nebenbei festgestellt werden musste, ob es auf dieser Strecke Gelände-probleme gab, die gar nicht oder nur mit einigem technischen Aufwand zu meistern

waren. War das geklärt, musste mittels eines Nivellements der Höhenunterschied gemessen und im selben Arbeitsgang auch die Strecke ermittelt werden, die man für die Planung von Gefälle zwingend benötigte. Danach teilte man im Ausbauplan die Gesamtstrecke in kürzere Abschnitte ein – eben die »Baulose« (Bild 10 und 11). Diese Bauloseinteilung war dann erforderlich, wenn man den Aquädukt nicht mit nur einem Arbeitstrupp, sondern in mehreren Baustellen gleichzeitig bauen wollte. Dafür mussten die Baulosgrenzen, also die Nahtstellen zwischen zwei Baulosen, berechnet und im Gelände sehr genau abgesteckt werden, denn diese Nahtstellen waren nicht nur die Anfangspunkte des anschließenden Bauloses, sondern auch die Endpunkte des vorangegangenen. Eine solche Bauloseinteilung war zwingend erforderlich, wenn



Bild 9: Beim Anschluss eines Bauloses an das folgende waren bauliche Übergänge zu schaffen. Der Befund einer Ausgrabung im Verlauf der Eifelwasserleitung bei Mechernich-Lessenich ließ schon bei der Freilegung erkennen, dass hier eine besondere Situation zu erwarten war.



Bild 10: Die Technik der römischen Gefälleabsteckung nach der Methode des »Austafelns« bedingte zwangsläufig, mit dem Ende eines Bauloses nicht höhengleich auf den Anfang des Folgebauloses zu treffen. Ursache hierfür war die Erdkrümmung, die beim Austafeln nicht berücksichtigt wird. Um die auftretende Höhendifferenz auszugleichen, haben die römischen Baumeister eine Stufe in die Sohle der Wasserleitung eingebaut. In Mechernich-Lessenich konnte nachgewiesen werden, dass von der 35 cm hohen Sohlenstufe ca. 32 cm auf das Konto der Erdkrümmung gehen.

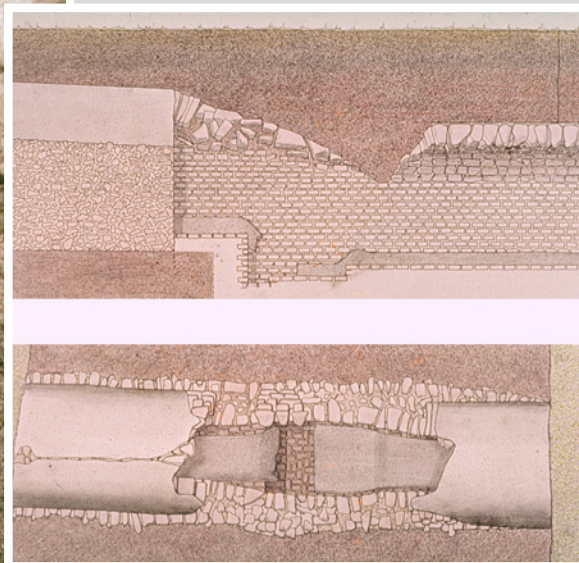


Bild 11: War die Stufe im Bereich einer Baulosgrenze zu hoch, musste ein regelrechtes Tosbecken eingebaut werden, um die zerstörerische Kraft des Wassers an einer Sollstelle zu vernichten. Die gut erhaltene Gewölbeabdeckung lässt zudem erkennen, dass an dieser Stelle auch eine Änderung des Gefälles im Anschlussbaulos vorgenommen worden ist.

man mit den Arbeiten möglichst schnell fertig werden wollte. Ein gewisser Zeitdruck war vermutlich bei jedem Projekt vorhanden, denn es ist anzunehmen, dass der Auftraggeber oder Stifter die fertige Leitung auch einweihen wollte.

Ebenso wurden nach vorheriger Berechnung die Standorte der vielen Brücken und Brückchen abgesteckt, denn deren Bau musste zeitlich vor dem Ausbau des Specus, also des Wasserleitungsgerinnes, fertiggestellt sein. Um Zeitverzug zu vermeiden, musste beim Ausbau darauf geachtet werden, dass dann, wenn man mit fortschreitender Fertigstellung des Specus ein Bächlein oder einen Fluss erreichte, an dieser Stelle bereits eine fertige Brücke stand, auf der man das Wasserleitungsgerinne überführen konnte.

Bis dahin war es aber ein schwieriger Weg, der nur durch straffe Organisation und

strenge Bauaufsicht in kurzer Zeit genommen werden konnte.

