Das "Eiserne Tor" von Atakya/Türkei

Autor(en): **Döring, Matthias**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **112 (2020)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941691

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

Einzige erhaltene Bogenstaumauer der Antike

Das «Eiserne Tor» von Antakya / Türkei

Mathias Döring

Zusammenfassung

Antiochia, das heutige Antakya im Süden der Türkei, war neben Rom, Alexandria und Byzanz mit bis zu 400 000 Einwohnern eine der grossen Metropolen der Antike. Ihr Wasser erhielt die Stadt durch drei Aquädukte, von denen einer den Wildbach Parmenios auf einer Brücke überquerte. Als die Stadtfläche im 6. Jh. n. Chr. nach schweren Erdbebenschäden verkleinert wurde, führte man zusätzlich die neue Stadtmauer über diese Brücke und baute sie kurz darauf in eine Talsperre für den Hochwasserschutz um. Damit sollte der Bach, der mit seinen periodischen Flutwellen immer wieder das Stadtzentrum verwüstet hatte, gebändigt werden. Der Brückenbogen wurde mit einer massiven Wand geschlossen, deren Wasserseite zylindrisch gekrümmt war, um den Wasserdruck in die seitlichen Felsflanken umzuleiten – die weltweit einzige aus der Antike erhaltene Staumauer mit horizontaler Lastabtragung, ein früher Vorläufer der modernen Bogenstaumauern. Das 32 m hohe, bis 7,10 m starke Bauwerk leistet als aktives Denkmal seit 1400 Jahren immer noch einen gewissen Hochwasserschutz für einen Stadtteil der modernen Grossstadt Antakya.

Antiochia / Antakya liegt am Fuss der 400 m hohen Stadtberge Staurin und Silpius, über deren Kämme die Mauerzüge der immer wieder den strategischen Erfordernissen angepassten Stadtmauern führten *(Bild 1)*. Getrennt werden die Berge durch die enge Schlucht des Parmenios, der nur im Winter und Frühjahr gelegentlich Wasser führt. Dann aber aufgrund seines starken Gefälles von 5 bis 10 % zu Murgang-ähnlichen Hochwasserwellen mit Abflüssen von bis zu 100 m^3/s neigt.

Eine weitere Gefahr für die Stadt bestand in den häufigen, teils verheerenden Erdbeben. Ursache ist die nur wenige Hundert Meter breite tektonische Naht, die «Al Chab-fault», eine Fernwirkung des

1. Antiochia

Antiochia am Orontes, gegründet um 300 v. Chr. durch Seleukos I., einen der Generäle und Nachfolger Alexanders d. Gr., erlangte seine Bedeutung nicht nur als Hauptstadt der römischen Provinz Syria, sondern auch durch seine Lage am Endpunkt der Karawanenrouten aus Innerasien und China, der späteren Seidenstrasse. Der Reichtum der Stadt zeigte sich in einer aufwendigen baulichen Infrastruktur *(Downey, 1961)*, darunter Paläste der seleukidischen Könige und römischen Kaiser, die 12 km lange Stadtmauer, eine 4 km lange, vierreihige Kolonnadenstrasse, nächtliche Strassenbeleuchtung, grosse Thermen und prächtige Nymphäen sowie die 6, 11 und 15 km langen Aquädukte A, B und D. Von den Quellen des antiken Kult- und Prominentenwohnortes Daphne im Süden der Stadt lieferten sie täglich bis zu 200 000 m^3 Wasser, sodass in der semiariden Region nach Libanios (4. Jh.) und anderen Autoren «Wasser im Überfluss» verfügbar war. Wasserspeicherung war allenfalls zum Ausgleich kurzzeitiger lokaler Spitzen erforderlich. Auf grosse Zisternen oder Reservoirs, wie etwa in Byzanz oder auf den Phlegraeischen Feldern am Golf von Neapel, konnte Antiochia verzichten *(Döring, 2012)*.

