

Wasserbaugeschichtliche Exkursion in die Provence

Autor(en): **Schnitter, Niklaus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **64 (1972)**

Heft 3

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-920950>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

wölbe und Pfropfen zur Beobachtung ihres Verhaltens. Die Deformationsmessungen erfolgten mit Hilfe einer tensometrischen Brücke. Die Durchbiegungen wurden in 51 Punkten der Luftseite mittels eines Uhrenindikators mit Skalaunteilungen von 0,01 und 0,001 mm gemessen. Das Bild 12 gibt eine Gesamtansicht des Versuchsstandes und des Modelles während der Versuche. Das Modell wurde in Stufen von 25 % der Endlast belastet. Für jede Stufe wurden je 5 Belastungs- und Entlastungszyklen durchgeführt.

Bild 13 gibt die Durchbiegungen in cm infolge Totalbelastung (Wasserdruck plus Eigengewicht). Der ausgeprägt sattelförmige Charakter der Biegelinien im oberen Teil ist die Folge der beträchtlich stärkeren Krümmung in Mauermitte als an den Auflagern. Die Bilder 14 und 15 geben die Hauptspannungen in kg/cm² an beiden Seiten der Stau-mauer infolge Totalbelastung, wobei das Pluszeichen eine Druckspannung und das Minuszeichen eine Zugspannung bezeichnen. Infolge Oeffnung der Fugen zwischen Gewölbe und Pfropfen auf der Wasserseite (was durch die über die Fuge geklebten senkrechten Geber festgestellt wurde), sind die Zugspannungen im untersten Gewölbeteil verschwunden. Die grössten Druckspannungen wurden in den Vierteln der oberen Bögen an der Wasserseite beobachtet und erreichten 96 kg/cm². Die grössten Spannungen, die auf den Felsen abgegeben werden, betragen 80 kg/cm². Der Pfropfen funktioniert im wesentlichen wie ein Keil und die Druckspannungen an ihm übersteigen nicht 15 bis 20 kg/cm². Die angeführten Untersuchungen ergaben:

a) Die Möglichkeit, die Mauerform weiter zu verbessern zwecks einer gleichmässigeren Verteilung der Spannungen.

b) Die Notwendigkeit der Errichtung eines verbreiterten Auflagersattels mit Fuge entlang dem ganzen Umfang der Stau-mauer zur Verminderung der auf den Fels übertragenen Spannungen und zu ihrer gleichmässigeren Verteilung.

c) die Möglichkeit, im Pfropfen Beton von 250 kg/cm², statt der projektierten, Festigkeit zu verwenden.

Adresse des Verfassers:

Prof. Lewan Grigoriewitsch Gwelessiani
Leninstrasse 70, Tbilissi-15/Georgien UdSSR

Nachwort

Einem der neuesten Berichte eines westlichen Besuchers auf der Inguri-Baustelle (Engineering News Record vom 5. August 1971, Seiten 22/24) kann entnommen werden, dass die 1964 aufgenommenen Bauarbeiten noch nicht über den Fundamentaushub hinaus gediehen sind. Dies ist einerseits der grossen Aushubkubatur von 2,5 Mio m³ oder 63 % des Mauervolumens zuzuschreiben, andererseits den in der oberen Hälfte der rechten Talflanke angetroffenen 20 bis 30 cm breiten und 50 bis 200 m langen, mit Lehm gefüllten Verwerfungen, welche umfangreiche Verstärkungsmassnahmen erforderlich machten. Diese bestehen hauptsächlich aus zahlreichen, betongefüllten Stollen von 4,5 m Durchmesser, welche die Auflagerkräfte der Mauer in tiefere, tragfähigere Felsschichten übertragen sollen und somit eine Art horizontale Pfahlfundation darstellen.

Trotz dieser Schwierigkeiten sollen aber keine Aenderungen am Mauerprojekt, wie es vorstehend von Prof. Gwelessiani beschrieben wird, vorgenommen worden sein. Ge-rechterweise muss dazu noch festgehalten werden, wie stark das Projekt offensichtlich durch die Werke des grossen italienischen Talsperrenbauers Dr. h. c. Carlo Semenza (1893—1961), namentlich durch dessen 262 m hohe Vajont-Sperre, inspiriert worden ist. Dies gilt bis ins Detail des Auflagersattels am Mauerumfang (vom Erfinder Semenza «pulvino» genannt) sowie für die Technik der Modellversuche, die seit mehr als 20 Jahren an der weltbekannten ISMES in Bergamo fast haargenau gleich gehandhabt wird.

Während der Bau der unterliegenden Kraftwerkanlagen schon weit fortgeschritten ist, ist die Fertigstellung der Stau-mauer Inguri nun auf 1976 vorgesehen. Hiezu wurden eine neuartige Durchlauf-Betonmischanlage und vier 25-t-Kabelkrane installiert, sowie ein Heer von 12 000 (sic!) Arbeitern bzw. Arbeiterinnen mobilisiert. N. S c h n i t t e r

Uebersetzung durch A. Böttcher und N. Schnitter, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden

BILDERNACHWEIS:

Pläne und Photos der Bilder 2 bis 15 wurden vom Verfasser des Berichtes zur Verfügung gestellt.

WASSERBAUGESCHICHTLICHE EXKURSION IN DIE PROVENCE

DK 626/627 (44)

Niklaus Schnitter

1. Nîmes

Die Provence im Deltagebiet der Rhone in Südost-Frankreich ist nicht nur ein von Geschichte und Kultur durchtränkter Boden, sondern auch reich an Zeugnissen alter Wasserbautechnik (Bild 1). Hier denkt jedermann wohl gleich an den auch als eines der künstlerisch ansprechendsten römischen Bauwerke weltberühmt gewordenen Pont du Gard nordöstlich von Nîmes (Bild 2). Doch wie viele der zahllosen Besucher sind sich bewusst, dass die imposante Brücke nur einen relativ kleinen Teil eines viel grösseren Werkes darstellt, des 49,8 km langen Aquäduktes von Nîmes? [2] Die Initiative zu dessen Erstellung

[1] Hinweis auf Literaturangaben am Schluss dieses Berichtes.

wird Marcus Vipsanius Agrippa (63—12 v. Chr.) zugeschrieben, dem treuesten Helfer und Schwiegersohn des Kaisers Augustus, welcher während seiner zweiten Amtszeit als Statthalter von Gallien um 19 v. Chr. in dem sich der besonderen kaiserlichen Gunst erfreuenden Nemausus residierte.

