Altgriechischer Wasserbau: Grosswasserbauten aus zwei Jahrtausenden vor Christus

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 24

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75478

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

und andern Gütern kaufen. Diese Mehrnachfrage schafft anstelle der wegrationalisierten Arbeitsplätze neue Stellen. Gesamtwirtschaftlich erfolgt eine Umschichtung, jedoch kein Verlust von Arbeitsplätzen.

Dritte Möglichkeit: Die Güter werden nicht billiger, aber die Gesamtsumme an Einkommen (Löhne und Gewinne) in den betreffenden Firmen steigt. Wie im zweiten Fall entspringt daraus mehr Kaufkraft und Nachfrage; die wegrationalisierten Arbeitsplätze entstehen anderswo in der Wirtschaft neu.

Vierte Alternative: Die Arbeitszeit in jenen Betrieben wird im Umfang der Produktivitätssteigerung für alle dort Beschäftigten gekürzt. Wiederum gibt es keine Arbeitslosen.

In Wirklichkeit kommen alle vier Möglichkeiten miteinander vor. Im Laufe der Generationen hat sich die Zahl der angebotenen Güter immer weiter ausgebreitet, die Arbeitszeit ist gesunken, die Reallöhne sind gestiegen und die realen Preise haben abgenommen – man muss heute für den Kauf eines Paars Schuhe oder für ein Auto viel weniger lang arbeiten als vor 20 oder gar 50 Jahren. Das wird in Zukunft nicht anders sein, auch die Mikroelektronik wird keine Ausnahme machen.

Freilich gilt das nur in langer Sicht. Kurzfristig kommt es jedoch vor, dass erstens nicht alle neue Kaufkraft nachfragewirksam, sondern zum Teil auf die Seite gelegt wird, in den Banken liegenbleibt oder ins Ausland fliesst, weil das inländische Investitionsklima konjunkturell oder wegen hoher Zinsen und Steuern schlecht ist. Zweitens verläuft der strukturelle Umschichtungsprozess keineswegs reibungslos. Er wird durch Protektionismus und Strukturerhaltungsmassnahmen gebremst, die Lohnstrukturen sind zu wenig flexibel, und die Arbeitslosengelder fliessen vielleicht zu reichlich, so dass die Arbeitskräfte zu wenig rasch aus den nicht mehr so produktiven in die produktiveren Firmen umgeleitet werden. Die Umschulung geht zu langsam vor sich – es gibt deshalb Arbeitslose und Arbeitskräftemangel zugleich. Alle diese Anpassungsprobleme sind um so grösser, je tiefgreifender und rascher eine technische Umwälzung ist, und das gilt für die Mikroelektronik zweifellos.

Hinzu kommen heute weitere Ursachen von Arbeitslosigkeit, die mit dem technischen Fortschritt nichts zu tun haben, so z. B. das Konjunkturtief im Gefolge der Erdölpreisschocks und der hohen Überschuldung der Entwicklungsländer.

Die Aufzählung ist unvollständig, aber sie zeigt klar, wo die Hebel anzusetzen sind, um die heutige Arbeitslosigkeit zu überwinden: Nicht indem man gegen die Innovationen Sturm läuft, sondern indem man die Anpassungsfähigkeit der Wirtschaft erhöht. Die Zahl der Arbeitslosen in der Schweiz ist nicht nur deshalb gering, weil wir seinerzeit viele Gastarbeiter nach Hause schickten, sondern weil unsere Wirtschaft dank der guten Rahmenbedingungen und der im allgemeinen beachtlichen Innovationstätigkeit besonders elastisch und anpassungsfähig ist.

Wir müssen Sorge tragen, dass es dabei bleibt!

Nach einem Vortrag vom 30. Januar 1984 im Rahmen des Weiterbildungskurses der FII, Fachgruppe der Ingenieure der Industrie des SIA

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *A. Nydegger*, Schweizerisches Institut für Aussenwirtschafts-, Struktur- und Regionalforschung an der Hochschule St. Gallen, Dufourstr. 48, 9000 St. Gallen.

Altgriechischer Wasserbau

Grosswasserbauten aus zwei Jahrtausenden vor Christus

Von Niklaus J. Schnitter, Baden

Die Wasserversorgung war den Griechen der Antike wichtig. Für Paläste und befestigte Städte schufen sie Wasserversorgungsanlagen von grossem Ausmass, obschon nur einfachste Mittel zur Verfügung standen.
Beachtliche Kanäle und Dammbauten dienten der Entwässerung zum Gewinn von Landwirtschaftsland oder der Flussumlenkung zum Schutz vor Hochwassern. Frühe Versuche, den Isthmus von Korinth für die Schiffahrt zu durchstechen, überstiegen die damaligen technischen Möglichkeiten.
In die Praxis der altgriechischen Wasserbautechnik scheinen die Erkenntnisse der Naturwissenschaftler kaum Eingang gefunden zu haben.

Helladische Periode

Wie die Ursprünge der Geschichte der Hellenen im allgemeinen, sind auch die Anfänge ihrer Technik und die ihres Wasserbaus im speziellen in Mythen und Sagen gehüllt. Vorweg ist an den athenischen Baumeister Daidalos zu erinnern, der einen zu brillanten Schüler aus Neid ermordete und zu König Minos nach Kreta floh, wo er das sagenumwobene Labyrinth für den furchtbaren Minotaurus anlegte – wohl ein Teil der Paläste von Knossos an der Nordküste der Insel (Bild 1) [1]. Doch auch auf Kreta hielt es ihn nicht lange, und er entfloh – sein berühmter Flug kostete seinem vorwitzigen Sohn Ikaros das Leben – nach Sizilien. Daselbst verbrachte er seinen Lebensabend und erstellte nebst anderen Bauten auch einen Stausee.

Daidalos kann mit Fug als der erste namentlich bekannte griechische Wasserbauer bezeichnet werden. Aus seiner Zeit, d.h. dem Beginn des 2. Jahrtausends vor Chr., stammen die ersten Wasserzuleitungen in Knossos (Bild 2), welche die bislang üblichen Sodbrunnen ergänzten oder ersetzten [2]. Die auch für Entwässerungen verwendeten Tonrohre wiesen einen in Fliessrichtung abnehmenden Aussendurchmesser auf, so dass sie leicht ineinandergesteckt werden konnten bis zu den nahe ihrem dünneren Ende angebrachten und mit einer Dichtung aus Ton oder Mörtel versehenen Kragen (Bild 2 Mitte). Einen rechteckigen Innenquerschnitt, ähnlich wie die Hauptentwässerungen im Palast (Bild 2 rechts), hatte hingegen der trocken gemauerte und mit grossen Steinplatten gedeckte Zuleitkanal von der rund 800 m westlich von Knossos gelegenen, noch heute geschätzten Mavrokolybo-Quelle (Bild 2 links).

Da die Leitung nach einer fallenden Strecke wieder zum Palast hin anstieg, muss sie mindestens teilweise unter Druck gestanden haben. Dass die Minoer bereits Druckleitungen kannten, bezeugt auch die Darstellung eines Springbrunnens auf einem Fresko aus dem 16. Jahrhundert vor Chr.

Zu jener Zeit, in der auf dem griechischen Festland die ersten Hochkultu-

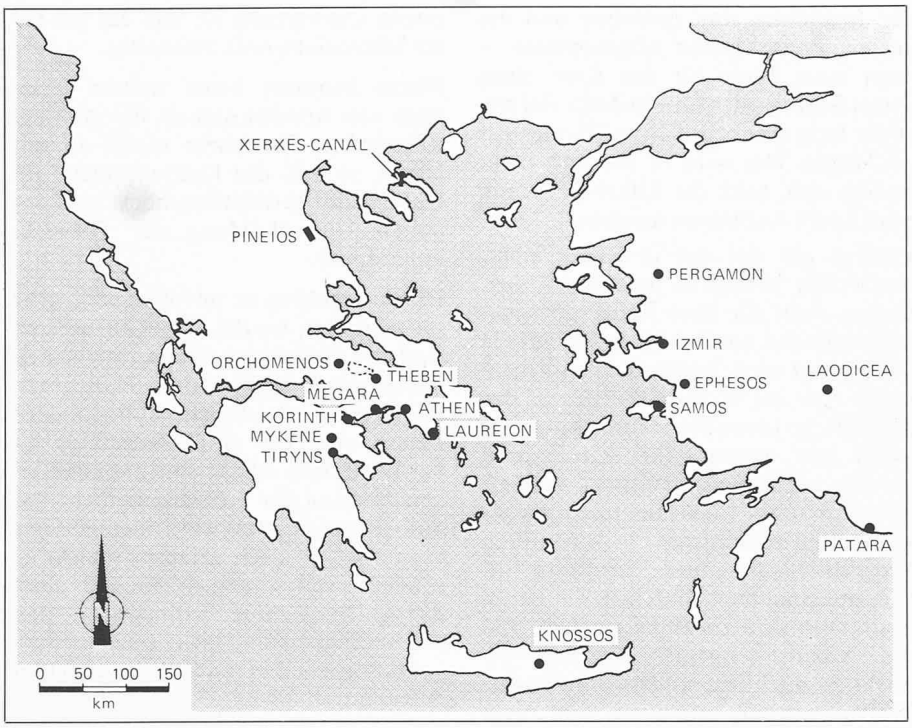


Bild 1. Karte mit den im Text genannten Orten (ohne Italien)