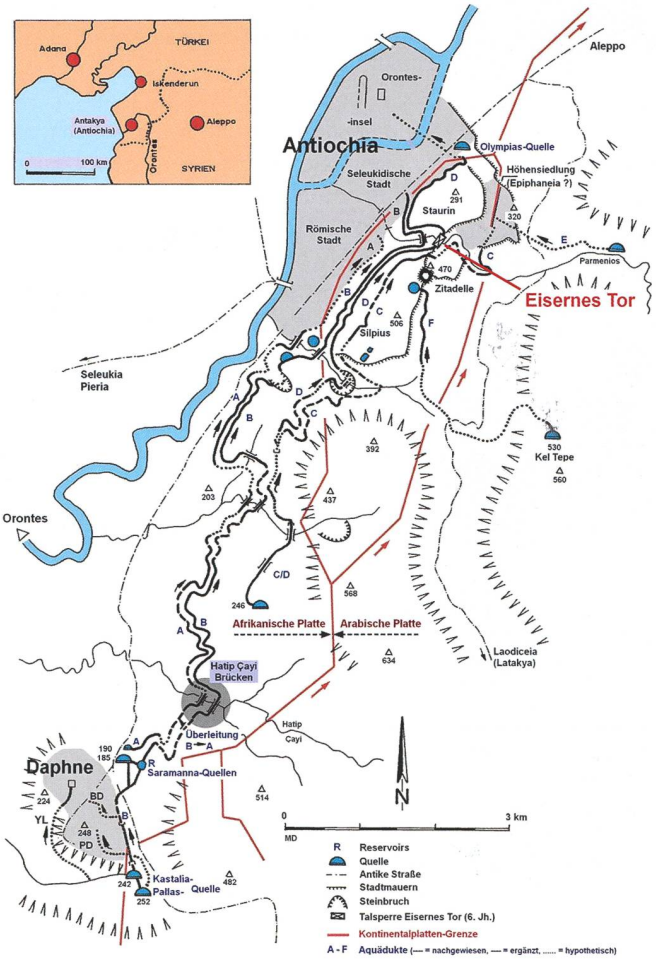

Bild 1: Antiochia und Daphne. Quellen, Aquädukte, Tektonik und Lage des «Eisernen Tores».

afrikanischen Rift Valley. Sie trennt die nach Norden driftende arabische von der westlich angrenzenden afrikanischen Kontinentalplatte, verläuft genau unter der Stadt und macht die Region zur tektonisch labilsten Zone der nördlichen Levante.

Unter Justinian, byzantinischer Kaiser von 527 bis 565, verlor Antiochia durch zwei Erdbeben (526 und 528), Stadtbrände, Wetteranomalien, Missernten und Heuschreckenplagen, die Pest und einen Perser-Überfall (540) die Hälfte seiner Einwohner, wovon es sich trotz grosszügiger Aufbauhilfen aus Byzanz nicht mehr in alter Stärke und Grösse erholte.

Bild 2: Das «Eiserne Tor» von Antiochia, unmittelbar über einer 35 m hohen Talstufe. In der Mitte die beiden Hochwasserüberläufe.

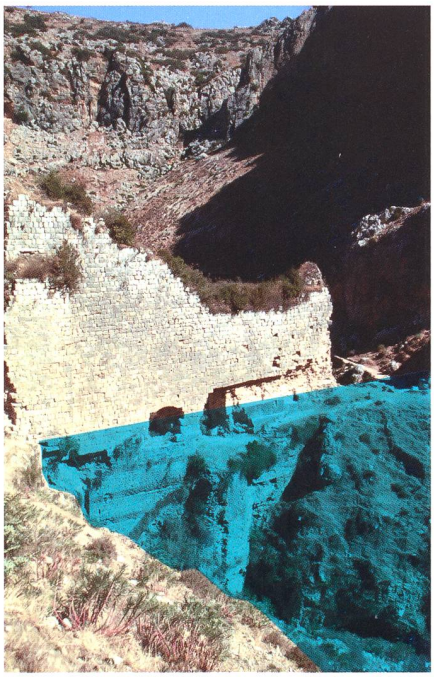

Bild 3: Wasserseite beim Hochwasser 2003 (Rekonstruktion).

2. Römische Talsperren

Im semiariden und ariden Teil des Mittelmeerraums mit seinen periodischen Gewässern waren Wasserspeicher, wenn keine ergiebigen Quellen zur Verfügung standen, der einzige Garant für eine einigermassen zuverlässige ganzjährige Wasserversorgung. Das galt insbesondere für die römische Stadtkultur mit ihrem hohen Wasserbedarf, der den unserer Tage um das bis zu 5-Fache überstieg. Unter römischer Regie entstanden so auf der iberischen Halbinsel, in Italien, Anatolien, der Levante und in Nordafrika weit über 100 grössere Talsperren von bis zu 40 m Höhe (Subiaco / Italien) und 90 Mio. m^3 Stauinhalt (Homs / Syrien).

Alle römischen Talsperren verfügten über einen Hochwasserüberlauf sowie einen Grund- oder (steuerbaren) Betriebsauslass. Gebaut wurden Gewichtsmauern aus Natursteinmauerwerk oder «Opus caementicium», dem römischen Beton, sowie Staudämme mit massiver Stauwand auf der Wasserseite. Bogenstaumauern sind nur zwei bekannt: die im 1. Jh. n. Chr. erbaute, 12 m hohe Mauer von Glanum bei St. Rémy (Provence), deren Reste in einem neuzeitlichen Stausee verschwanden und das «Eiserne Tor» von Antiochia aus dem 6. Jh.