Betrachtet man die angewandten Vermessungstechniken genauer, wird klar, welch großes fachliches Wissen auf einer Aquäduktbaustelle gefordert war. Das ist auch der Punkt, warum man annehmen kann, dass die grundlegenden Arbeiten der Planung und Trassierung von Ingenieuren nahegelegener Legionen durchgeführt wurden.

Zumindest die Nivellements mit dem Chorobat müssen von fachkundigem Personal ausgeführt oder zumindest begleitet worden sein, denn sie hatten die Ergebnisse zu erbringen, die für die Planung der Aquädukttrasse notwendig waren. Der Fortgang der Arbeiten, bei dem es um die Umsetzung der Planungsergebnisse ging, machte dann nicht unbedingt die ständige Anwesenheit des Ingenieurs erforderlich. Es gibt aber kei-

nen Zweifel, dass alle an den Arbeiten beteiligten Kräfte geübt und zuverlässig sein mussten.

Ein »Gesamtkunstwerk Aquädukt«, das sich nach zweitausend Jahren noch respektabel darbietet, ist ein Ergebnis der schon von Nonius Datus um 150 n. Chr. auf seinem Grabstein genannten Tugenden eines Ingenieurs »Patientia, Virtus, Spes«, also Geduld, Tatkraft und die Zuversicht des Fachmannes, der auf seine Kenntnisse gestützt darauf vertraut, dass das schwierige Werk gelingen wird.

Erst wenn man diesen Arbeitsablauf in der Organisation einer Aquäduktbaustelle berücksichtigt, kann man sich erklären, wie die römischen Ingenieure ihre Bauwerke in erstaunlich kurzen Bauzeiten fertigstellen konnten. Im Falle der 95,4 km langen Eifelwasserleitung nach Köln waren es die Bauweiseinteilung und die getrennt vom Specus-

bau, aber zeitgleich durchgeführten Brückenbauten, die die schnelle Bauzeit von rund 4-5 Jahren ermöglicht haben.

Problemstellen im Baufortschritt erforderten ganz spezielle Lösungen

Die römische Baustellenorganisation war also äußerst effektiv. Das wird besonders in den Großprojekten wie beispielsweise den Fernwasserleitungen deutlich. Die Einteilung der gesamten Trasse in mehrere überschaubare Baulose und die Aufteilung der Gewerke Brücken- und Specus-Bau auf verschiedene Bauunternehmer zeigten ihre positive Wirkung vor allem in den Bauzeiten. Einen Ansporn für diese ambitionierte Zeitplanung dürften Geldgeber oder Auftraggeber gegeben haben, die die Fertigstellung des von ihnen geförderten Bauwerks (und damit natürlich auch sich selbst) gebührend gewürdigt sehen wollten. Was war, wenn ein Statthalter als Auftraggeber in eine andere Provinz beordert wurde, das von ihm protegierte Bauwerk an seiner bisherigen Wirkungsstätte aber noch in Arbeit war? Was passierte, wenn eine solche Bauverzögerung durch unvorhersehbare Ereignisse verursacht war?

Man kann sich sehr gut vorstellen, dass dann versucht wurde, mit provisorisch ausgebauten Streckenabschnitten, die Problemstellen zu umgehen, um auf diese Weise Zeitverluste auszuschalten. Mit dem Bau einer provisorischen Umwegleitung ließ sich das Problem insoweit kaschieren, als sich die Wasserleitung zumindest im Sparmodus in Betrieb nehmen ließ (Bild 12). Am Endpunkt des Aquäduktes, in der Regel das Castellum divisorium der Stadt, kam auf diese Weise pünktlich Wasser an und der Festakt der Einweihung konnte planmäßig stattfinden.

Im Trassenverlauf der Eifelwasserleitung gab es einen Streckenabschnitt, der genau das zuvor geschilderte Problem offensichtlich machte. Ob zu dessen Behebung aus Köln irgendein Druck ausgeübt wurde, oder ob hier eigenwillige Entscheidungen der Bauleitung maßgeblich waren, lässt sich aus dem archäologischen Befund nicht rückschließen. Was man aber im Ausgrabungsbefund sieht, ist das Ergebnis einer grundlegenden Planänderung, die das Ziel hatte, keinerlei Verzögerungen in der Aufnahme des Betriebs der Leitung auftreten zu lassen.