Bild 2. Gleichmassstäbliche Schnitte der Mavrokolybo-Zuleitung zu den minoischen Palästen von Knossos auf Kreta (links), eines der Tonrohre in denselben (Mitte) und der Hauptentwässerung (rechts) (aus [2])

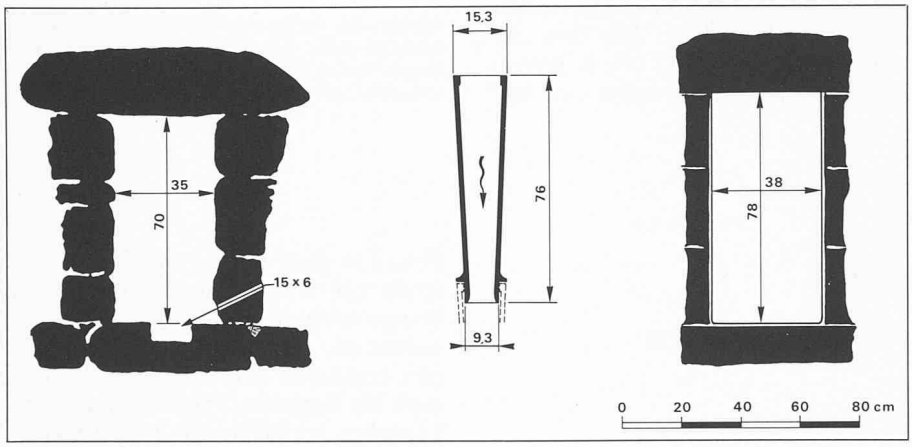
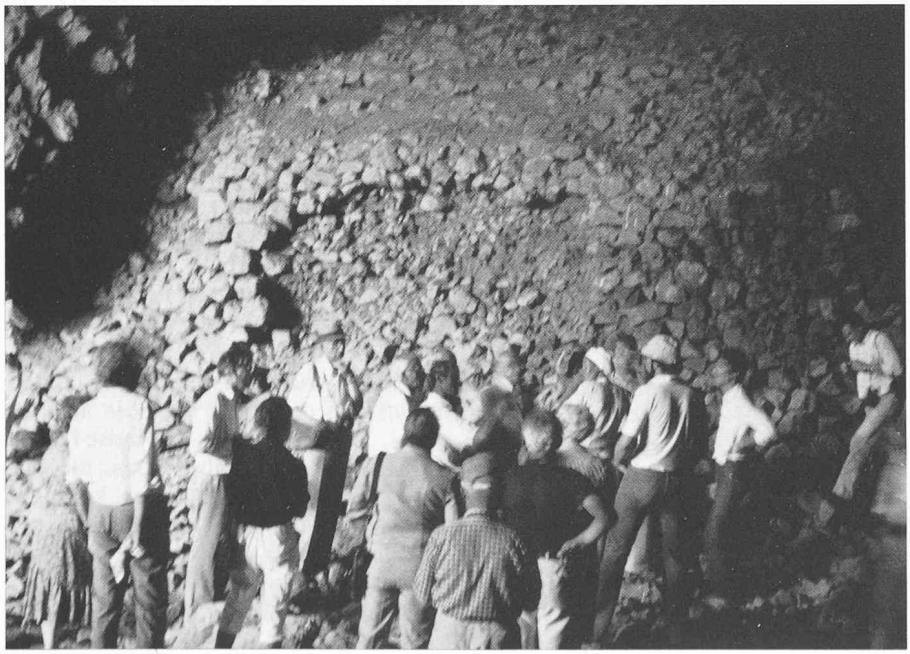


Bild 3. Minyische Ausmauerung im unterirdischen Ausfluss des Kopaissees bei Neon Kokkinon (Foto des Autors)



ren entstanden, wirkte auch der sagenhafte Zeus-Sohn Herakles [1]. Sein leiblicher Vater war König von Tiryns, das wie Mykene in der Argolis im Nordosten der Peloponnes lag, doch lebte er in Theben, 50 km nordwestlich von Athen. Dort wuchs Herakles auf und leitete als eine seiner ersten Heldentaten einen Feldzug gegen Orchomenos, die Hauptstadt der Minyer auf der entgegengesetzten, nordwestlichen Seite des Kopaissees. An diesem, heute trockengelegten, grossen Binnengewässer ohne oberirdischen Abfluss hatten die Minyer um 1500 vor Chr. einige Wasserbauten unternommen [3]. So mauerten sie in den zum Teil geräumigen, unterirdischen Abflüssen, den Katavothren, bei Neon Kokkinon und Binia Unregelmässigkeiten in der natürlichen Felsauswaschung mit bis zu 6 m dicken Trockenmauern aus, um den Abfluss zu beschleunigen (Bild 3). Den Einlauf zur grossen Katavothre bei Neon Kokkinon sicherten sie zudem mit einer Befestigung, was die Bedeutung unterstreicht, die sie der Abflusskontrolle zumassen. Herakles soll denn auch anlässlich seines erwähnten Feldzugs die Katavothren verstopft haben. Ferner scheint der 10 km lange und 2 m breite Strassendeich, der von Orchomenos nach Osten führte, auch der Trockenlegung des nordwestlichsten Teiles des Kopaissees gedient zu haben.

Wasserbauten dieser Art zielten offensichtlich weit über eine einfache Nutzung des natürlichen Wasserdargebotes hinaus und bezweckten eine Veränderung der Naturgegebenheiten, meist als Schutzmassnahme. Eine solche war auch die im 13. Jahrhundert vor Chr. vorgenommene Umleitung des Flusses Lakissa, der Tiryns mit seinen Hochwassern bedrohte, mittels eines Damm- und Kanalbaus bei Kofini, etwa 8 km östlich der mykenischen Burg [4, 5]. Der Umleitdamm war etwa 10 m hoch und 100 m lang. Er bestand aus einer teilweise stark überdimensionierten Erdschüttung zwischen beidseitigen Fussmauern aus Quadermauerwerk (Bild 4). Der Ableitkanal zu einem etwa 3 km südwestlich verlaufenden andern Fluss muss, dem Einlauf beim Umleitdamm nach zu urteilen, bis 65 m breit und 10 m tief gewesen sein. Das Werk erinnert stark an die Lösung, die Herakles für die ihm vom König von Mykene und Herrscher über Tiryns als fünfte Arbeit aufgetragene Ausmistung des Augiasstalles fand, durch welchen hindurch er kurzerhand einen Fluss umleitete. Auch hinter anderen der berühmten zwölf Arbeiten des Herakles hat man schon Ingenieurleistungen vermutet, doch in keinem anderen Fall erscheint der historische Hintergrund so greifbar [6].

Etwa zur gleichen Zeit erhielten die Burgfelsen von Mykene, Tiryns und Athen unterirdische oder zumindest verdeckte Zugänge vom Burginneren zu den am Felsfuss gelegenen Quellen, damit diese auch bei Belagerungen zugänglich blieben. So musste nicht mehr nur auf das in Zisternen eingelagerte Wasser Verlass sein [5, 7, 8]. Die Anlagen erinnern stark an die zum Teil viel umfangreicheren, einige Jahrhunderte später in Israel entstandenen (z.B. Gezer, Gibeon, Hazor, Jerusalem und Megiddo).