3. Talsperre «Eisernes Tor»

Das ursprünglich etwa 36 m, heute noch 32 m hohe Bauwerk ist, soweit es den Wasserbau betrifft, einer der wenigen Infrastrukturbauten der Antike, über den ein authentischer Bericht vorliegt. Der byzantinische Militär- und Hofberichterstatter *Prokop* beschreibt es um 553 / 555 n. Chr., wenige Jahre nach dem Umbau zur Talsperre, wobei er im Gegensatz zu den meisten Autoren seiner Zeit sogar technische Details erwähnt: «Vor dem Teil der Ringmauer (Stadtmauer), welcher der Schlucht (des Parmenios) zunächst liegt, aus der heraus der Wildbach gegen die Befestigung anstürmte, baute er (Kaiser Justinian) eine weitere sehr hohe (Stau-) Mauer. Diese läuft von der Sohle der Schlucht aus rechts und links bis unmittelbar zu den beiden Bergen, damit der überschäumende Giessbach in seinem Lauf gehemmt, über eine längere Strecke hin sich sammeln und einen Stausee bilden muss. Die Staumauer aber versah Justinian mit Durchlässen und erreichte so, dass, von Menschenhand geregelt, allmählich der Wildbach abströmt und sich verliert, ohne mehr mit aller Wucht reissend gegen die Stadtmauer zu prallen, sich dabei aufzustauen und den Ort zu zerstören» *(Prokop, de aed. II, 15–18)*.

Demnach war das «Eiserne Tor» bereits zu seiner Zeit nicht nur Teil der kurz zuvor errichteten neuen Stadtmauer, sondern auch eine Talsperre für den Hochwasserschutz, nach heutiger Definition ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken. Seine Mehrfachfunktion zeigt sich auf den ersten Blick durch einen waagerechten, etwa 1 m breiten Absatz (Sims) auf halber Höhe von Wasser- und Luftseite, der zwei Bauwerksteile trennt *(Bilder 2, 3)*:

- In der Schlucht die etwa 20 m hohe und bis zu 7,10 m starke Staumauer mit integrierter Aquädukt- und Wegbrücke.
- Darauf aufgesetzt die ursprünglich 18 m hohe, mit 3 m deutlich schlankere Stadtmauer, die sich auf beiden Seiten des Eisernen Tores über die Stadtberge Silpius und Staurin fortsetzte.

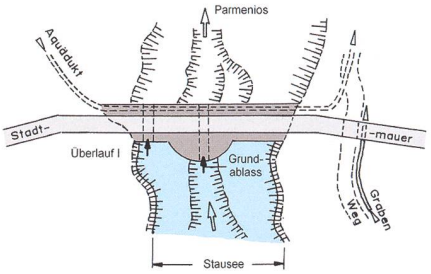

Bild 4: Das «Eiserne Tor» und die Stadtmauer.

4. «Eisernes Tor», Hauptbau- und Betriebsphasen

Am «Eisernen Tor» liessen sich 6 Hauptbau- und Betriebsphasen unterscheiden *(Bild 6)*.

Phase 1: Aquäduktbrücke

Um 300 n. Chr. wurde eine ältere Wegbrücke an der engsten Stelle des Parmenios-Tals in eine 2,20 m breite Aquäduktbrücke mit 13 m Spannweite umgebaut. Tragendes Element war ein Keilsteinbogen aus grossen Kalksteinquadern. Über dem Aquädukt verlief vermutlich weiterhin der Saumweg nach Latakia (dem antiken Laodiceia) an der syrischen Mittelmeerküste. Der Aquädukt wurde 150 Jahre später nach dem schweren Erdbeben von 458 stillgelegt.

Phase 2: Umbau zur Stadtmauer und Talsperre

Um 545 wurde die Brücke im Zuge der justinianischen Stadtverkleinerung durch einen zweiten, ebenfalls 2,20 m breiten Brückenbogen aus Ziegelmauerwerk als Unterbau für die neue Stadtmauer verbreitert. Östlich der Brücke erhielt die