Der Ausgangspunkt des Aquäduktes befand sich an der Quelle des Eure, unmittelbar südlich der Brücke über den Alzon zwischen Uzès und Pouzilhac (Bild 3). Der Eure und einige andere Quellen wurden in Kreisbecken von einigen Metern Durchmesser gefasst und in den Aquädukt eingeleitet. Dieser ist auf 93 % seiner Länge im Graben erstellt

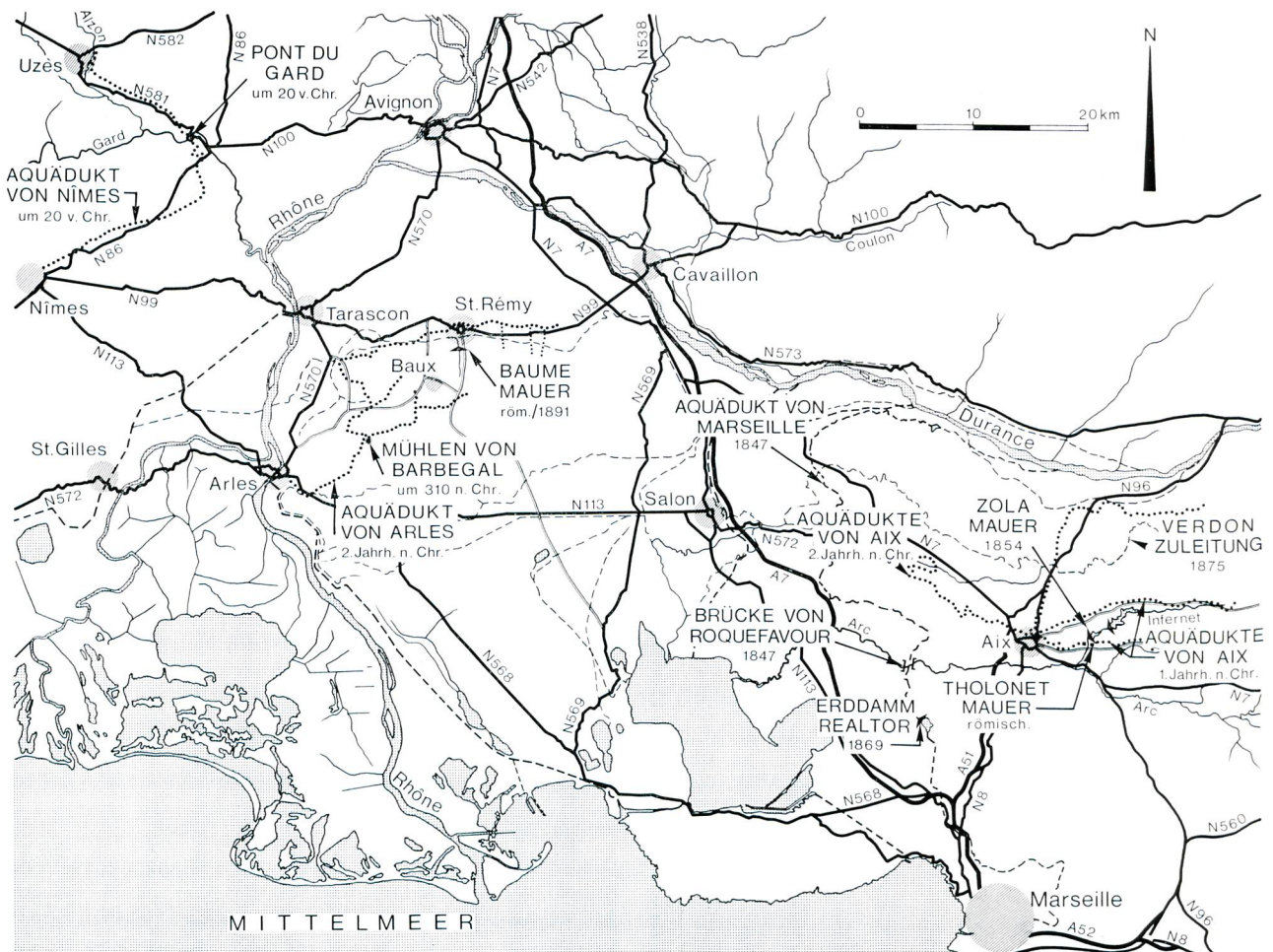


Bild 1 Kartenskizze der Provence in Südost-Frankreich mit Eintragung der behandelten Bauwerke.

und wieder eingedeckt worden, während 2% in Stollen und 5% auf Mauern, Arkaden oder Brücken verliefen (der letztgenannte Anteil betrug auch bei den Aquädukten Roms

nur 11%). Im Querschnitt bestand die Wasserleitung aus einer Betonsohle und gemauerten Wänden und Halbkreisgewölbe. Wie bei andern römischen Aquädukten wies sie

