

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 64 (1972)
Heft: 4

Artikel: Altiranische Grosswasserbauten
Autor: Hartung, Fritz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920952>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

1.

11.

Einmal, etwa hundert Jahre nach dem Bau, kam dann aber ein Katastrophenhochwasser, das dieses Gleichgewicht störte und einen gewaltigen Kolk, vor allem auch unter dem luftseitigen Fuss der Mauer aushöhlte, so dass infolge





Bild 2
Gewichtsstaumauer bei Saveh
von oberstrom mit dem
eingebauten Entnahmeturm.

der Verkürzung des Sickerweges ein hydraulischer Grundbruch zur dauernden Unterströmung der Mauer führte. So steht sie heute noch, sich auf die beiden Talflanken abstützend, während der Fluss unter ihr seinen Weg findet.

Saveh besitzt einen oberwasserseitig angeordneten in die Mauer eingelassenen Entnahmeturm, der vielleicht das älteste Bauwerk dieser Art ist und von dem später noch gesprochen werden muss (Bild 2). Der erwähnte Restaurationsversuch, kenntlich am Backsteinmauerwerk, konnte die Probleme nicht lösen. Der Ueberfall wurde zwar oben durch eine seitliche Begrenzung aus Ziegelmauerwerk, das sorgfältig verputzt war, korrekt eingeeengt, aber die entscheidende Tosbeckenfrage blieb ungelöst, weil unerkannt (Bild 3).

Das eigentliche Bruchsteinmauerwerk der alten Sperre ist durch einen heute noch sehr harten Kalkmörtel gebunden und auch heute noch völlig gesund. Interessant ist weiterhin noch eine offenbar einige Meter hinter der Wasserseite angeordnete Dichtungsschicht aus einer Art Trassbeton, die auf beiden Seiten gut an den Entnahmeturm anschliesst.

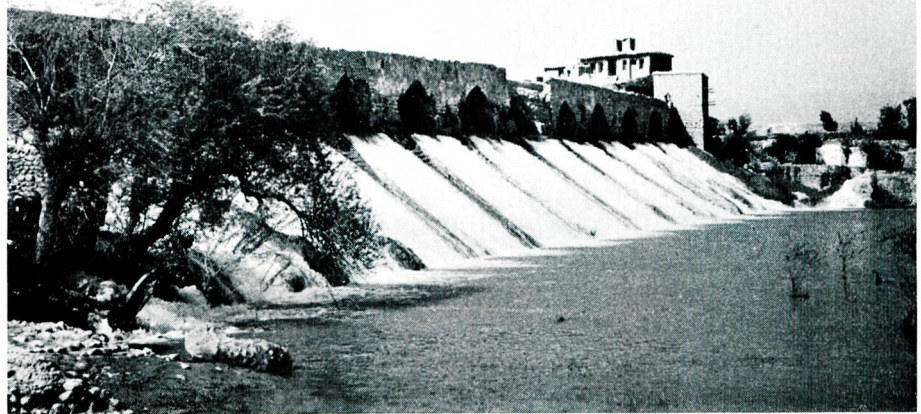
Für Saveh sind in den letzten Jahrzehnten laufend neue Ausbauvorschläge gemacht worden, unter anderem auch von den Professoren Ludin und Tölke, weil die Stelle eben sehr günstig und die Bewässerung der Ebene von Saveh immer noch sehr wichtig ist. Es ist anzunehmen, dass die alte Sperre über kurz oder lang entweder eingestaut oder abgetragen wird, nachdem ein von Prof. Kuros und dem Verfasser eingereichter Kompromissvorschlag, der vor allem den Entnahmeturm erhalten wollte, leider keinen Anklang fand.

Ein weiteres Bauwerk im Sinne einer klassischen Gewichtsstaumauer ist das Bend-e-Emir zwischen Isfahan und Schiras (Bild 4). Hier wird in erster Linie der unterirdische Abfluss im Kor-Tal gestaut. Die Entlastung geschieht auch hier über die ganze Kronenbreite. Das Tosbeckenproblem hat sich aber nicht gestellt, weil die Einheitsbelastung klein ist; denn die Wassermenge zeigt keine extremen Schwankungen und die Abflussbreite ist gross. Andererseits aber ist die Fallhöhe hier mit 18 m relativ klein. So hat sich am Fuss der Mauer ein Kolksee ausgebildet, der auch genügend Wasser enthält, wenn



Bild 3
Gewichtsstaumauer bei Saveh
von unterstrom
mit Ueberfallrücken und
Kolksee.

Bild 4
Ueberströmte Gewichts-
staumauer Bend-e-Emir.



keine Ueberfälle stattfinden und so stets genügend Wasserpolster bereithält. Die Entnahme für die Bewässerung erfolgt seitlich oberstrom direkt an der Oberfläche des Stausees. Das ist möglich, eben weil das Regime des Grundwasserstausees und die grosse Ueberfallbreite nur so geringe Spiegelschwankungen verursachen, dass sich ihnen die Entnahme recht gut anpassen kann.