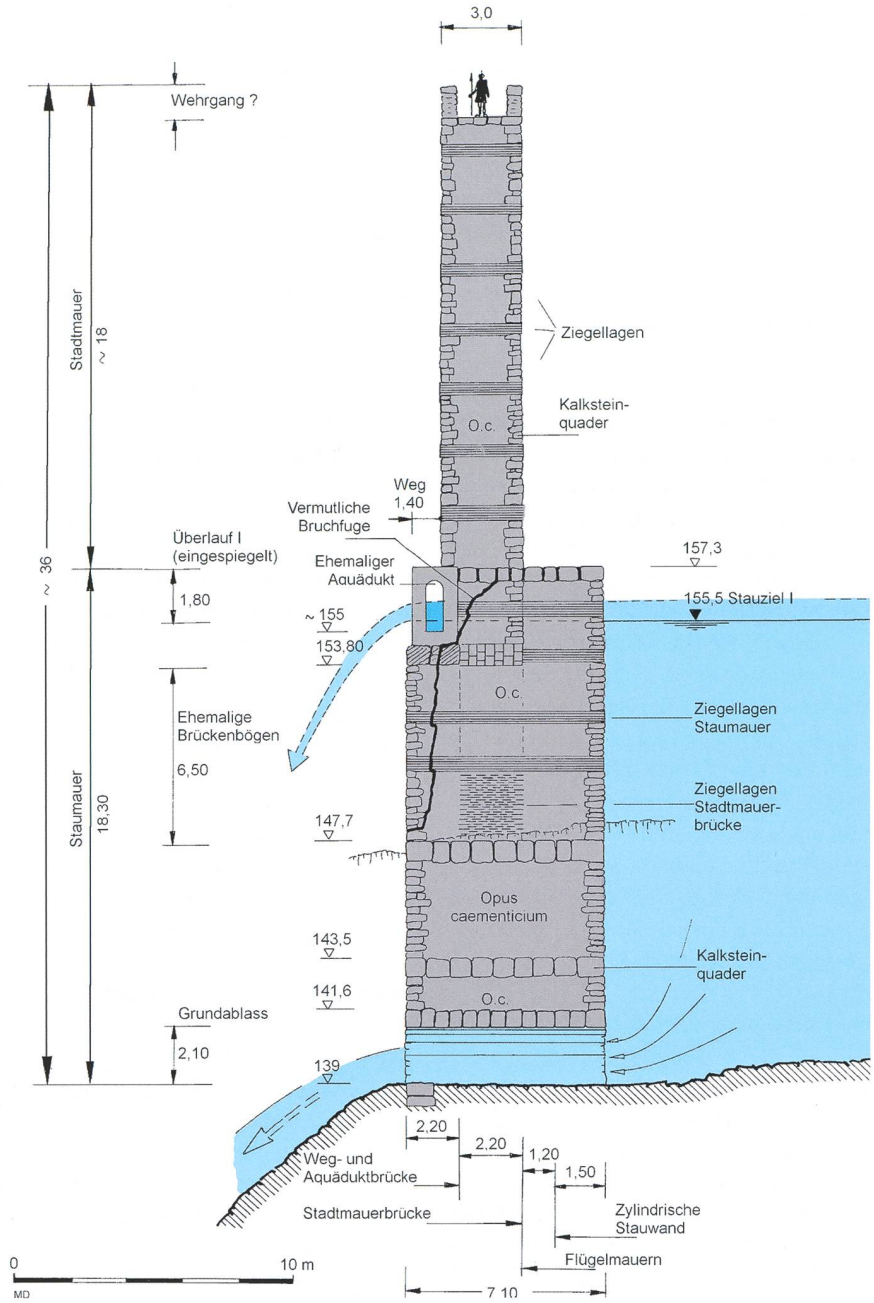

Bild 5: Stau- und Stadtmauer im 6. Jh.

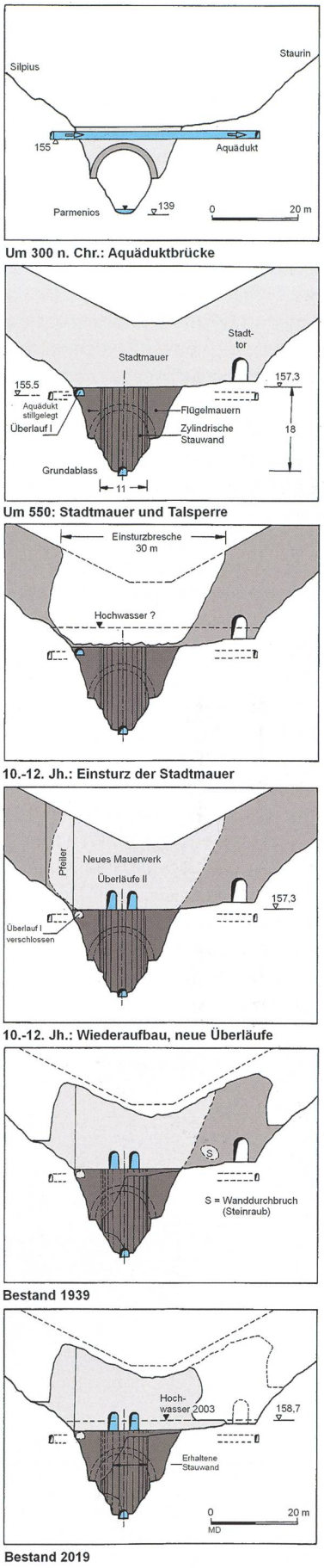

Bild 6: Von der Aquädukt- und Wegbrücke zur Talsperre – 1700 Jahre «Eisernes Tor».

Mauer ein besonders stark gesichertes «eisernes» Stadttor *(Bild 2, 6)*, das dem «Eisernen Tor» (Bab al-Hadid / Demir Kapi) vermutlich den Namen gab.

Schon wenige Jahre später erfolgte der Umbau zur Talsperre. Dafür wurden die Brückenbögen mit einer 4,40 m starken Wand aus Opus caementicium geschlossen und im gleichen Arbeitsgang wasserseitig die im Scheitel 2,70 m starke zylindrische Stauwand in Form eines liegenden Gewölbes mit beidseitigen Flügelmauern davorgesetzt. Brücken, Verschluss- und Stauwand bildeten die Staumauer.