Archaische Periode

Nach dem Untergang der von Homer besungenen Kultur des mykenischen Adels in der griechischen Völkerwanderung dauerte es gut ein halbes Jahrtausend, bis wieder grössere Wasserbauten entstanden. Typischerweise erfolgte dies zur Zeit der Tyrannen, zu Ende des siebten und im sechsten Jahrhundert vor Chr., als einerseits wieder eine genügende Konzentration der Staatsmacht für grössere öffentliche Bauten gegeben war und andererseits wohl die entmündigte Bevölkerung damit bei Laune gehalten bzw. beeindruckt werden sollte. So entstanden auch die ersten städtischen Versorgungen mit fliessendem Wasser, das allerdings aus den Becken der oft prunkvoll ausgestatteten öffentlichen Brunnenhäuser geschöpft werden musste und nicht an Einzelverbraucher verteilt wurde, die oft noch über die hergebrachten Sodbrunnen oder Regenwasserzisternen in ihren Häusern verfügten [9]. Die Wasserzuleitung von der Quelle zum Brunnenhaus erfolgte grundsätzlich in Rohren, die nicht unter Druck standen und entweder vergraben oder in Stollen verlegt waren. Neben der Verhinderung von

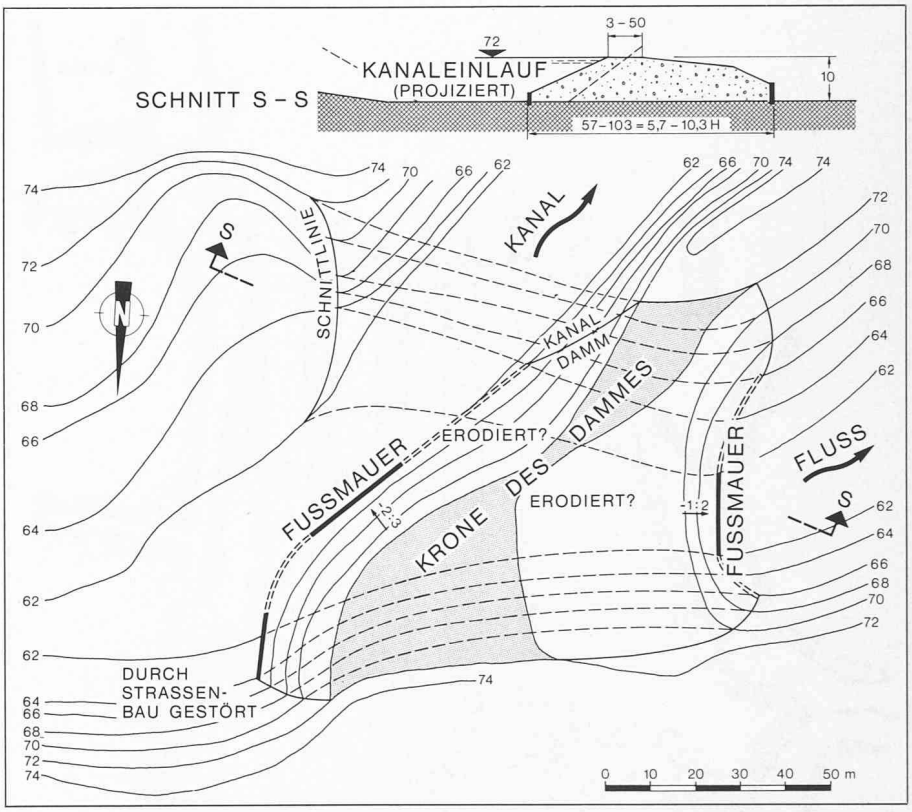


Bild 4. Plan und Querschnitt des mykenischen Umleitdammes und Kanaleinlaufes bei Kofini (nach [5], vom Autor ergänzt)

Feindeinwirkungen gründete dies auf der Sorge der alten Griechen um sauberes und kühles Wasser, wie es der oft zitierte Ausspruch des Dichters Pindar (518–446 vor Chr.) belegt: «Das Beste aber ist das Wasser!»

Diese Konstruktionsprinzipien zeigt schon die erste grössere Stadtversorgung, welche der Tyrann Theagenes (um 640 vor Chr.) in Megara, 30 km westlich von Athen, erbauen liess [10]. Drei unterirdische Zubringer zapften das Grundwasser in der Ebene nördlich der Stadt an und vereinigten sich zur Hauptzuleitung. Diese verlief in einem mannstiefen Graben von 50 cm Lichtweite, dessen Wände von Steinplatten gestützt waren, welche die Deckplatten trugen und von einer Rückfüllung im unteren Drittels des Grabens gehalten wurden. Auf letzterer lagen die Tonrinnen der Leitung, deren Querschnitt einem oben offenen Dreiviertelskreis glich. Später wurden diese Rinnen zugeschüttet und durch darüberliegende von rechteckigem Querschnitt ersetzt.

Das Brunnenhaus im Sattel zwischen den beiden Stadthügeln ist in seiner heute sichtbaren Gestalt auch rund anderthalb Jahrhunderte jünger als die erste Rinne (Bild 5). Es bestand aus einem Doppelreservoir von 330 m³ Nutzin-

Bild 5. Brunnenhaus von 480 vor Chr. am Ende der Wasserzuleitung des Theagenes nach Megara; im Vordergrund das durch eine Wand unterteilte, früher gedeckte Reservoir. Im Hintergrund das schmale Schöpfbecken (Foto des Autors)

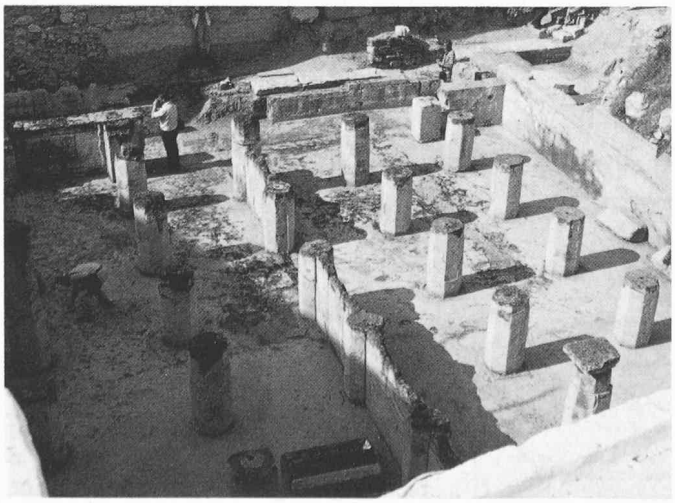
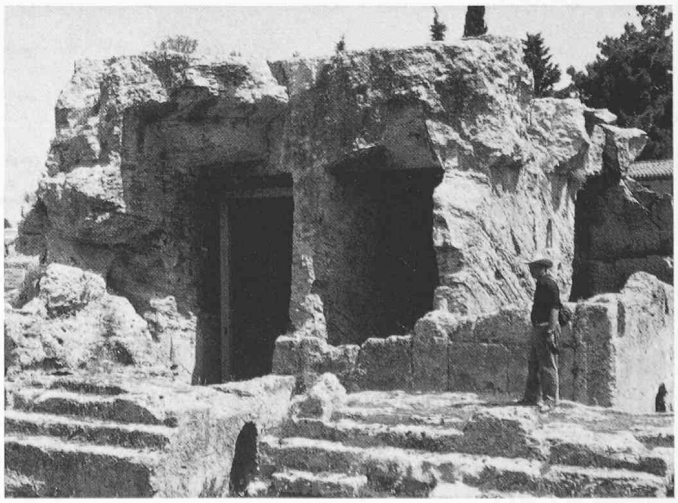


Bild 6. Ansicht des um 570 vor Chr. aus einem Felsen herausgearbeiteten Brunnenhauses der Glauke in Korinth; im Vordergrund Aufstieg zum und Wand des Schöpfbeckens; dahinter drei der vier Reservoirkammern (Foto des Autors)