Des weiteren ist an dieser Sperre bemerkenswert die Ausbildung des Kronenüberfalles mit aufgesetzter Strassenbrücke, ganz nach der Art, wie wir das auch heute noch machen (Bild 5). Die hydraulisch günstige Formgebung der Brückenpfeiler durch nach oberstrom vorge-setzte Spitzen ist jedoch eine Zutat der Neuzeit. Solche Aenderungen sollten heute nicht mehr möglich sein, denn es gelang den Bemühungen von Dr. Kuros, das ganze ebenfalls tausendjährige Bauwerk unter Denkmalschutz zu stellen. Die Brücke endet in einem turmartigen Bauwerk, aus dem ein Weg von der Mauerkrone in das am Stausee liegende Städtchen abzweigt (Bild 6). Wir finden hier also auch schon durchaus eine verkehrstechnische und städte-bauliche Konzeption, die das Sperrenbauwerk in die Umwelt organisch eingliedert.

Am linken Ufer in Fortsetzung dieses Turmes befinden sich die Einläufe für ein aus vielen Einheiten bestehendes Mühlenkraftwerk, über das weiter unten zu berichten sein wird. Jedenfalls haben wir hier sicher das älteste Beispiel einer Mehrzweckanlage vor uns für Bewässerung, Kraf-terzeugung und Verkehr und natürlich auch Wasserver-sorgung. Denn auch dieser Anlage wird ein Alter von etwa tausend Jahren zugeschrieben und solange ist sie bis heute auch schon in Betrieb.

Nicht so alt, aber umfangreicher sind drei weitere Bei-spiele aus dem Raum um Meshed. Sie gehören vermutlich auch in die Zeit Abbas des Grossen. Sie sind also etwa 350 Jahre alt und ebenfalls heute noch in Betrieb. Die beiden ersten sind wiederum reine Gewichtsstaumauern, aber mit etwa 40 bis 50 m Abschlusshöhe.

Ganz dicht bei Meshed und auch für die Zwecke der Stadt erbaut, liegt die Gulestan-Sperre (Bild 7). Das Bau-werk schliesst in seiner Mitte eine Felsgruppe ein, auf die es sich gewissermassen abstützt. Typisch für diese Mauern sind ihre breiten Kronen. Dadurch sind sie statisch überdi-mensioniert und daher auch in der Lage, eine volle Ueber-

strömung durchaus zu vertragen. Der Kern der Mauern be-steht aus Bruchsteinmauerwerk, während die Wasser- und Luftseite durch Ziegelmauerwerk verkleidet sind. Sehr sorgfältig ist überall der Anschluss des Mauerkörpers an die Felswand der Talflanken ausgeführt. Undichtigkeiten sind dort nicht zu beobachten. Der Stausee von Gulestan selbst ist weitgehend verlandet. Doch würde er noch immer ausreichen, um auch heute der Stadt Meshed eine Trinkwasserreserve zu sichern.

Die zweite Gewichtsstaumauer liegt abseits in einem von Nomaden bewohnten Gebirgstal und dient auch heute noch der Bewässerung. Sie heisst Torogh-Sperre und ist in ihrer Grösse recht eindrucksvoll (Bild 8). Die Krone wurde offenkundig später einmal erhöht. Im Grundriss sind Unregelmässigkeiten zu erkennen, die mit der Anpassung an das Gelände und die Felsverhältnisse erklärt werden können (Bild 9). Auch hier ist die fortschrei-tende Verlandung des Stauraumes deutlich zu beobachten.

Soweit man feststellen kann, muss an dieser Sperre ein-mal eine Katastrophe eingetreten sein, die sie aber im Ge-gensatz zu Saveh in ihrem Bestand nicht gefährdete. Denn weit unterstrom, bis zu 1 km von der Mauer entfernt, liegen grosse Brocken des Bruchsteinmauerwerks, noch mit der äusseren Ziegelverkleidung als Monolithen vereint, herum.

Bild 5 Strassenbrücke auf der überströmten Krone der Staumauer Bend-e-Emir.