Am linken Hang wurde ein Hochwasserüberlauf (Überlauf I) als 1,80 m breites und ebenso hohes, 6 m langes tunnelartiges Gewölbe mit – wie sich herausstellen sollte – einem viel zu kleinen Querschnitt eingebaut. Als Durchlass für den Wildbach entstand im Taltiefsten der ungesteuerte, 7 Fuss hohe und ebenso breite Grundablass, ein Gewölbetunnel aus grossformatigen Keilsteinquadern.

Phase 3: Einsturz der Stadtmauer

Vermutlich während eines grossen Hochwassers zwischen Spätantike und Mittelalter kam es zur Katastrophe: Das Wasser stieg infolge des zu kleinen Überlaufs bis weit in den Stadtmauerbereich an. Die nur 3 m starke Stadtmauer hielt dem Druck nicht stand, stürzte auf 30 m Breite ein und riss Aquädukt, Weg und luftseitige Bauwerksfront mit in die Tiefe. Die Staumauer selbst blieb weitgehend unbeschädigt.

Phase 4: Wiederaufbau

Der Wiederaufbau dürfte, wie kufische und arabische Schriftzeichen an den in die Bruchlücke eingebauten Spolien belegen, noch vor der Kreuzfahrerzeit (1098–1268) erfolgt sein. Den Schwachpunkt der Talsperre – den unterdimensionierten Überlauf – hatte man offensichtlich erkannt, durch zwei Überläufe (II) im Fuss der wieder aufgebauten Stadtmauer ersetzt und so auch das Stauziel angehoben. Wasser- und Luftseite der Stadtmauer, die durch die höher gelegten Überläufe nun regelmässig eingestaut wurde, verstärkte man durch drei mächtige Pfeiler auf Wasser- und Luftseite.

Vielleicht während eines späteren Erdbebens, wahrscheinlicher jedoch durch hydrodynamische Vorgänge im Grundablass, stürzte ein Teil der zylindrischen Stauwand ein, wodurch ein grosser Teil der horizontalen Tragwirkung verloren ging *(Bild 7)*. Seitdem übernimmt ein «inneres Gewölbe» einen Teil der Kräfte, sodass das im Verhältnis zur Stauhöhe sehr schlanke Bauwerk der Belastung immer noch gewachsen ist.

Phase 5: Zustand 1939

Nach dem schweren Erdbeben von 1872 gab die Stadtverwaltung von Antakya die antiken Bauten offiziell zur Plünderung frei – mit ein Grund, warum vom antiken Antiochia nur noch so wenig zu finden ist. Es verschwanden nicht nur die Stadtmauern auf beiden Seiten des «Eisernen Tores», sondern auch die sorgfältig formatierten Fassadensteine der gut zugänglichen Bauwerkspartien.

Phase 6: Bestand 2019

Der Steinraub, der bis Mitte des 20. Jhs. andauerte, führte dazu, dass der aus dem 6. Jh. erhaltene Abschnitt der Stadtmauer mit dem «eisernen» Stadttor nach 1939 einstürzte, ausgelöst durch einen Mauerdurchbruch neben dem Stadttor. Stehen blieben die in Phase 4 in die Einsturzlücke eingebauten Kalksteinquader und Spolien.

5. Betriebseinrichtungen

Nach *Prokop* hatte die antike Talsperre zwei Durchlässe: «Die Sperrmauer aber versah Justitian mit Durchlässen …» Damit können nur Überlauf I und der Grundablass gemeint sein. Demnach verfügte das «Eiserne Tor» über die beiden wichtigsten Betriebseinrichtungen aller historischen und neuzeitlichen Stauanlagen.

Überlauf I konnte wegen seiner geringen Abmessungen nur 6,5 m^3/s durchleiten, die nach dem Einsturz der Stadtmauer eingebauten Überläufe II zusammen auch nicht mehr als 15 m^3/s. Die Wasserabgabe erfolgt bis heute durch den aus dem 6. Jh. stammenden Grundablass. Seine Abflussleistung betrug bis ins späte 20. Jh. bei Vollstau etwa 45 m^3/s, wurde jedoch inzwischen durch unsachgemässe Einbauten auf 19 m^3/s reduziert.

Hydrologische Verhältnisse

Den antiken Talsperrenbauern standen weder hydrologische Daten noch Möglichkeiten zur hydraulischen Überprüfung der Betriebseinrichtungen zur Verfügung. Auch heute gibt es zum Parmenios noch keine wasserwirtschaftlichen Angaben. Eine ziemlich genaue Abschätzung des höchsten bekannten Wasserstandes erlaubten Reste von schwimmfähigen Plastikteilen in den Fugen des Mauerwerks bis in ein scharf nach oben abgegrenztes Niveau, das einer Stauhöhe von etwa 21 m entsprach *(Bild 3)*. Die Ablagerungen gingen, wie vor Ort zu erfahren war, auf ein Hochwasser im Frühjahr 2003 zurück. Dabei sind, wie eine Nachrechnung ergab, durch beide Überläufe nicht mehr als 11 m^3/s, durch die Stadtmauerlücke am rechten Hang ebenfalls 11 m^3/s, durch den Grundablass etwa 19 m^3/s, insgesamt also 41 m^3/s abgeflossen.