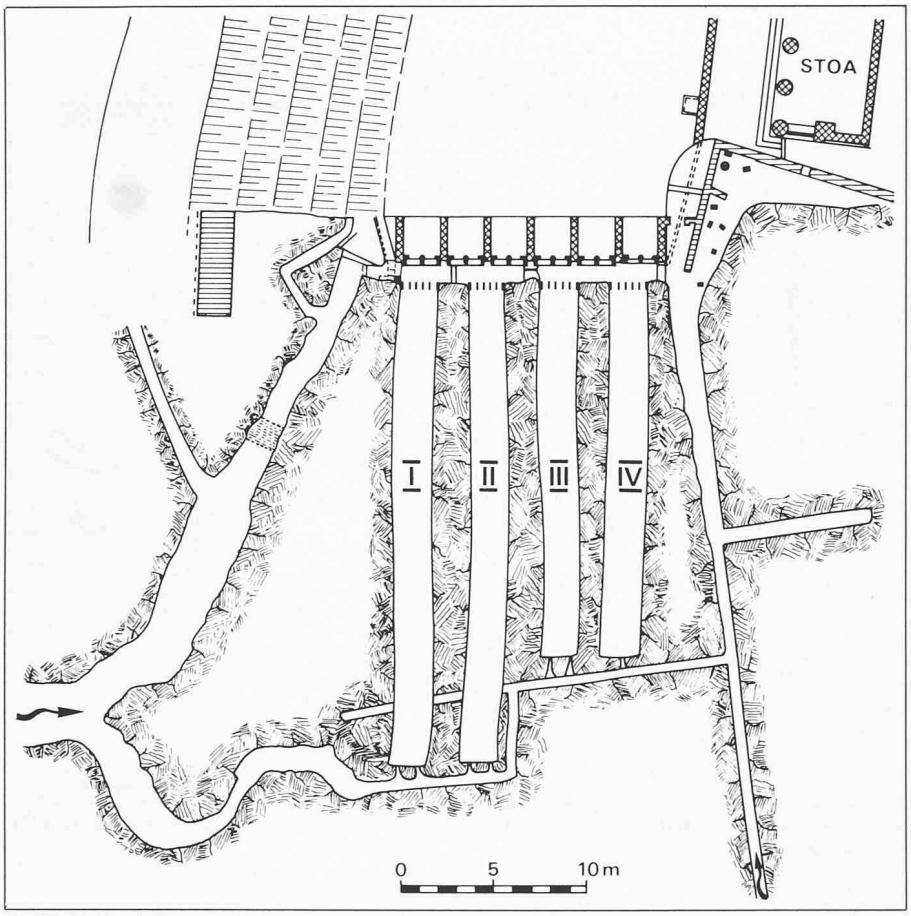


Bild 7. Grundriss der Reservoirkammern und der griechischen Schöpfbecken des Peirene-Brunnens in Korinth (nach [12])

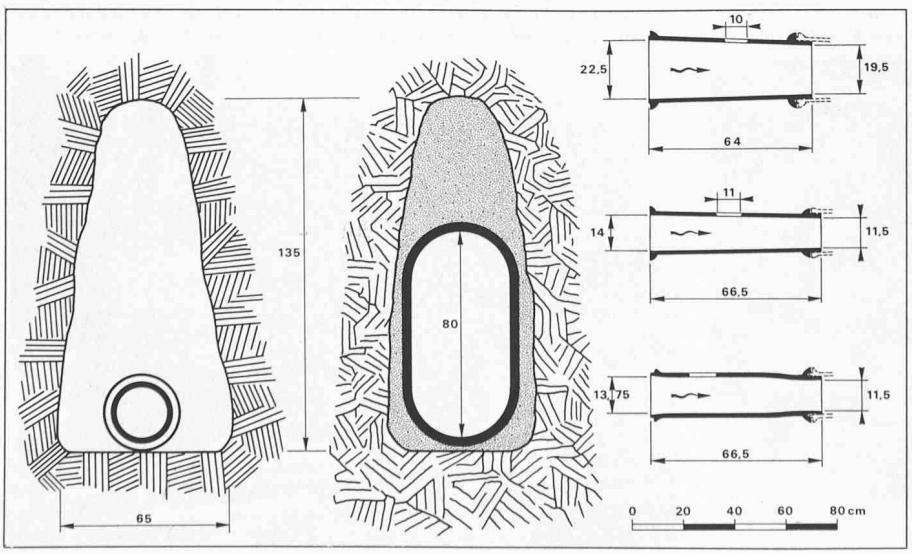
halt, dem zwei Schöpfbecken von je 6,8 m Länge und 1,2 m Breite vorgelagert waren. Die ganze Anlage war überdacht, wobei zur Stützung neben den Aussen- und Zwischenwänden 35 Säulen dienten.

Der nächste Tyrann, der sich durch grössere Wasserbauten hervortat, war Periander (590–550 vor Chr.) in Korinth. Er versuchte gar, wie später sein Nachfolger Demetrius Poliorcetes, Julius Cäsar, die römischen Kaiser Caligula und Nero, der Mäzen Herodes Attikus und die Venetianer, die erst 1881–93 geglückte Durchstechung des Isthmus östlich von Korinth, der die Peloponnes mit dem übrigen Griechenland verbindet. Er musste sich jedoch mit einer Bahn, der Diolkos, zum Hinüberschleifen der Schiffe begnügen [11]. Seine Stadt versah er – neben anderen Grossbauten – mit dem höchst eigenwilligen Brunnenhaus der Glauke, dessen vier Reservoirkammern von insgesamt 380 m³ Nutzinhalt und drei vorgelagerte Schöpfbecken ganz aus einem etwa quadratischen Tonfelsen herausgearbeitet wurden (Bild 6) [12]. Die Wasserzuleitung erfolgte vom Quellgebiet im Nordabhang des 1,5 km südlich gelegenen Burgfelsen Akrokorinth mittels ebenfalls in den Fels geschlagenen Kanälen von 3,6 Prozent Gefälle. Wohl noch älter als die Glauke war der Peirene-Brunnen. Auch er war ganz in den anstehenden harten Ton geschnitten und stellte mit seinen ebenfalls vier Reservoirkammern von insgesamt 350 m³ Nutzinhalt und den zwei sich verästelnden Grundwassersammelstollen ein eigentliches Wasserbergwerk dar, das bis in die byzantinische Zeit in Betrieb stand (Bild 7).

Möglicherweise durch die vorgenannten Vorbilder angespornt, versah auch der Tyrann Peisistratos (560–527 vor Chr.) Athen erstmals mit einer öffentlichen Wasserversorgung [13]. Das Wasser wurde am Westabhang des Hymettos-Gebirges, rund 8 km östlich der Akropolis, in drei Stollen gesammelt, die sich etwa auf halbem Wege zur Stadt zu einem vereinigten, der quer unter dem modernen Schlossgarten hindurch zum östlichen Fuss der Akropolis führte [14]. Hier gabelte sich die Leitung wieder. Der nördlich um die Akropolis herum in einem Graben verlaufende Ast versorgte das Enneakrounos genannte Brunnenhaus des Peisistratos an der höchsten, südöstlichen Ecke des Marktplatzes, der Agora, am Nordfuss des Aeropags [15]. Der die Akropolis im Süden umgehende, in einem Stollen verlegte Leitungsast bediente im Südwesten des Aeropags die schon früher unterirdisch erschlossene Pnyx-Quelle im gleichnamigen Hügel, deren Ergiebigkeit durch die zahlreichen in ihrer Umgebung angelegten Sodbrunnen und Sammelstollen beeinträchtigt worden war. Die letztere um- und unterfahrende Schlussstrecke der neuen Wasserleitung wurde Ende des letzten Jahrhunderts eingehend untersucht, wobei man allerdings fälschlicherweise glaubte, die Enneakrounos vor der Pnyx- (damals: Kallirrhoe-) Quelle gefunden zu haben [14].

Der im Tonschiefer unter den oberflächlichen Kalken ausgehobene Stollen der neuen Zuleitung hatte einen spitzbogenförmigen Querschnitt (Bild 8 links). Der Ausbruch geschah von den in mehr oder weniger regelmässigen Abständen abgeteuften Vertikalschächten aus in beiden Richtungen. In gebrächen Strecken erfolgte ein Ausbau mit zwei aufeinandergestellten, elliptischen Halbschalen aus Ton oder durch zwei einen Spitzbogen bildende, gebogene

Bild 8. Gleichmassstäbliche Schnitte unverbauter und mit Tonhalbschalen verbauter Stollenstrecken der Wasserleitung des Peisistratos in Athen (links) sowie ihrer Rohre für Haupt- und Zweigleitungen (rechts oben) und bei der Enneakrounos (rechts unten) (nach [14] und [15])