Bei Mechernich-Lessenich gibt es den Bergsporn »Am Grünen Winkel«, der von der geplanten Trasse durchschnitten werden sollte. Dieser Einschnitt wäre bis zu 8 m tief und bei Böschungsneigungen von 1 : 1 an der Oberseite bis zu 16 m breit geworden. Es scheint, als sei der Bau eines Bergdurchstiches mit diesen Dimensionen nicht einfach gewesen, wobei die Standfestigkeit des Erdreichs eine besondere Rolle gespielt haben könnte.

Jedenfalls war das Anschlussbaulos, das gleich hinter diesem Geländeeinschnitt begann, offensichtlich schon fertiggestellt, als man »Am Grünen Winkel« noch arbeitete. Das römische Köln hätte ohne diese Problemstelle bereits versorgt werden können.

Da der Baugraben für die unterirdisch zu führende Leitung auf eine Strecke von mehr als 2 km vor der Problemstelle für den Ausbau bereits vorbereitet war, entschloss man sich, darin eine provisorische Holzleitung zu verlegen, mit dieser aber vor dem »Grünen Winkel« abzuknicken, um sie um den Bergsporn herumzuführen. Da

man mit dieser provisorischen Umwegtrasse nicht nur den Geländeeinschnitt umrundete, sondern auch die Baulosgrenze umfuhr, konnte man die Holzleitung hinter dem Bergsporn problemlos an die ab hier schon ausgebaute Steinleitung Richtung Köln anschließen. Damit konnte die Versorgung der Stadt provisorisch in Betrieb genommen werden, und an der Problemstelle hatte man nun Zeit gewonnen, um nach Plan weiterzuarbeiten.

Für den nunmehr von der Holzleitung belegten Graben war für den Steinkanal parallel zur alten Trasse Ersatz zu schaffen. Deshalb musste die Arbeitsterrasse im Berghang auf die ganze Länge bergseitig erweitert werden. Auf diesem Terrassenstreifen war nun ein neuer Graben anzulegen, in dem der Steinkanal zu bauen war (Bild 13). Dieser begleitete die provisorisch ausgebaute Trasse über mehrere Kilometer, schwenkte aber kurz hinter der Stelle, an der die Holzleitung zur Bergumfahrung abknickte, auf die alte Trassenlinie ein und durchschnitt ab hier planmäßig den Bergsporn.

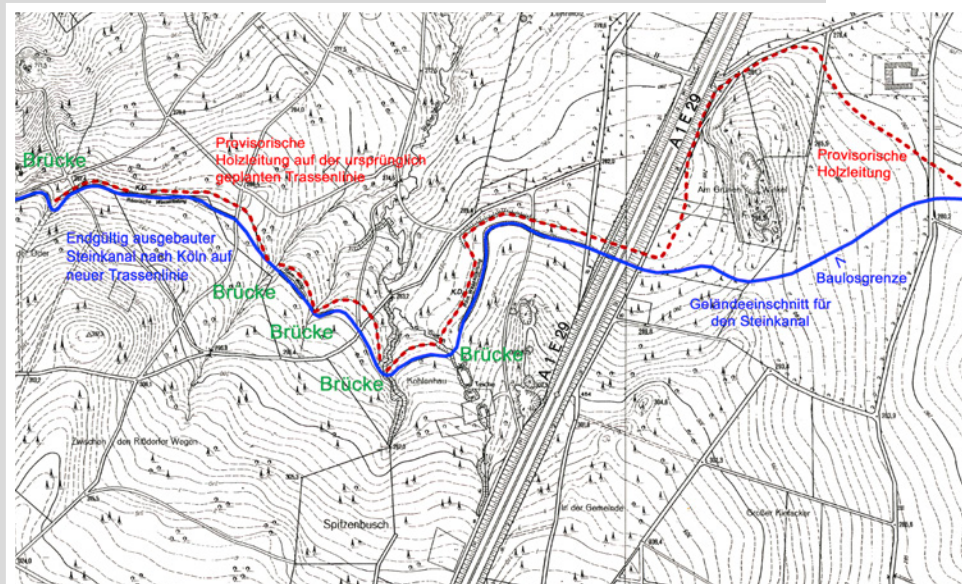


Bild 12: Der Trassenverlauf der Eifelwasserleitung bei Mechernich-Lessenich (»Grüner Winkel«) zeigt einen ganz außergewöhnlichen Befund: Vermutlich führten Probleme mit der Standfestigkeit der Böschungen beim Durchstich des »Grünen Winkels« zu Verzögerungen im Bauablauf. Man verlegte deshalb in der ursprünglich geplanten Trasse eine provisorische Leitung, führte sie aber um den Bergsporn »Grüner Winkel« herum und schloss sie an die im nächsten Baulos bereits fertiggestellte Steinleitung an. Da die Brücken für die Steinleitung bereits fertiggestellt waren, konnte man diese auch für die provisorische Leitung nutzen. Dann musste man die Arbeitsterrasse bergwärts verbreitern, um den Baugraben für den Steinkanal anlegen zu können. Da beide Leitungen dieselben Brücken benutzten, kommen die Trassen bei jeder kleinen Talüberquerung zusammen.