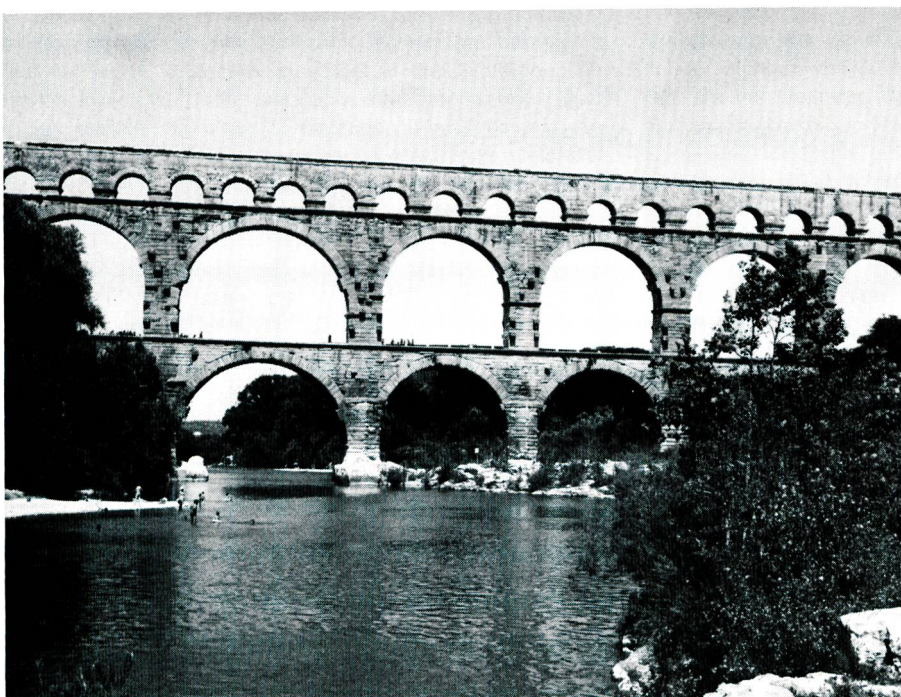


Bild 2 Oberwasserseitige Ansicht des römischen «Pont du Gard» nordöstlich von Nîmes (Höhe 49 m, Länge 275 m, grösste lichte Spannweite 24,5 m).

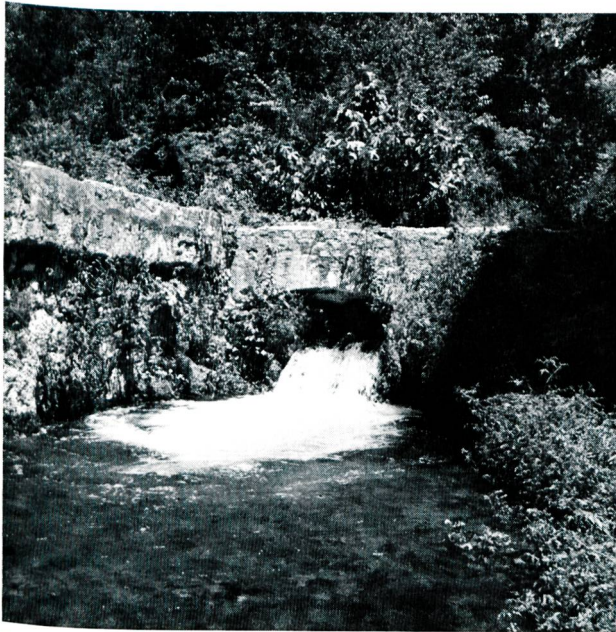


Bild 3 Der Eure unmittelbar nach seiner Quelle östlich von Uzès; links die Anfangsstrecke des römischen Aquäduktes nach Nîmes (die Brücke ist neueren Datums).

zwecks guter Zugänglichkeit und Begehbarkeit eine lichte Höhe von 1,80 m und, abzüglich des wasserdichten Wandputzes, eine Breite von 1,22 m auf. Da jedoch das Längsgefälle der Leitung von 0,07 bis 0,67 ‰ variierte (Mittel: 0,34 ‰), war ihr Querschnitt im allgemeinen hydraulisch schlecht ausgenutzt. In den flachsten Strecken betrug das Schluckvermögen bei Füllung bis an die Gewölbekämpfer rund 500 l/s oder 40 000 m³/Tag, was ungefähr der doppelten Ergiebigkeit der gefassten Quellen entsprach. Letztere vermochten bei der geschätzten Einwohnerzahl von Nemausus von 50 000 einen Tagesverbrauch von 400 l/Kopf zu decken, also nicht viel weniger als heute in den Industriestaaten üblich ist. Die Wasserleitung endete am Nordrand von Nîmes in einem kreisförmigen Verteilbecken (Bild 4).

Bild 4 Das «Castellum divisorium aquae» in Nîmes; im Hintergrund der Einlauf des Aquäduktes in das Rundbecken von etwa 30 m³ Nutzinhalt, vorn einige der zehn Austritte zu den fünf doppelsträngigen Hauptverteilungen.



Der Aquädukt wurde einwandfrei in Betrieb gehalten bis um 400 n. Chr., das heisst, bis zu Beginn der Wirren der Völkerwanderungszeit. In deren Gefolge liess dann der Unterhalt stark nach, so dass sich an den Wänden des Aquäduktes bis zu 47 cm dicke Versinterungskrusten bilden konnten. Während diese oberhalb des Pont du Gard homogen sind, sind sie unterhalb geschichtet, was auf die an ihm, als der bequemsten Stelle, vorgenommenen Zuflussunterbrechungen bei den verschiedenen späteren Kämpfen um Nîmes hinweist. Die Zeitabstände zwischen diesen und die Stärken der einzelnen Sinterschichten lassen sich eng korrelieren, woraus auch geschlossen werden kann, dass der Aquädukt noch bis Mitte des 9. Jahrhunderts in Betrieb stand.

2. Arles

Aehnlich wie Nîmes wurde auch Arles (Arelate) in römischer Zeit von einem grossen Aquädukt reichlich mit Wasser versorgt, das aus dem nordöstlich der Stadt gelegenen, juraähnlichen Alpilles-Gebirge zugeführt wurde (Bild 1). Von besonderem Interesse ist jedoch eine nur etwa 10 km lange, gesonderte Zuleitung aus der Gegend von Les Baux, welche nördlich des Schlosses von Barbegal parallel zum Aquädukt von Arles verlief. Während dieser aber vor dem Kamm der südlichsten Randkette der Alpilles scharf nach Westen umbog, durchstiess ihn die Nebenleitung in einem kurzen Felseinschnitt und trat oben an einem etwa 19 m hohen und 30 Grad geneigten Felsabhang aus. Auf diesem errichtete der Ingenieur Quintus Candidius Benignus auf Geheiss des von 308 bis 316 n. Chr. in Arles residierenden Kaisers Konstantin des Grossen einen, sowohl in der Antike als auch lange Zeit darnach, einmalig gebliebenen Komplex von hydraulisch angetriebenen Mühlen [3].