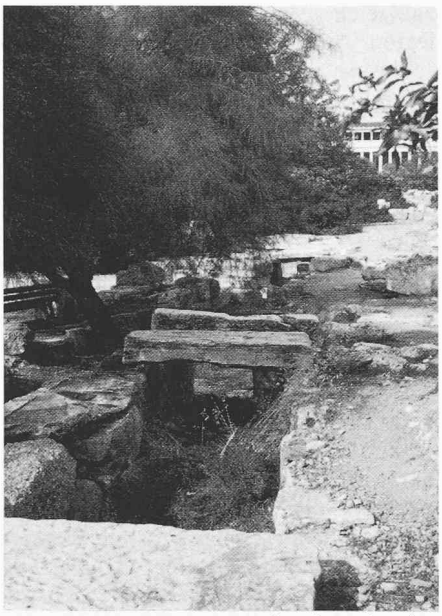


Bild 9. Grosser Entwässerungskanal aus dem frühen 5. Jahrhundert vor Chr. im Nordwesten der Agora von Athen (Foto des Autors)

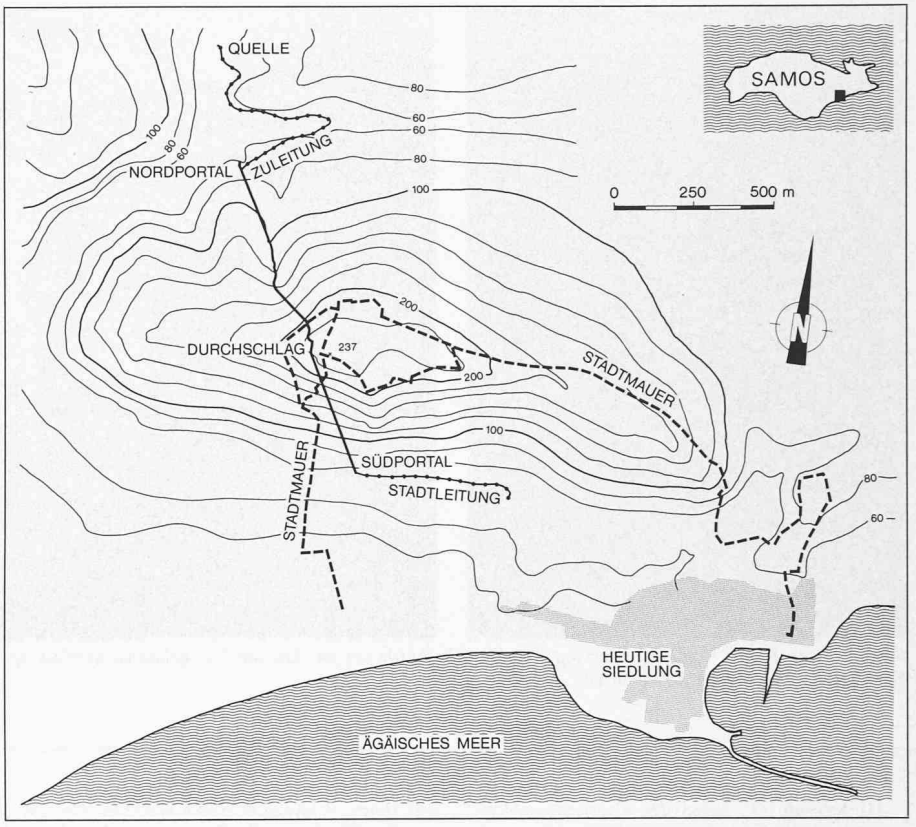


Bild 10. Plan von Samos mit Wasserzuleitung (nach [19])

Tonplatten (Bild 8 Mitte). Ebenfalls aus Ton war die eigentliche Wasserleitung, die auf der Stollensohle lag. Die einzelnen Rohre waren 64 cm lang und wie schon jene im minoischen Palast von Knossos leicht konisch (Bild 8 rechts oben). Sie wurden ebenfalls ineinandergesteckt, wobei zusätzliche Kragen auch an ihren dickeren Enden angebracht waren. Nahe desselben wies zudem jedes der nie unter Druck laufenden Rohre eine Öffnung im Scheitel auf, durch welche die Rohrverbindung von innen her abgedichtet und später wohl auch die Leitung gereinigt werden konnte. Rund 40 Prozent kleinere Durchmesser bei etwa 2 cm grösserer Länge hatten die Rohre einiger Zweigleitungen. Diese stimmten somit in ihren Abmessungen bis auf wenige Millimeter mit den leicht ausgebauchten Rohren bei der Enneakrounos in der Agora überein [15] (Bild 8 rechts unten).

Ein weiterer interessanter Wasserbau ist der grosse Entwässerungskanal, welcher vor den die Agora im Westen abschliessenden Gebäuden nach Norden verlief [15]. Er bestand aus zwei sorgfältig geschichteten Polygonalmauern von rund 100 cm Höhe im gleichen lichten Abstand und wurde später mit grossen Steinplatten abgedeckt (Bild 9). Er wird in das frühe 5. Jahrhundert vor Chr. datiert und ist also gleich alt wie die ursprüngliche Konstruktion der Cloaca Maxima zur Entwässerung des Marktplatzes, des Forums, in Rom. Im Unterschied zu Athen entstand aber in Rom die erste öffentliche Wasserversorgung nicht vor, sondern erst knapp zweihundert Jahre nach dem Entwässerungswerk (Appia-Leitung, 312 vor Chr.) [16].

In dieser Beziehung waren in Italien neben gewissen etruskischen Städten [17] die griechischen Kolonien Syrakus und Agrigent auf Sizilien [18] bessergestellt. Ersteres bzw. seine im 5. Jahrhundert vor Chr. entstandene Neustadt verfügte sowohl über eine rund 17 km lange Wasserzuleitung aus Westen, die zumeist in einem gedeckten Graben verlief, als auch über mehrere kürzere Grundwassersammelstollen im Hochplateau nördlich der Stadt. Als Besonderheit wiesen diese ausser den üblichen, vertikalen Bauschächten über dem wasserführenden Stollen einen Parallelstollen auf, dessen Zweck unklar ist (Bedienungskomfort? Grundwasserspiegeländerung?). Ein noch ausgedehnteres Stollensystem versorgte Agrigent, welches in den 470er Jahren vor Chr. unter der Leitung von Phaeax erstellt wurde. Dabei liefen ein halbes Dutzend je 1,5 bis 2 km langer, 120 cm hoher und 80–90 cm breiter Stollen konzentrisch auf das nahe dem Südtor und der Agora erstellte Sammelbecken Kolumbethra zu, das einen Umfang von über 1,2 km aufwies (entspricht 300 m Seitenlänge bei quadratischem Grundriss!).

Ebenfalls ausserhalb des griechischen Festlandes, auf der Insel Samos, war schon unter der Herrschaft des Tyrannen Polykrates (533–522 vor Chr.) einer der spektakulärsten Wasserstollen der Antike entstanden [19]. Der mit der Bauleitung beauftragte Eupalinos, von dem leider nur bekannt ist, dass er aus Megara stammte, liess nämlich seinen 1040 m langen Bau durch den Kalkberg nördlich der Stadt Samos nicht nur ohne die üblichen Vertikalschächte, sondern auch von beiden Seiten aus gleichzeitig vortreiben (Bild 10). Das stellte einige knifflige Vermessungsprobleme, und die neueste, nach der 1972/73 erfolgten völligen Freilegung angefertigte Aufnahme zeigt, dass der 180×180 cm messende Stollen nur in seinem südlichen Teil ganz gerade verlief. Doch der Nordvortrieb ging nach einer geraden Anfangsstrecke auf einen regelmässigen, leichten Zickzack-Kurs, wohl um die Begegnung mit dem Südvortrieb sicherzustellen, auch auf die Gefahr einer gewissen unnötigen Mehrlänge hin. Der Durchschlag geschah allerdings etwas konfus ausserhalb der geraden Trasse und vor allem in bezug auf die Höhenlage, die sonst beidseitig erstaunlich genau dem vorgesehenen Horizont gefolgt war. Dieser lag 3,5 m über dem Ende der 890 m langen, vergrabenen Quellzuleitung zum Nordportal. Deshalb mussten die Tonrohre von 25 cm Innendurchmesser im Stollen in einem 60–80 cm breiten Graben entlang seiner östlichen Wand verlegt werden, welcher wegen des nötigen Fliessgefälles bis zum Südportal die beängstigende Tiefe von 8,5 m erreichte. Da vermessungstechnisches Unvermögen angesichts der präzisen, durch die