Antiochia gehört mit einem grössten bisher gemessenen täglichen Maximum von 432 mm/Tag zu den Gebieten der Türkei mit den höchsten zu erwartenden Extremniederschlägen (> 100 mm/Tag). Die lokale Hochwassersituation wurde anhand eines überschlägigen Niederschlag-Abfluss-Modells abgeschätzt. Danach ergibt sich bei 432 mm/Tag für das 9,3 km^2 grosse Einzugsgebiet ein Abflussvolumen von 2,9 Mio. m^3. Daraus würde zwei Stunden nach Beginn des Niederschlags am «Eisernen Tor» ein Spitzenabfluss von etwa 100 m^3/s resultieren. Bereits nach 52 Minuten wäre der Wasserstand von 2003 überschritten, und nur 11 Minuten später hätte dieser die Gewölbescheitel der Hochwasserüberläufe erreicht. Beide Überläufe und der Grundablass reichen also für die Durchleitung von 100 m^3/s bei Weitem nicht aus. Man kann davon ausgehen, dass der Teileinsturz des Bauwerks auf ein solches Ereignis zurückging.

Grundablass

Die hydraulische Situation im 7,10 m langen, 2,10 m hohen und ebenso breiten Grundablass wurde im späten 20. Jh. durch unsachgemässe Einbauten erheblich verschlechtert. Um den durch Mauerausbrüche und Erosion geschwächten Bereich zu stützen, wurde in den Grundablass eine Unterfangung eingebaut und der Querschnitt dadurch auf die Hälfte reduziert. Für ihr Auflager wurden in halber Höhe des Grundablasses quer zur Fliessrichtung starke Rundeisen eingebaut. Die hydraulisch äusserst ungünstig gestaltete und plazierte Konstruktion war bereits nach wenigen Hochwässern fast vollständig verschwunden. Die durch sie ausgelösten hydrodynamischen Vorgänge führten zu weiteren Vibrationen und Erosionsschäden, die das gesamte «Eiserne Tor» gefährden.

Bild 7: Beschädigte zylindrische Stauwand.

Bild 8: Luftseite der Staumauer mit den Hochwasserüberläufen (oben). Über den Resten des Grundablassgewölbes grosse Mauerausbrüche infolge hydrodynamischer Vorgänge im Grundablass. Oben rechts der Bogenrest der ehemaligen Aquäduktbrücke.

6. Talsperre «Eisernes Tor»

Welche Überlegungen zum Bau einer Talsperre mit horizontaler Kraftübertragung den Ausschlag gaben, ist nicht überliefert. Charakteristikum ist ihr vertikaler Zylinderabschnitt, der gegen den Wasserdruck gekrümmt ist. Vorbild dürfte das Gewölbe gewesen sein, bei dem die Schubkräfte – beim liegenden Gewölbe analog die horizontalen Wasserdrücke – nach beiden Seiten umgeleitet werden. Dafür bot die enge Parmenios-Schlucht ideale Voraussetzungen.

Die Konstruktion ist so eindeutig, dass der Kraftverlauf zumindest qualitativ bekannt gewesen sein muss. Möglicherweise kannten die Spezialisten, die beim Umbau des «Eisernen Tores» vermutlich hinzugezogen wurden, auch die vier Jahrhunderte zuvor erbaute Staumauer von Glanum/Provence *(Benoit/Calvet, 1935)* und konnten auf die dortigen Bau- und Betriebserfahrungen zurückgreifen. Ausserdem war um 520 in Dara (Südost-Türkei) eine 50 m lange und 5 m hohe gekrümmte Staumauer errichtet worden *(Garbrecht/Vogel, 1991)*, sodass auch von dort ein Technologietransfer denkbar ist. Zwar hat sich diese Mauer inzwischen als gekrümmte Gewichtsmauer erwiesen, die statische Vorstellung eines liegenden Gewölbes dürfte jedoch allen drei Talsperren zugrunde gelegen haben.

Am «Eisernen Tor» führte die Bauweise nicht nur zu einer beträchtlichen Erhöhung der Standsicherheit, was im Hinblick auf seine exponierte Lage in einem Erdbebengebiet von besonderer Bedeutung war, sondern sie bedeutete im Vergleich zur Gewichtsmauer auch eine erhebliche Materialersparnis und Verkürzung der Bauzeit.