Die vollständig überdachte Anlage von 20 m Breite und 61 m Länge bestand aus einer zentralen Treppenflucht, an der beidseitig je acht Mahlstuben lagen (Bilder 5 und 6). Entlang den beiden Aussenseiten befanden sich, in Stufen untereinander angeordnet, ebensoviele Wasserradkammern. Die

Bild 5 Oestliche Hälfte des spätrömischen Mühlenkomplexes von Barbegal, 8 km nordöstlich von Arles; ganz oben am Horizont der Felseinschnitt zwischen Triebwasserzuleitung und Verteilbecken; rechts drei der in Stufen untereinander angeordneten Wasserradkammern, an die links die Mahlstuben anschlossen.



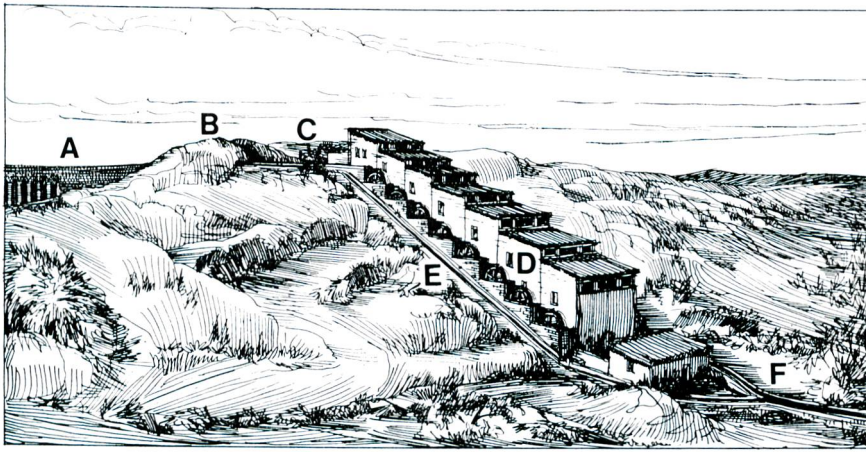


Bild 6
Rekonstruktion des Mühlenkomplexes von Barbegal:
A = Aquädukt, B = Felseinschnitt, C = Verteilbecken, D = Wasserräder, E = Leerschuss und F = Unterwasserkanal (von T. A. Greeves).

Wasserverteilung auf die zwei Reihen von Wasserrädern erfolgte mittels eines auch der Ausgleichung von Zuflussschwankungen dienenden Vorbeckens am oberen Ende der Anlage, dort wo der Aquädukt aus dem Felseinschnitt trat. Jedes der horizontalachsigen Wasserräder lief in einer Kammer von unterschiedlicher Länge, aber genau je 2,60 m gegenseitigem Höhenunterschied. Die Räder wiesen einen Durchmesser von 2,20 m und eine Breite von etwa 0,70 m auf. Von einer Kammer zur andern wurde das Wasser mittels 35 cm breiten und 25 cm tiefen Holzrinnen von oben her auf die in Fließrichtung drehenden Räder geleitet. Der «Ausbaudurchfluss» dürfte somit für beide Räderreihen zusammen 240 l/s betragen haben, was bei der Gesamthöhe von 20,80 m und unter Annahme eines Wirkungsgrades von 60 % eine hydraulische Leistung der Anlage von etwa 40 PS ergibt.

Von den Wasserrädern wurde die Kraft mittels auf der gleichen Welle sitzender Kammräder auf vertikalachsige Treibstockräder übertragen, welche die teils unter, teils über diesen Getrieben liegenden Mühlen bewegten. Diese bestanden aus einem konvexen Bodenstein von etwa 90 cm Durchmesser und einem gleich grossen, konkaven Läufer. In der Mitte des letzteren wurde das Getreide eingegeben,

während das Mehl am Umfang des Spaltes zwischen den beiden Steinen anfiel. Die gesamte Mehlproduktion der Anlage ist auf 300 kg/h geschätzt worden. Heute könnte man unter denselben Gegebenheiten auf hydroelektrischem Wege 1000 kg/h erzeugen.

Bereits ein Jahrhundert nach seiner Erstellung fiel ebenfalls dieses Denkmal römischer Ingenieurkunst den Wirren der Völkerwanderung zum Opfer. Es war aber auch ein typisches Kind der Spätzeit des römischen Reiches gewesen, sowohl als Krönung der im ersten vorchristlichen Jahrhundert begonnenen Entwicklung von Wasserrädern wie auch als Frucht des zunehmenden Mangels an Arbeitskraft und der humaneren Einstellung zu derselben, welche dem konzentrierten Einsatz aller verfügbaren technischen Mittel riefen. Mit der Massierung von sechzehn Wasserrädern an einer topographisch günstigen Stelle und der Erstellung einer langen Triebwasserzuleitung ausschliesslich zu deren Betrieb, stellt die Anlage von Barbegal jedoch auch den ältesten Vorläufer des modernen Wasserkraftwerkes dar. Aus dem Mittelalter ist als Vorläufer in diesem Sinne nur der Komplex von zehn Wassermühlen am Kur südwestlich von Persepolis in Iran bekannt, welcher

Bild 7 Die wasserseits des linken Kronenendes der Staumauer von 1891 im Vallon de Baume südlich von Saint-Rémy noch sichtbaren Teile der Fundamentschlitz einer römischen Bogenstaumauer.



Bild 8 Anfangsstrecke des Felseinschnittes im Vallon de Baume für den römischen Aquädukt nach Glanum (Saint-Rémy); darunter links und in Bildmitte (mit Mauerwerk gefüllt) zwei der Fundamentnischen für das Gerüst, auf dem der Aquädukt in einer ersten Phase geführt worden war.