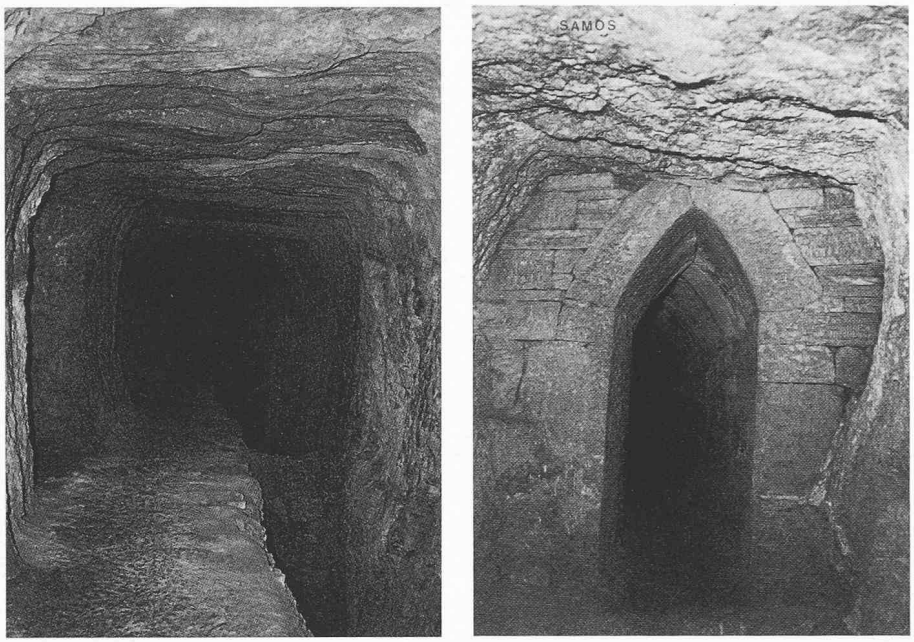


Bild 11. Unverbaute (links) und verbaute (rechts) Abschnitte des um 530 vor Chr. gebauten Stollens des Eupalinos auf Samos (nach Postkarten)

Literatur

[1] *Schwab, G.:* Sagen des klassischen Altertums. Insel, Leipzig

[2] *Evans, A.:* The Palace of Minos at Knossos. MacMillan, London 1928–30 (vol. I, p. 141–143 and 225–230; vol. II, p. 116–121 and 460–463; vol. III, p. 252–261)

[3] *Lauffer, S.:* Wasserbauliche Anlagen des Altertums am Kopaissee. Mitt. Leichtweiss-Inst./TU Braunschweig, Nr. 71, 1981, p. 237–265

[4] *Balcer, J. M.:* The Mycenaean Dam at Tiryns. Amer. J. of Archaeol. 1974, p. 141–149

[5] *Jantzen, W.:* Führer durch Tiryns. Deutsches archäol. Inst., Athen 1975

[6] *Triantafyllides, S. A.:* Hercule l'ingénieur légendaire/Heracles the Legendary Engineer/Herakles der legendäre Ingenieur. AC 1976, Nr. 3, p. 67–72

[7] *Broneer, O.:* A Mycenaean Fountain on the Athenian Acropolis. Hesperia 1939, p. 317–433

[8] *Karo, G.:* Die Perseia von Mykenai. Amer. Journal of Archaeology 1934, p. 123–127

[9] *Glaser, F.:* Antike Brunnenbauten in Griechenland. Österr. Akademie der Wissenschaften, Wien 1983

[10] *Delbrück, R.,* und *Vollmöller, K. G.:* Das Brunnenhaus des Theagenes. Mitt. kais. deutsches archäol. Inst. Athen 1900, p. 23–33

[11] *Wiseman, J.:* The Land of the Ancient Corinthians. P. Aströms, Göteborg 1978

[12] *Hill, B. H.:* The Springs Peirene, Sacred Spring and Glauke (of Corinth), Princeton 1964

[13] *Camp, J. M.:* The Water Supply of Ancient Athens from 3000 to 86 BC. Dissertation Princeton/NJ 1977 (Reprint: Univ. Microfilms, Ann Arbor/Mich.)

[14] *Gräber, F.:* Die Enneakrunos. Mitt. kais. deutsches archäol. Inst. Athen 1905, p. 1–64 (Zusammenfassung: Zentralblatt Bauverwaltung 1905, p. 557–560)

[15] *Lang, M.:* Waterworks in the Athenian Agora. Inst. Advanced Study, Princeton/NJ 1968

[16] Wasserversorgung im antiken Rom. R. Oldenbourg, München 1982/83

[17] *Bonnin, J.:* Les hydrauliciens étrusques, des précurseurs. Houille blanche 1973, p. 641–649

[18] *Burns, A.:* Ancient Greek Water Supply and City Planning, a Study of Syracuse and Acragas. Technology and Culture 1974, p. 389–412

[19] *Kienast, H. J.:* Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos. Wasser und Boden 1983, p. 361–365

[20] *Birk, A.:* Der Kanal des Xerxes auf der Halbinsel Athos. Zeitschr. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1927, p. 381–382

[21] *Bergner, K.:* Bericht über unbekannte achaemenidische Ruinen in der Ebene von Persepolis. Archaeol. Mitt. aus Iran 1936, p. 1–4

[22] *Herodotos von Halikarnassos:* Geschichtswerk. Insel, Leipzig 1958 (2. Buch, Kap. 158 und 7. Buch, Kap. 130)

[23] *Grewe, K.:* Valle di Ariccia, Nemi-See, Albaner See, antike Entwässerungstunnel in den Albaner Bergen. Vermessungsing. 1981, p. 203–206

[24] *Pomilio, M. et al.:* Il Fucino, storia di un lago senz'acqua. Silvana, Milano 1977

[25] *Kalcyk, H.:* Der Silberbergbau von Laureion in Attika. Antike Welt 1983, Nr. 3, p. 12–29

[26] *Bammer, A.:* Griechische Architektur. Jahreshefte österr. archäol. Inst. Beiblatt 1972, col. 381–384

[27] *Garbrecht, G.:* Die Wasserversorgung des antiken Pergamon. Mitt. TU Carolo-Wilhelmina Braunschweig 1982, Nr. 2, p. 5–19

[28] *Weber, G.:* Die Wasserleitungen von Smyrna. Jahrbuch deutsches archäol. Inst. 1899, p. 4–25 und 167–188 und 1904, p. 95–96

[29] *Fahlbusch, H.:* Vergleich antiker griechischer und römischer Wasserversorgungsanlagen. Mitt. Leichtweiss-Inst./TU Braunschweig Nr. 73, 1982

[30] *Weber, G.:* Die Hochdruckwasserleitung von Laodicea ad Lycum. Jahrbuch deutsches archäol. Inst. 1898, p. 1–13 und 1904, p. 95

[31] *Weber, G.:* Wasserleitungen in kleinasiatischen Städten. Jahrbuch deutsches archäol. Inst. 1904, p. 86–101 und 1905, p. 202–210

[32] *Bassel, R.:* Antike Hochdruckwasserleitung des Betilienus in Alatri. Zentralblatt Bauverwaltung 1881, p. 121–122 und 134–135, 1882, p. 410 und 436 und 1919, p. 8

[33] *Garbrecht, G.:* Griechische Beiträge zur Hydrologie und Hydraulik. Mitt. Leichtweiss-Inst./TU Braunschweig Nr. 71, 1981, p. 17–41

[34] *Plutarch:* Vitae parallelae, Marcellus 17

zahlreich gefundenen Messmarken belegten Auslegung des Stollens ausgeschlossen werden kann, führt seine zu hohe und horizontale Lage zum Schluss, dass er ursprünglich einem anderen Zweck diente und erst nachträglich für die Wasserdurchleitung hergerichtet wurde (Bild 11).

Klassische Periode

Die klassische Periode beginnt mit der Auseinandersetzung der Hellenen mit dem unter der Herrschaft der iranischen Achaemeniden vereinigten Nahen Osten. Deren in Griechenland eingefallene Heere vollbrachten denn auch eine der ersten grossen Wasserbauten der Periode: der 483–480 vor Chr. durch die Wurzel der östlichsten Zunge der Halbinsel Chalkidike in Nordgriechenland gegrabene Kanal von 2,2 km Länge und 45 m Breite, welcher der Invasionsflotte die sturmgeplagte Umschiffung des Berges Athos ersparte [20]. Dass die Achaemeniden keine wasserbautechnischen Neulinge waren, belegen die Wasserbauten am Kur [21], der das Tal ihrer Residenz Persepolis durchfliesst, sowie die unter dem achaemenidischen König Darius I (521–486 vor Chr.) erfolgte Fertigstellung des vom ägyptischen König Necho (609–594 vor Chr.) begonnenen Schiffahrtskanals vom Nil nach Suez am Roten Meer [22]. Sein Nachfolger und Anführer des Heeres gegen die Griechen, Xerxes I (486–465 vor Chr.), drohte den Thessaliern gar mit Überflutung durch einen Dammbau am Unterlauf des Pineios [22].