Der Zylinderabschnitt des «Eisernen Tores» hat bei einem Radius von 10,30 m einen Öffnungswinkel von 55° *(Bild 7)* und ist damit im Vergleich zu modernen Bogenmauern, die Öffnungswinkel von weit über 100° aufweisen, relativ schwach gekrümmt. Entsprechend deckt die Horizontalwirkung nur einen Teil der Kräfte ab. Erstaunlich ist, dass man den «Stich» des Zylinders nicht wie bei halbkreisförmigen Brückenbögen vergrösserte und dadurch die Bogenwirkung verstärkte.

Die Rekonstruktion des Kraftfeldes am «Eisernen Tor» ist ohne vertiefte Untersuchungen und Materialanalysen nicht möglich. Eine Grobabschätzung ergab, dass die Horizontalwirkung vor dem Teileinsturz der Stauwand je nach Wasserstand etwa 30 bis 50 % des Wasserdrucks abdeckte. 50 bis 70 % wurden an den Baugrund und als Reibung an die Felsflanken abgegeben. Nach heutiger Definition handelt es sich damit um eine partiell wirksame zylindrische Bogenmauer.

		Brücken	Staumauer
Bauwerkshöhe	m	20	20
Länge	m	21	21
Breite	m	2,20/2,20	7.10
Bogenspannweite		13,50	
Stauhöhe (2003)	m		21
Stauinhalt ca.	m^3		30 000
Bauzeit (n. Chr.)	um	300/545	550

Tabelle 1: Technische Daten Eisernes Tor.

7. Das «Eiserne Tor» – Vorläufer neuzeitlicher Talsperren?

Im Gegensatz zur römischen Wasserversorgungstechnik, die mit der Entdeckung der Bücher *Vitruvs* in der Renaissance umgehend aufgegriffen und umgesetzt wurde, gab es für Talsperren keine Bauanleitung aus der Antike. Die Grundlagen des Talsperrenbaus mussten aufs Neue erarbeitet werden. Ein Vorreiter war der Bergbau, der auf die Wasserkraft als Energiequelle angewiesen war und grosse Teiche – nach heutiger Definition Talsperren – für die Wasserspeicherung baute *(Döring, 2015)*.

Mehr oder weniger statisch wirksame Bogenstaumauern entstanden ab dem 14. Jh. einige Male im persischen und ab dem 16. Jh. im iberischen Raum; 1632–1640 als eine der ersten grösseren die Talsperre Elche bei Alicante/Spanien für die Bewässerung – wie das «Eiserne Tor» mit zylindrischer Stauwand und partieller Bogenwirkung. Es folgten einige Vorläufer im 19. und frühen 20. Jh. Die heutigen Bogenmauern waren erst mit dem Aufkommen der modernen Betontechnologie und neuzeitlicher Bemessungsverfahren ab Mitte des 20. Jhs. möglich und wurden vornehmlich in der Schweiz und Italien entwickelt und gebaut. Eine der wenigen Talsperren des 20. Jhs. mit zylindrischer Stauwand ist die 1936–1940 geplante und erst 1953–1956 gebaute Okertalsperre im niedersächsischen Harz *(Bild 9)* für Hochwasserschutz, Trinkwasserversorgung und Stromerzeugung *(Döring, 2016)*.

Die Geometrie beider Staumauern – des «Eisernen Tores» und der Okertalsperre – zeigt (qualitativ) auffällige Ähnlichkeiten *(Bild 10)*. Bei den gegebenen topografischen und geologischen Verhältnissen erwies sich in beiden Fällen die Bogenmauer als der technisch und wirtschaftlich

Bild 9: Die 75 m hohe Okertalsperre/Harz (Foto: Harzwasserwerke).

geeignetste Bautyp. Ähnlich wie beim «Eisernen Tor» werden auch bei der Okertalsperre die Horizontalkomponenten des radialen Wasserdrucks über gerade Flügelwände in die Felsflanken übertragen. Der gegenüber dem «Eisernen Tor» (56°) sehr viel grössere Öffnungswinkel (110°) erlaubt allerdings eine nahezu hundertprozentige Bogenwirkung, sodass der Reibungsanteil, der beim «Eisernen Tor» einen Grossteil der Kraftübertragung ausmacht, bei der Okertalsperre gering ist.

Eine Besonderheit der Okertalsperre ist die aufgesetzten Gewichtsmauer, erkennbar an der auf beiden Seiten rechtwinklig abknickenden Mauerkrone. Der untere, 62 m hohe Abschnitt wirkt als Bogenmauer; darüber die 13 m hohe Gewichtsmauer. Die aussergewöhnliche Kombination ergab sich, weil im unteren Teil der Bergflanken thermisch verfestigter Tonschiefer ansteht, während die tektonisch gestörte Grauwacke darüber keine Horizontalkräfte aufnehmen konnte.