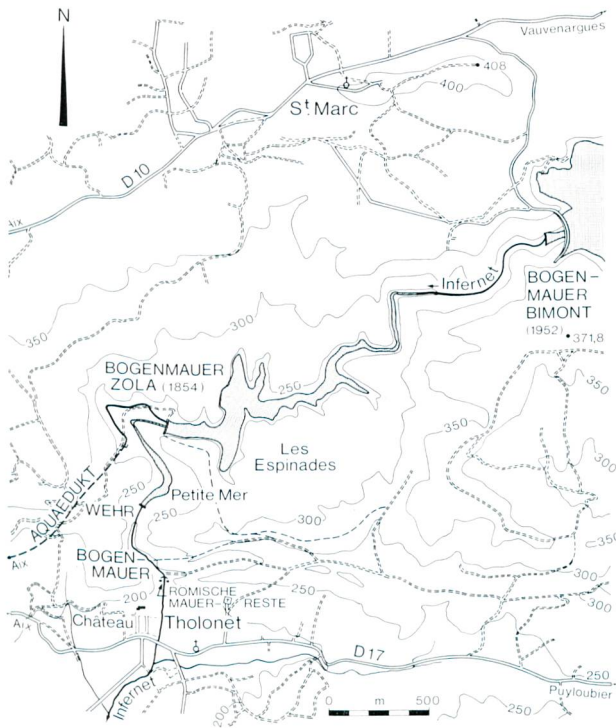


Bild 9 Kartenskizze der Schlucht des Infernet oder Cause nördlich von Tholonet bei Aix-en-Provence, mit Eintragung der Wasserbauten verschiedener Epochen.

aus dem Stau der Gewichtsmauer Amir über beidseitige, kurze Hangkanäle gespiesen wurde (um 980 n. Chr.). Weitere solche «Talsperrenkraftwerke», diesmal mit Anordnung der Mühlen unmittelbar am Staumauerfuss, entstanden später in Castellar (um 1500) und bei Feria (1747) in der Umgebung von Zafrá in Südwest-Spanien. Den Höhepunkt solcher vorindustrieller Wasserkraftwerke stellte zweifellos die 1684 von Ludwig XIV. eingeweihte «Maschine» von Marly westlich von Paris dar, welche etwa 40 l/s aus der Seine in einen 162 m höher gelegenen Aquädukt zum Schloss von Versailles förderte und von 14 Wasserrädern von 12 m Durchmesser angetrieben wurde.

3. Saint-Rémy de Provence

Die kleineren römischen Wasserversorgungen in der Gegend von Saint-Rémy (Glanum) am Nordrand der Alpilles wiesen als besonderes Merkmal einige Talsperrenbauten auf. Am grössten und interessantesten muss diejenige im Vallon de Baume (Bild 1) gewesen sein [4], obschon durch den Bau einer 13 m hohen und 22 m langen Bogengewichtsmauer im Jahre 1891 ihre Reste nahezu ganz verdeckt wurden. Diese waren aber glücklicherweise im 18. Jahrhundert von einem Avignoner Gelehrten aufgenommen worden, und dessen Skizzen zeigen, dass die römische Talsperre etwa gleich hoch wie die moderne und im Grundriss ebenfalls gebogen war. Damit läge hier die erste bekannte Bogenstaumauer der Welt vor [5]! Dass es die Römer gewesen sind, die diese Neuerung in den erheblich älteren Talsperrenbau [6] eingeführt haben, erscheint plausibel, haben sie doch auch, wie vorstehend durch den Pont du Gard exemplifiziert, der Gewölbekunst im allgemeinen erst so recht zum Durchbruch verholfen. Und dass ihnen die statische Wirkungsweise selbst einer Bogenstaumauer nicht unbekannt war, zeigt ein allerdings einige Jahrhunderte jüngerer Zitat des Prokopius von Caesarea. Dieser berich-

tet nämlich in seinen «Bauwerken» (2. Buch, 3. Kapitel), dass Chryses von Alexandria die im Auftrag von Kaiser Justinian I. (527—565 n. Chr.) an der syrisch-türkischen Grenze erstellte Talsperre von Dara «... nicht geradlinig (baute), sondern in der Form eines Halbmondes, auf dass ihr Bogen, der gegen die Wasserströmung gekehrt war, besser im Stande sei, deren Gewalt zu widerstehen.»

Bei den Resten der römischen Bogenstaumauer im Vallon de Baume handelte es sich im wesentlichen um zwei parallele Fundamentschlitze an beiden Talflanken, von denen der wasserseitige 1,3 m und der luftseitige 1,0 m breit waren. Ihr Zwischenraum betrug 1,5 bis 1,7 m (Bild 7). Demnach bestand die wohl zylindrische Talsperre aus zwei Mauern mit einer Zwischenfüllung (Dichtung?) aus Erde und Lehm, wie dies zum Beispiel auch bei den römischen Staumauern von Orúkaya und Cavdarhisar in der Türkei [7] der Fall gewesen war. Die Hochwasserableitung muss über die Mauerkrone erfolgt sein, während der aus einem Bleirohr von zirka 20 cm Durchmesser bestehende Aquädukt nach dem nur wenige hundert Meter entfernten Glanum 6 m über dem Bachbett, das heisst, etwa auf halber Mauerhöhe, ansetzte. In einer ersten Phase ruhte diese Leitung auf einem hölzernen oder gemauerten Gerüst, dessen Fundamentnischen in der rechten Schluchtwand unterhalb der Sperrstelle noch gut erkennbar sind (Bild 8). Später muss ein Teil der Leitung auf einen über den Fundamentnischen verlaufenden Felseinschnitt verlegt worden sein, welcher heute, mit einem Geländer versehen, als Zugang zur Staumauer von 1891 dient.