Verwirklicht wurde im 5. Jahrhundert vor Chr. ein Talsperrenprojekt, welches zur Trockenlegung der Bucht von Karditsa im Osten des bereits erwähnten Kopaissees diente [3]. Der auch nach dem thebanischen Heerführer Epaminondas (420–362 vor Chr.), der aber nichts mit ihm zu tun hatte, benannte Damm war nur etwa 3 m hoch, aber etwa 2500 m lang und bestand aus einer Stauwand aus grossem Polygonalmauerwerk mit einem luftseitigen Erdstützkörper (Bild 12).

Gut ein Jahrhundert später beschäftigte sich der Sieger über die Achaemeniden, Alexander der Grosse (336–323 vor Chr.), auch mit dem Kopaissee [3]. Er beauftragte seinen Ingenieur Krates von Chalkis, der sich bei einem Kanalbau vom Nil nach Alexandrien und der Wasserversorgung für diese neue Stadt verdient gemacht hatte, mit der vollständigen Trockenlegung des Kopaissees. Krates liess einen den südlichen Teil des Sees von Südwesten nach Nordosten durchquerenden, rund 8 km langen Kanal von etwa 20 m Breite aushe-

ben, der in der Katawothre bei Wristika endete. Möglicherweise war er auch verantwortlich für den unvollendet gebliebenen, 6 km langen Abzugsstollen von der nordöstlichsten Ecke des Kopaissees unter dem Kephalaripass hindurch zur Meeresbucht von Larymna. Den Arbeiten des Krates blieb der Erfolg versagt, vielleicht auch wegen des frühen Todes seines Auftraggebers. Die endgültige Trockenlegung des Kopaissees gelang erst Ende des letzten Jahrhunderts.

Erfolgreicher auf diesem Gebiet waren die Römer, die schon vor 500 vor Chr. den Kessel von Ariccia, 25 km südöstlich ihrer Stadt und später weitere Seen in deren Umgebung (Albano, Nemi und Fucino) mittels Abzugsstollen teilweise oder ganz absenkten, um besonders fruchtbares Kulturland zu gewinnen [23, 24].

Mager sind für die klassische Periode die Hinweise auf neue grössere Wasserversorgungsanlagen, wenn man von den zahlreichen Erneuerungen und Ergänzungen, z.B. noch prunkvollere Brunnenhäuser, an den bestehenden Anlagen absieht [9]. Für Athen ist einzig die Acharnia/Poros-Zuleitung vom Parnes-Berg, 18 km nördlich der Stadt zum Brunnenhaus in der Südwestecke der Agora vorwiegend literarisch und nur zum kleinsten Teil archäologisch belegt [13].

In diesem Zusammenhang sei auch auf das athenische Silberbergbaugebiet von Laureion an der Spitze Attikas hingewiesen, dessen Erzwäschen nicht nur mit dem in zahlreichen Zisternen aufgefangenen Regenwasser versorgt wurden, sondern zum Teil auch über Kanalsysteme aus gestauten Bächen. Die Überreste zweier kleinerer Staumauern aus dem 5. Jahrhundert vor Chr. wurden bei Kamariza und Demoliaki, einige Kilometer weiter nördlich, gefunden [25].

Hellenistische Periode

Wiederum viel reichhaltiger stellt sich die hellenistische Wasserversorgungstechnik dar, da nach der Zerschlagung des achaemenidischen Reiches durch Alexander den Grossen die teilweise sehr alten griechischen Kolonien im westlichen Kleinasien einen grossen Aufschwung erlebten mit einem entsprechenden Bedarf nach neuen Wasserversorgungsanlagen. Dabei gelangten erstmals unter Druck laufende Leitungen in grösserem Ausmass zur Anwendung. Nach den erwähnten Andeutungen in minoischer Zeit lässt sich diese Technik für die archaische und die klassische Periode nur bei einem zwischen beide zu datierenden kurzen Leitungsstück vermuten, das neulich im Artemision in Ephesos an der kleinasiatischen Westküste ausgegraben wurde [26]. Es besteht aus Bleigussrohren von 4,5 cm (!) Wandstärke, die durch runde Marmormuffen von 11,5 cm Wandstärke verbunden waren (Bild 13 oben).

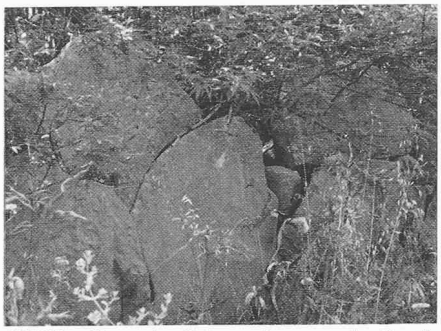


Bild 12. Reste des Polygonalmauerwerks für die Stauwand des «Epaminondas»-Dammes aus dem 5. Jahrhundert vor Chr. am Kopaissee (Foto des Autors)

Exemplarisch in seiner relativ raschen Entwicklung zu höchster Perfektion verfolgen lässt sich der Druckleitungsbau in Pergamon, 140 km nördlich von Ephesos, das mit seinem markanten Burgfelsen in hellenistischer Zeit zu einem der wichtigsten Zentren im östlichen Mittelmeer aufstieg [27]. Schon die erste, von König Attalos I (241–197 vor Chr.) angelegte, einsträngige Wasserzuleitung aus Norden von rund 15 km Länge und 2–3 l/s Leistung überwand den tiefer gelegenen Sattel vor der Burg mit einer als Düker funktionierenden Druckleitung aus Tonrohren von 10 cm Innendurchmesser und 5 cm Wandstärke, die durch runde Steinmuffen von 51 cm Länge und 18 cm Wandstärke verbunden waren (Bild 13 oben Mitte). Da die Leitung allerdings bei weitem nicht das oberste Plateau des Burgfelsens erreichte, sondern diesen in einem Stollen in der Ostflanke umfuhr, erreichte der maximale Wasserdruck in ihr erst 2,5 bar. Auch bei der kurz darauf entstandenen, auf etwas höherem Niveau parallel zur Attalos-Leitung verlaufenden Demophon-Leitung, deren zwei Stränge zusammen etwa 15 l/s förderten, hatten die bis 7 cm Wandstärke aufweisenden Tonrohre von 17 bis 19 cm Innendurchmesser nur einen Druck von maximal 3 bar aufzunehmen.

Um so erstaunlicher ist es, dass man es nur eine Generation später, unter König Eumenes II (197–159 vor Chr.) wagte, bei der dritten Leitung auf einen Druck von 20 bar (entsprechend 200 m Wassersäule) zu gehen, der bis ins 19. Jahrhundert nicht wieder erreicht wurde. Der Ursprung dieser Leitung im Madradaggebirge lag doppelt so weit im Norden als jener der vorhergehenden, so dass die drucklose Zuleitung aus drei

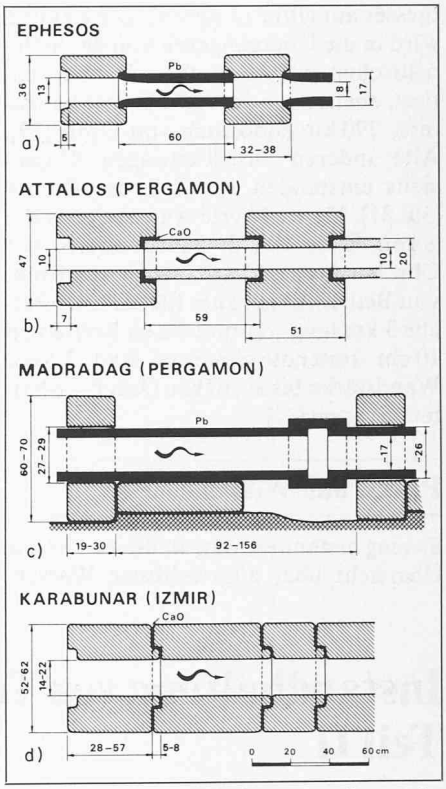


Bild 13. Gleichmassstäbliche Längsschnitte der Druckleitungen, a) vom Artemision in Ephesus (etwa 500 vor Chr., aus [26]); b) des Attalos in Pergamon (etwa 200 vor Chr., aus [29]); c) der Madradag-Zuleitung nach Pergamon (etwa 170 vor Chr., aus [27]) und d) der Karabunar-Zuleitung nach Izmir (aus [28])

Tonrohren von je 16–19 cm Innendurchmesser, welche zusammen 30 l/s förderten, die beachtliche Länge von 42 km erreichte. An ihrem Ende befand sich eine gedeckte, zweiteilige Kammer von etwa 10 m³ Nutzinhalt aus sorgfältig bearbeiteten Steinplatten, die der Absetzung von Fremdstoffen, einem bescheidenen Ausgleich zwischen Zu- und Abfluss und schliesslich der Verhinderung von Lufteintritten in die anschliessende Druckleitung diente. Diese bestand aus Bleirohren von 4,5 cm Wandstärke, die je talwärts ihrer Verbindungsmuffen durch eine gelochte stehende und eine anschliessende liegende Steinplatte gestützt waren (Bild 13 unten Mitte). Bis in den Palastbereich auf dem Burgfelsen betrug die Leitungslänge 3,4 km.