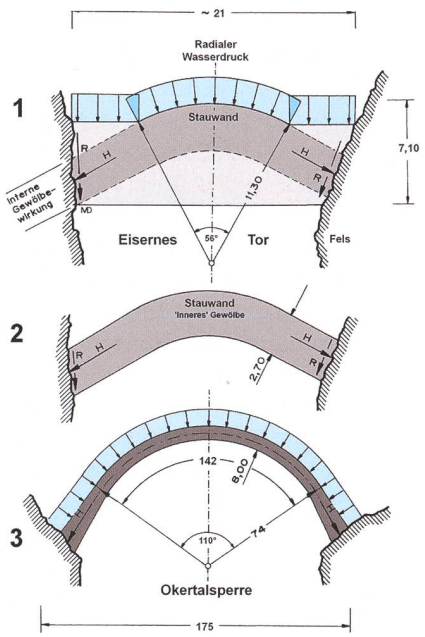

Bild 10: Horizontalkräfte beim Eisernen Tor und bei der Okertalsperre (Harz). H = Horizontalkomponente des radialen Wasserdrucks, R = Reibungsanteil (vereinfacht, qualitativ).

Zylindrische Bogenstaumauern mit konstantem Öffnungswinkel und Radius konnten sich gegenüber der universeller einsetzbaren Mauer mit nach unten abnehmenden Radien (Gleichwinkelmauer) nicht durchsetzen. Bereits 1914 war am Salmon-Creek in Alaska die erste Talsperre dieses Typs entstanden, 1920 in Montsalvens (Schweiz) die erste in Europa. Die jüngste Entwicklung wurde mit der 1939 fertiggestellten Orsiglietta-Kuppelmauer bei Genua eröffnet – ein Staumauertyp, der sich, von Italien und der Schweiz ausgehend, inzwischen weltweit etabliert hat *(Schnitter, 1987)*.

8. Fazit

Es hat sich gezeigt, dass das bisher kaum bekannte «Eiserne Tor» nicht nur eine der am besten erhaltenen antiken Talsperren ist. Durch die gezielt herbeigeführte (wenn auch nur partielle) horizontale Lastabtragung des «liegenden Gewölbes» stellt sie ein weltweites Unikat dar. Der Zustand des Bauwerks verrät aber auch, dass eine Instandsetzung, die statischen, wasserbaulichen und archäologischen Anforderungen genügt, dringend geboten ist.

Mit ihrem Projekt begaben sich die Verantwortlichen des 6. Jhs. auch unabhängig von den Staumauern von Glanum und Dara in bautechnisches Neuland. In einer Zeit, als hydrologische und hydraulische Gesetze weitgehend unbekannt waren und statische Kenntnisse allenfalls auf einem Gefühl für das Machbare beruhten, muss die mittlerweile 1400 Jahre alte Talsperre «Eisernes Tor» als Innovation ersten Ranges und als eine der bedeutendsten Wasserbauten der römisch-byzantinischen Antike angesehen werden.

Da die noch ältere Bogenmauer von Glanum bereits vor der Mitte des 18. Jhs. nicht mehr existierte und ihre Reste in einem Stausee untergegangen sind, ist das «Eiserne Tor» die einzige erhaltene Talsperre dieser Bauart aus der Antike. Im Vergleich zeichnet es sich durch gleich drei Alleinstellungsmerkmale aus:

Merkmal I: Vier aufeinanderfolgende bzw. gleichzeitig existierende Nutzungen:
- Wegbrücke
- Aquäduktbrücke
- Stadtmauerbrücke
- Talsperre

Merkmal II: Einzige erhaltene Bogenstaumauer der Antike.

Merkmal III: Bis heute eines der ganz wenigen aktiven Denkmale des antiken Talsperrenbaus.

Quellen:

Benoit, F., Calvet E (1935), Le Barrage et l'Aqueduc romain de Saint-Rémy de Provence. Revue des Etudes Anciennes 332–340.

Döring, M. (2012), In der wundersamsten Gegend der Welt. Die Phlegraeischen Felder am Golf von Neapel. ISBN 978-3-9815362-0-1.

Döring, M. (2015), Weltkulturerbe Oberharzer Wasserwirtschaft. Universität Siegen (Hrsg.), Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen. Handbuch für Theorie und Praxis V, 135–153.

Döring, M. (2016), Unikate des Talsperrenbaus. Industriekultur 1, 10–11.

Downey, G. (1961), A history of Antioch in Syria from Seleucos to the Arab Conquest (Princeton).

Garbrecht, G., Vogel, A. (1991), Die Staumauern von Dara. In: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau DVWK (Hrsg.), Historische Talsperren II, 263-276. ISBN 3-87919-145-X

Prokop, Bauten. Dt. Übersetzung: Veh O. München 1977. ISBN 3-7765210-9-0.

Schnitter, N. (1987), Die Entwicklungsgeschichte der Bogenmauer. In: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK (Hrsg.), Historische Talsperren I, 75-95. ISBN 3-87919-145-X.

Autor:

Prof. Dr.-Ing. Mathias Döring
Wilhelm-Busch-Str. 8, D-31079 Sibbesse-Adenstedt,
doering-adenstedt@t-online.de