4. Aix-en-Provence

Fälschlicherweise oft als Talsperre bezeichnet werden (zum Beispiel A. Grenier [1] und Kartenblatt 1:20 000) die mächtigen römischen Mauerreste am Ausgang der Schlucht des Infernet oder Cause bei Tholonet, östlich von Aix-en-Provence (Bilder 9 und 10). Sicher hätten die sehr wahrscheinlich über keine statischen Berechnungsmethoden, dafür aber über ein um so feineres konstruktives Empfinden verfügenden römischen Ingenieure eine ab Talsohle rund 30 m hohe und 35 m weit gespannte, geradlinige Mauer nicht nur

Bild 10 Römische Mauerreste am Ausgang der Infernet-Schlucht bei Tholonet.





Bild 11 Ruine einer kleinen Bogenstaumauer unbestimmten Alters unmittelbar oberwasserseitig der römischen Mauer von Tholonet; ganz links ein intakter Mauerdurchlass, in Bildmitte die stehengebliebene Hälfte eines solchen.

etwa 2 m dick gemacht, wenn sie als Talsperre hätte dienen sollen. Zudem versehen sie die Mauer systematisch mit durchgehenden Drainageöffnungen. Es muss sich also eindeutig um ein Ueberführungsbauwerk gehandelt haben für den von St. Antonin-sur-Bayon kommenden Aquädukt (Bild 1) nach Aix (Aquae Sextiae) [1], wobei die eigentliche Wasserrinne entlang der Mauerkrone heute verschwunden ist. Ebenso ist der auf unbestimmter Höhe angeordnet gewesene Durchlassbogen eingestürzt oder zerstört worden, wobei er den Mittelteil der Mauer mit in die Tiefe riss.

Ueberbleibsel einer kleinen gebogenen Staumauer sind hingegen an der Oberkante des rund 15 m hohen Wasserfalles erkennbar, welcher unmittelbar oberhalb der römischen Mauerreste liegt und der Wasserversorgung für das Schloss von Tholonet diente (Bild 11). Dieses Bauwerk scheint, wie das 400 m flussaufwärts die «Petite mer» aufstauende Wehr (Bild 12), neueren Datums zu sein. So unbedeutend sie sind, so stellen diese Ruinen doch zwei der seltenen Zeugen dar für die fast zum Stillstand gekommene wasserbauliche Tätigkeit in der Provence zwischen der römischen Zeit und der Neuzeit. Bis auf wenige Ausnahmen, wie zum Beispiel die Verbreitung der Wasserräder, galt dies ja für den ganzen europäischen Raum. So wurde in der Wasserversorgungstechnik der qualitative und quantitative Stand der Römer erst wieder im 19. Jahrhundert erreicht.

Ins letzte Jahrhundert fällt auch die Wiederbelebung des Wasserbaus in der Provence, der seitdem sowohl in der Wasserversorgung wie auch in Bewässerung, Hochwasserschutz und hydroelektrischer Kraftnutzung riesige Ausmasse angenommen hat. Dabei fand eine der hervorragendsten Pioniertaten wiederum am Infernet statt: der Bau der ersten modernen Bogenstaumauer (Bild 13)! Nicht dass es sich, wie man gelegentlich liest, um die erste Staumauer dieses Typs der Neuzeit gehandelt hätte. Diese Auszeichnung verdienen wohl die aus dem 14. Jahrhundert stammende Bogensperre Kebar [5] und jüngere ähnliche Bauwerke in Iran, von denen über die islamische Kulturbrücke gewisse Impulse ausgegangen sein mögen für die Ende des 16. Jahrhunderts in Südost-Spanien entstandenen

gebogenen Gewichtsstaumauern Almansa und Tibi, sowie die recht reine Bogenstaumauer Elche. Als weitere Vorgänger wären ferner zu nennen Jones Falls in Ontario/Kanada (1832) und Ponte Alto bei Trento in Italien (1611 begonnen). Die letztgenannte Sperre mag dem Erbauer der Bogenstaumauer am Infernet, François A. Zola [8], dem Vater des berühmten Schriftstellers Emile Zola (1840 bis 1902), persönlich bekannt gewesen sein, war er doch als Sohn dalmatinisch-griechischer Eltern 1795 in Venedig geboren und Anfang der zwanziger Jahre an einem Bahnbau bei Linz in Oesterreich tätig gewesen. Gerade um diese Zeit erfolgten die dritte und vierte Erhöhung der Ponte-Alto-Mauer auf 25 m oder 63 % ihrer 1887 erreichten Endhöhe.

Einige Jahre nach seiner Niederlassung in Marseille beteiligte sich Zola 1837 an einem Wettbewerb, welchen die Stadtverwaltung von Aix nach Zerschlagung der Bemühungen um eine gemeinsame Wasserversorgung mit Marseille ausschrieb, um neue Projekte für die weitere Wasserbeschaffung zu erlangen. Während sein Konkurrent einen 100 km langen, 1875 dann gebauten Aquädukt vom Verdon vorschlug, trat Zola für die Nutzung des nur 7 km entfernten, aber wasserärmeren Infernet ein. Um die Abflussschwankungen auszugleichen und so das jährliche Wasserdargebot maximal auszunützen, sah er drei Speicher in Serie vor, die alle durch Bogenstaumauern gebildet werden sollten. Eine davon war die hier behandelte, derweil eine weitere, die oberliegende Sperre Bimont, erst hundert Jahre später im Rahmen einer Erweiterung des Verdon-Aquäduktes gebaut wurde.

Neben der in die Zukunft weisenden Gesamtkonzeption lag die Modernität des Staumauerprojektes von Zola vor allem darin, dass es erstmals auf einer statischen Berechnung beruhte. Diese ging von unabhängigen Horizontalbogen aus, doch zeigt auch eine Nachrechnung mit einschrittigem Lastausgleich befriedigende Resultate, im besonderen was die Verteilung der vertikalen Spannungen anbelangt (Bild 14). Vor allem der untere Mauerteil würde heute natürlich stärker gekrümmt durch Verminderung der Bogenradien von der Krone an abwärts. In Anbetracht der noch rudimentären statischen Untersuchungsmöglichkeiten

Bild 12 Ueberbleibsel des die «Petite mer» am Infernet aufstauenden, etwa 3 m hohen Wehres aus dem 17. oder 18. Jahrhundert; die Pfeiler mit Dammbalkennuten sind etwa 40 cm hoch.