Bild 13: Der Verlauf der doppelten Leitungstrasse ist im Gelände eindeutig nachzuweisen: Links der Graben für die provisorische Leitung, rechts der Graben des Steinkanals.

Nun fällt bei der Betrachtung dieser beiden im Abstand von 2-3 m parallel geführten Linien auf, dass dieser Abstand im Trassenverlauf über die erwähnten 2 km stetig eingehalten wird. Allerdings treffen die Linien immer dann für eine kurze Strecke zusammen, wenn es gilt einen kleinen Taleinschnitt oder Siefen zu queren. Das ist an acht Stellen auffällig und kann somit kein Zufall sein.

Weiter oben wurde aufgezeigt, dass die Brücken und Brückchen im Verlauf der Trasse unabhängig vom Specus vorab gebaut wurden. Das muss auch hier im Mechernicher Wald der Fall gewesen sein, so dass man schon für die provisorische Holzleitung diese Brücken nutzen konnte. Da es sich dabei um feste Steinbrücken handelte, die als Unterbauten für den Steinkanal gebaut worden waren, konnte man sie dafür auch nutzen. Als Ergebnis findet man in der Trassenbetrachtung dieses etwas merkwürdige Zusammenführen bei den Talübergängen.

Resümee

Maßgeblich für die kurze Bauzeit z. B. einer Fernwasserleitung waren die römische Bautechnik und das verwendete Baumaterial.

Mit dem Halbkreisbogen war ein wesentliches Element der Statik gefunden und mit dem Opus caementicium stand ein Baustoff zur Verfügung, der die gesamte Bautechnik revolutionierte. Bezüglich der Baustellenorganisation sind erst kürzlich die archäologischen Nachweise zu den zeitsparenden Maßnahmen der römischen Ingenieure gelungen. Dazu gehört die Freilegung eines Tosbeckens, mit dem der problemlose Übergang des Wassers von einem Baulos in das nächste gewährleistet worden war. Danach ließ sich rekonstruieren, dass für die 95,4 km lange Eifelwasserleitung etwa 20 Baulose eingeplant waren, in denen gleichzeitig gebaut werden konnte. Daneben wurde auch erstmals der archäologische Nachweis gebracht, dass die vielen Brücken und Brückchen im Leitungsverlauf zeitlich vor dem Bau der eigentlichen Leitung gebaut worden sind. Dazu waren Spezialtrupps im Einsatz, denn die Brücken mussten lage- und höhenmäßig exakt in die Trassenplanung eingepasst sein. All das wirkte sich natürlich zeitsparend auf das Gesamtprojekt aus, so dass man von einer Bauzeit von 4 bis 5 Jahren für die fast 100 km lange Eifelwasserleitung zwischen Nettersheim und Köln ausgehen kann.

Literatur:

- J.-P. Adam, *La construction romaine* (Paris 1984).
 K. Grewe, *Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen* (Wiesbaden 1985).
 K. Grewe, *Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln. Rhein. Ausgrabungen 26* (Köln 1986).
 K. Grewe, *Neue Befunde zu den römischen Wasserleitungen nach Köln. Nachträge und Ergänzungen zum »Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln«*.
Bonner Jahrb. 191, 1991, 385-421.
 K. Grewe, *Tunnels and Canals. The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World* (Oxford 2008) 319-336.
 K. Grewe, *Aquädukte. Wasser für Roms Städte* (Rheinbach 2014, 2019).
 H.-O. Lamprecht, *Opus caementitium* (Düsseldorf 1984).
 A. Léger, *Les travaux publics, les mines et la métallurgie aux temps romaine, 2 Bde.* (Paris 1875). Fig 13.
 Vitruv, *Zehn Bücher über Architektur, sein Werk in Lateinisch und Deutsch, deutsch von C. Fensterbusch* (Darmstadt 1964).

Bildnachweis:

- Titelbild, 1 bis 4; 7 bis 11 und 13: K. Grewe
 5 und 6: J.-P. Adam/A. Léger
 12: Kartengrundlage Geobasis NRW, archäologischer Befund K. Grewe



Prof. Dr. Klaus Grewe

Tannenstraße 18
 53913 Swisttal
 E-Mail: mail@klaus-grewe.de
 www.klaus-grewe.de