Im Vergleich zu diesem Meisterwerk nehmen sich die weiteren im westlichen Kleinasien entstandenen Druckleitungen eher bescheiden und plump aus, zumal sie meist aus Steinrohren, d.h. durchbohrten Zylindern oder Quadern, bestanden. Die bedeutendste war der Düker im Zug der Wasserzuleitung von Karabunar, östlich von Izmir (Smyrna), zu dessen Burgfelsen, welcher 4,5 km lang war und unter max. 15 bar Druck stand [28]. An diesen Stellen wiesen die Steinrohre bei etwa 58 cm Aussendurchmesser zum Teil lediglich noch eine Bohrung von 14 cm Durch-

messer auf (Bild 13 unten). Die Leitung wird in die Übergangszeit von der hellenistischen zur römischen Periode datiert, ebenso wie die viel kürzere bei Patara, 290 km südöstlich von Izmir [29]. Alle anderen Druckleitungen Kleinasiens entstanden zur Zeit der Römer [30, 31]. Deren älteste war übrigens die gegen Ende des 2. Jahrhunderts vor Chr. bei Alatri, 65 km östlich von Rom, von Betilenius gebaute Bleileitung, welche 3 km lang war und deren Rohre von 10 cm Innendurchmesser und 3,5 cm Wandstärke bis zu 10 bar Druck aushalten mussten [32].

Praxis und Wissenschaft

Es mag erstaunen, dass in dieser kurzen Übersicht über altgriechische Wasserbauten - der Hafenbau ist mangels genügender Unterlagen nicht berücksichtigt - keiner der zahlreichen Wissenschaftler genannt ist, die sich seit Thales (624–546 vor Chr.), der das Wasser zum Ursprung aller Dinge erklärte, mit dessen Herkunft, Eigenschaften und Verhalten beschäftigten [33].

Selbst die hydrologischen Erkenntnisse des berühmten Aristoteles (385–322 vor Chr.) und die geniale Hydrostatik des Archimedes (287–212 vor Chr.) fanden wohl kaum Eingang in die damalige wasserbauliche Praxis, zumal letzterer «jeden mechanischen Geschäftsbetrieb, überhaupt jede Kunst, die sich mit dem Bedürfnisse berührte, nur für eine niedrige Handwerkssache ansah» [34]. Die fruchtbare Symbiose zwischen Technik und Wissenschaft ist erst viel jüngeren Datums und eines der typischen Merkmale unserer Zeit. Sie ist selbst heute nicht immer so eng wie Aussenstehende oft annehmen. Dies gilt auch für den Wasserbau, der noch heute wesentlich geprägt wird von Erfahrung und Intuition, d.h. Kunst. Dies ist aber auch die Bedeutung des griechischen Wortes «techne», und in diesem Sinne sollten die Wasserbauten der alten Griechen wohl gewürdigt werden.

Adresse des Verfassers: *N. Schnitter*, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Dir. Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden

Nach einem Vortrag vom 25. Januar 1984 im Wirtschaftshistorischen Kolloquium der Universität Zürich.

Instandhaltung von Technischen Anlagen – Teil II

Von Frank Schärer, Winterthur

Nachdem im Teil I (H. 23/84) der Aufgabenbereich und die Methoden der Anlagen-Instandhaltung dargestellt und im Beispiel gezeigt wurden, kommt im Teil II die Organisation der Instandhaltung zur Sprache.
Der Ausblick auf die künftige Entwicklung basiert auf der zunehmenden Bedeutung der Instandhaltung.

Organisation der Instandhaltung

Für die Optimierung von Erhaltungsmassnahmen sind vorerst zwei Gesichtspunkte massgebend, nämlich:

1. die Optimierung über den ganzen Lebenslauf der Anlage hinweg, der sich vom Hersteller bis zum Betreiber erstreckt, und
2. die Optimierung während des Einsatzes beim Betreiber.

Optimierung im Lebenslauf der Anlage

Zuerst zum Lebenslauf der Anlage, wiederum erläutert am Zweikreismodell (vgl. Bild 8, Teil I), das die weitgreifenden, über den Hersteller und den Betreiber sich erstreckenden Einflüsse der Instandhaltung darstellt. Die Integration der Erhaltungsfunktion in das übergeordnete Fachgebiet des Anlagewesens zeigt sich deutlich.

In der Praxis konkretisiert sich das Problem der Optimierung auf zwei Unternehmungen, nämlich

- auf den *Hersteller*, der produktionsgerechte, instandhaltefreundliche und servicearme Anlagen zu marktkonformen Preisen anbieten soll, und
- auf den *Betreiber*, der solche Anlagen zur Erfüllung seiner Produktionsziele kauft, betreibt und instandhält.

Unser Augenmerk konzentriert sich im folgenden auf die Unternehmung des *Betreibers*.

Regelkreis «Organisation und Durchführung»

Gehen wir davon aus, dass auf einer grünen Wiese ein neues Werk entstehen und auch eine entsprechende Instandhaltungs-Organisation aufgebaut werden soll. Hier sind zwei Phasen zu unterscheiden:

- die Organisationsphase und, nach ihrem Abschluss und nach Inbetriebsetzung der Anlage,
- die Durchführungsphase.

Verfolgen wir die wichtigsten Schritte anhand des Regelkreises (Bild 14).

Ziele, Methoden

Am Anfang jeder Organisation stehen Ziele. Hat die Produktionsabteilung ihre eigenen Fertigungs-Absichten fixiert und die entsprechenden Anlagen geplant, so können die Zielsetzungen, die Ersatz- und Erhaltungspolitik sowie die Anforderungen an die Instandhaltung festgelegt werden.

Die Ziele, die sich der Betreiber für die Erhaltung seiner Anlagen setzen soll, sind in der entsprechenden Schweizer Norm festgelegt, so u.a. für den Leiter Instandhaltung: «Die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Anlage ist auf wirtschaftliche Weise zu gewährleisten.»

Konkret ist folgende Zieloptimierung zu ereichen: Ein Abstimmen

- der Einsatzdauer der Produktionsmittel auf die Fertigungsdauer der hergestellten Produkte sowie
- der Instandhalte-Massnahmen auf die Lebensdauer der Produktionsmittel.

Ferner ist für jedes einzelne Objekt die anzuwendende Instandhalte-Methode festzulegen. Zuerst ist zu beurteilen, wie hoch die Zuverlässigkeit der einzelnen Anlagen für die Erreichung des Produktionsziels angesetzt werden muss. Daraus ergeben sich die entsprechenden Arten der Anlagenüberwachung und der Instandsetzungs-Massnahmen. Ohne Zweifel werden wir die Wartung als festen Bestandteil unserer Massnahmen vorsehen.

Anlagenbewirtschaftung

Ferner ist die Anlagenbewirtschaftung zu organisieren; die Erfassung, Bewertung und kostenmässige Überwachung der Anlagen sind vorzubereiten.

Damit die Instandhaltungs-Vorgänge geplant und objektbezogen ausgewertet werden können, sind zuerst alle Anlagen systematisch zu erfassen. Grundlage hierfür ist die *Objektnumerierung;* am Beispiel unserer Drehbank war es die Nummer 13023.

Nach heutigen Erkenntnissen wäre es vorteilhafter, *zwei* Nummern zu verwenden:

- Eine *Identifikations-Nummer*, das heisst eine laufende Nummer, dem