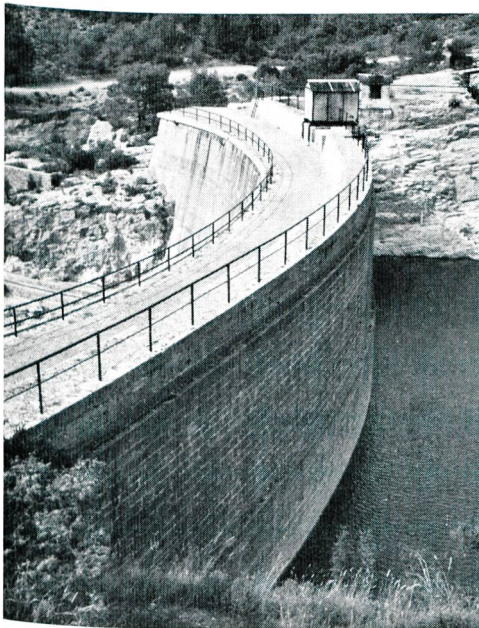


Bild 13 Die 1854 fertiggestellte Bogenstaumauer Zola am Infernet (Höhe 42 m, Kronenlänge 66 m, Mauerwerksvolumen 7500 m³, Stauhinhalt 2,5 Mio m³); rechts im Hintergrund der Einlauf zur Hochwasserentlastungsanlage.

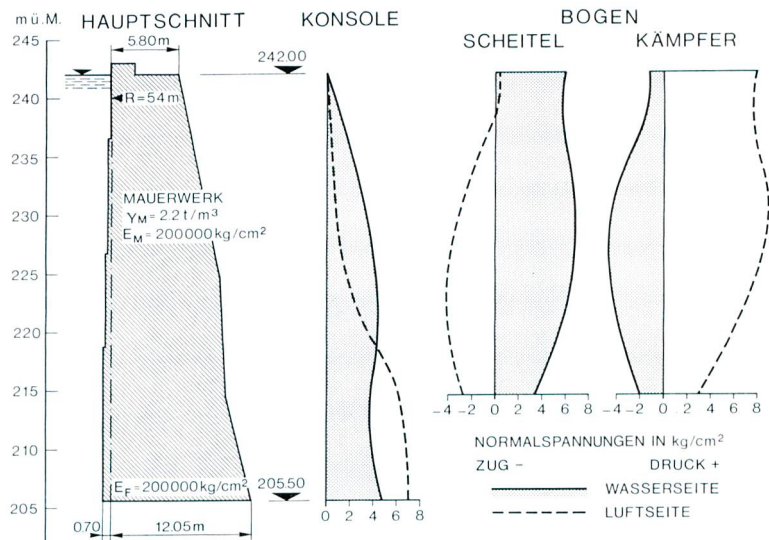


Bild 14 Hauptschnitt und Normalspannungen unter Eigengewicht und Wasserdruck für die Bogenstaumauer Zola am Infernet.

eher gewagt erscheint, wie Zola rechtsufrig die obersten 4 m der Mauer, ohne das geringste künstliche Widerlager, ins Leere stossen liess (Bild 13). Heute wissen wir, dass dies dank einer selbsttätigen Korrektur durch lokale Spannungsumlagerungen durchaus zulässig ist.

Volle zehn Jahre dauerte der Kampf um das Infernet-Projekt und die Erlangung aller erforderlichen Bewilligungen. Anfang 1847 konnte dann Zola endlich den ersten Pikkelschlag an der Sperrstelle führen, doch überlebte er diesen Tag um nur knapp zwei Monate. Die führerlos gewordenen Arbeiten gerieten alsbald ins Stocken und die von Zola gebildete Aktiengesellschaft unter den Hammer. Erst weitere sieben Jahre später wurde 1854 das bahnbrechende Werk vollendet und erstmals Wasser in den noch 250 l/s,

statt wie von Zola geplant 1500 l/s schluckenden Aquädukt nach Aix geleitet.

Inzwischen hatte die Stadt Marseille ihre eigene, 90 km lange und 12 m³/s fördernde Wasserzuleitung von der Durance erstellt (Bild 1). Der imposanteste Einzelteil derselben ist die Brücke über den Arc bei Roquefavour, 10 km westlich von Aix [9] (Bild 15). Diese erforderte 66 000 m³ Mauerwerk, wovon 50 000 m³ Quadersteine von bis zu 15 t Einzelgewicht. Angesichts solcher Ausmasse traten die beauftragten Bauunternehmungen nach dem ersten Baujahr von ihrem Vertrag zurück. Der damals erst 32jährige Projektverfasser und Bauleiter für den ganzen Aquädukt, M. de Montricher, musste darauf auch noch die Ausführung seiner Brücke in Regie übernehmen. Nach fünf Jahren hatte

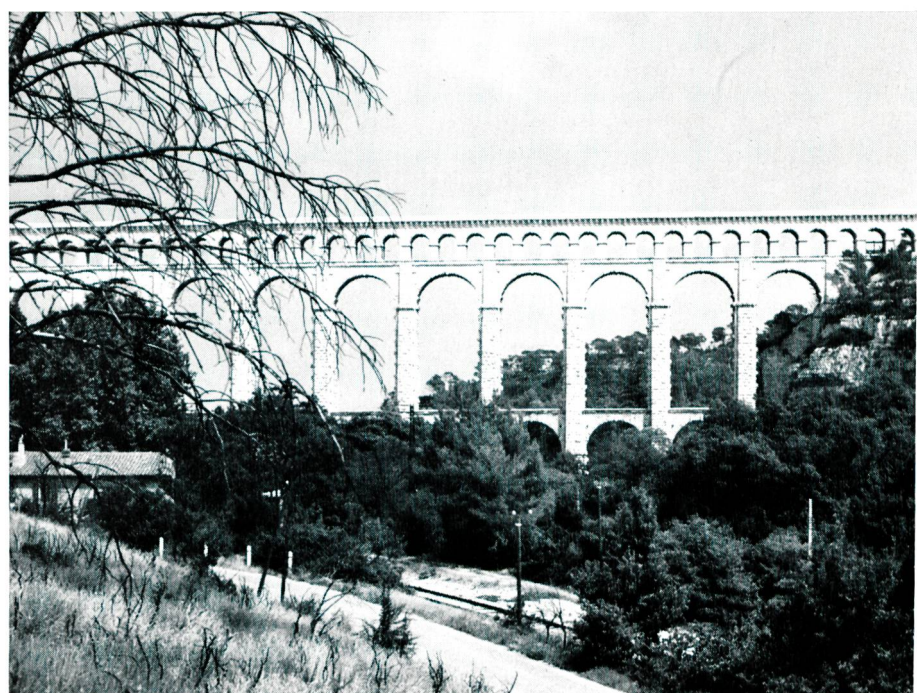


Bild 15 Die Brücke von Roquefavour westlich von Aix-en-Provence für den 1847 in Betrieb genommenen Aquädukt von der Durance nach Marseille (Höhe 83 m, Länge 400 m, grösste lichte Spannweite 16 m).

er es 1847 geschafft und dazu ohne einen schwerwiegenden Unfall! Doch wie der Vergleich der Bilder 2 und 15 zeigt, ist es ihm, trotz (oder wegen?) fortgeschrittenerer statischer Kenntnisse und entsprechend besserer Materialausnutzung, nicht gelungen, ein auch ästhetisch so befriedigendes Bauwerk zu erstellen, wie seine römischen Vorgänger am Pont du Gard neunzehn Jahrhunderte zuvor.

LITERATURHINWEISE

1. A. Grenier: Manuel d'archéologie gallo-romaine, partie IV; les monuments des eaux, tome I. A. et J. Picard & Cie., Paris 1960.
2. E. Espérandieu: Le pont du Gard et l'aqueduc de Nîmes. H. Laurens, Paris 1968.
3. F. Benoit: L'usine de meunerie hydraulique de Barbegal (Arles). «Revue archéologique» 1940, p. 19—80.
C. L. Sagui: La meunerie de Barbegal et les roues hydrauliques chez les anciens et au moyen âge. «Isis» 1947, p. 225—231 (Die von

Adresse des Verfassers:
Niklaus Schnitter, dipl. Ing.
Höhenweg 21, 5415 Nussbaumen

- Sagui ermittelte Fördermenge der Zuleitung von 1000 l/s erscheint zu hoch und stimmt nicht mit dem aus den Abmessungen der Holzrinnen vor den Wasserrädern nach der Theorie des breitkronigen Ueberfalls berechenbaren Durchfluss überein. Auch die übrigen Kritiken am Grundartikel von Benoit überzeugen nicht.)
4. F. Benoit: Le barrage et l'aqueduc romains de Saint-Rémy de Provence. «Revue des études anciennes» 1935, p. 332—340.
 5. H. Goblot: Sur quelques barrages anciens et la genèse des barrages-voûtes. «Revue d'histoire des sciences» 1967, p. 109—140.
 6. N. Schnitter: Skizze zur Geschichte des Talsperrenbaus. «Schweizerische Bauzeitung» 1965, p. 781—785 (siehe auch «Water Power» 1967, p. 142—148 und das, leider den Fernen Osten nicht behandelnde, Buch von N. Smith: A History of Dams. P. Davies, London 1971).
 7. H. Stark: Geologische und technische Beobachtungen an alten anatolischen Talsperren. «Die Wasserwirtschaft» 1957/58, p. 16—19.
 8. J. Rigaud: L'ingénieur François Zola, sa famille, sa vie et son œuvre. Académie, Aix-en-Provence 1957.
 9. Société des eaux de Marseille: L'aqueduc de Roquefavour. Unveröffentlicht.

BILDERNACHWEIS:
Photos N. Schnitter: Bilder 2 bis 5, 7, 8, 10, 11, 13 und 15
Photo H. Goblot, Paris: Bild 12

STUDIENREISE IM SÜDLICHEN AFRIKA

Eduard Gruner

DK (079.3) (68)

Einer Einladung der Nationalkomitees für Grosse Talsperren von Südafrika und Rhodesien folgend, unternahmen Mitglieder des Oesterreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, nebst Gästen aus der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland, insgesamt 36 Personen, unter der Leitung von Dr. Roland Bucksch, dem Geschäftsführer dieses Verbandes, im Oktober/November 1971 eine Studienreise durch das südliche Afrika.

In diesem niederschlags- und abflussarmen Gebiet zwingt das Wachstum der Bevölkerung und der Aufbau der Industrie zum Haushalten mit dem gesamten Wasserdar-

gebot und zur Planung der Versorgung mit technischen Mitteln. Die besuchten Anlagen boten einen Querschnitt durch die mannigfaltigen wasserwirtschaftlichen Probleme, vom Hochwasserschutz über die munizipale Wasserversorgung bis zur Ueberjahresspeicherung für Bewässerung und Kraftgewinnung. Die Niederschläge im südlichen Afrika werden durch die Strömungen am Ufer des Kontinents und die Passatwinde bestimmt. Der warme Mozambikstrom im Osten speist die Luft mit Feuchtigkeit, die in den Drachensbergen bis zu 2000 Millimeter Niederschlag ergibt. Die dahinter liegenden Hochebenen des Karroo und

Bild 1
Paul Sauer Gewölbesperre am Kougha Fluss, im Betrieb seit 1970. Höhe 95 m, Kronenlänge 305 m, Beckeninhalte 132 Mio m³, installierte Leistung 5200 kVA. Der Speicher dient zur Bewässerung von Zitruspflanzungen im Gamtoostal und der Wasserversorgung von Port Elizabeth.