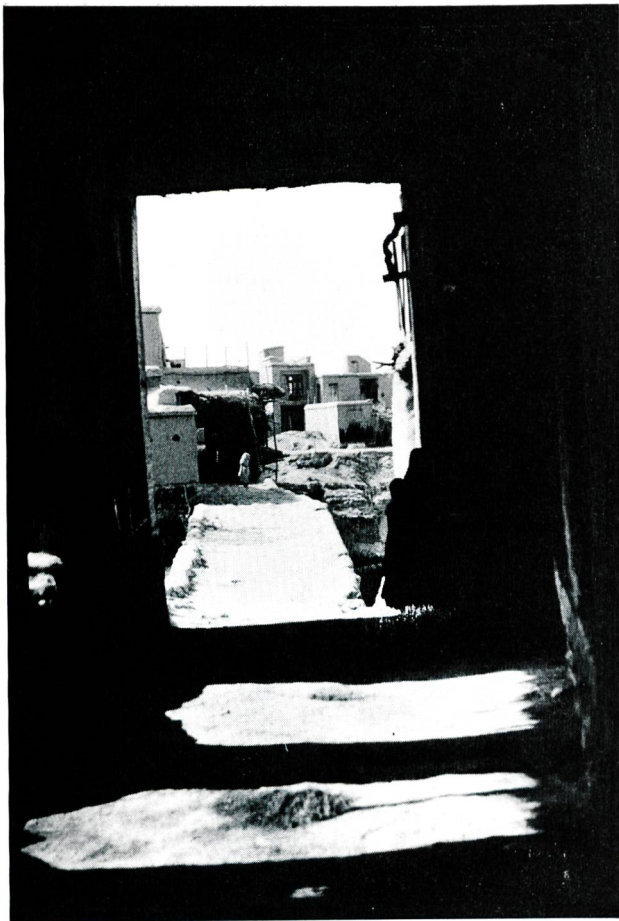


Bild 6 Blick vom Turm an der Staumauer in das Städtchen Bend-e-Emir.

Dabei müssen auch grosse Mengen von Schwerstoffen über die Bruchstelle abgegangen sein, die sich dann im Tal unterhalb der Mauer wieder abgelagert haben. An der Farbe dieser Ablagerungen ist jedoch deutlich zu erkennen, dass dieses Material hier im Tal von Natur aus nicht auftritt. Das Unterwasser hat sich in diesen schotterartigen Ablagerungen sein neues Bett gegraben. Vielleicht

ist im Zusammenhang mit diesem Ereignis die Erhöhung und sorgfältige Abdichtung der Mauerkrone durch einen Zementestrich und die Erneuerung des vorgesetzten Entnahmeturmes zu erklären.

Sehr interessant ist auch die dritte der drei Talsperren aus der Meshed-Gruppe, die Fehrman-Sperre (Bild 10). Hier finden wir nämlich den offenkundigen Versuch, eine Art aufgelöste Talsperre zu bauen. Der Bauvorgang hat sich wahrscheinlich in Raten im Zusammenhang mit späteren Erhöhungen abgespielt.

Die eigentliche Staumauer hat rechteckigen Querschnitt, aber schon recht erhebliche Dicke. Auf ihr ist offenbar später eine schmalere ebenfalls rechteckige Erhöhung aufgesetzt, die sich an der Luftseite auf den breiteren Unterteil durch eine Gewölbereihe abstützen soll. Zur Verstärkung des Ganzen ist — wahrscheinlich noch etwas später — in der Mitte eine gewaltige Strebepfeilerpyramide angesetzt, die in ihrer Spitze über einen Bogen auch noch den obersten Teil über der Gewölbereihe erreicht und den Eindruck einer Angstmassnahme durchaus aufkommen lässt (Bild 11). Der heutige Statiker hat hier dann auch die Genugtuung, seine berechtigten Zweifel am Zusammenwirken dieser Konstruktionselemente äussern zu können. Aber die Mauer steht; sehr wahrscheinlich, weil die massiven Mauerteile allein schon ausreichen.

Der obere Rand mit der Gewölbereihe war früher als architektonisches Ornament höchst wahrscheinlich noch stärker ausgebaut. Dort waren auch Räumlichkeiten für Wärter und Geräte, vielleicht auch Administration zu finden.

Die breite Krone trägt an der Wasserseite eine Brüstung, die sicherstellt, dass die Ueberströmung zuerst an beiden Seiten in Hangnähe an dafür vorgesehenen Stellen einsetzt. Doch wird offenbar gelegentlich die ganze Mauer überströmt. Der Stausee Fehrman ist viel weniger verlandet als bei den vorhergehenden Beispielen, so dass diese Sperre noch immer tatkräftig der Bewässerung der Gegend um die gleichnamige Ortschaft dienen kann.

Als letztes Talsperrenbeispiel — dieses allerdings ohne den heutigen Statikern Anlass zu Ueberlegenheitsgefühlen zu geben — kommt nun noch eine veritable Bogenstaumauer von 28 m Höhe und etwa 40 m Kronenlänge mit



Bild 7
Gewichtstaumauer Gulestan
bei Mesched

einem geschätzten Alter von wiederum tausend Jahren (Bild 12). Sie hat den Namen Karab und liegt im Zentral-iran zwischen Qhom und Kashan in einer Schlucht, durch die ein kleiner Fluss aus einem der Zentralgebirge in die iranische Ebene ausfließt.

Die Mauer hat konstanten Querschnitt und konstanten Krümmungsradius. Sie besteht aus bearbeitetem Natursteinmauerwerk. Die obersten vier Meter sind als Konsole auf das Bogentragwerk aufgesetzt, weil der Konstrukteur sich offenbar darüber im klaren war, dass in diesem obersten Bereich wegen der schwachen Felswiderlager keine Bogenwirkung mehr erwartet werden konnte. Ebenfalls in richtiger Einschätzung der statischen Zusammenhänge, wie sie diesem Konstrukteur ja wahrscheinlich aus seiner Erfahrung an Gewölben für Brücken und Raumkuppeln zur Verfügung stand, wurde der Mauerquerschnitt gegen das Widerlager zu etwas erweitert. Auch hier ist die besondere Sorgfalt beim Anschluss des Mauerwerkes an das Felswiderlager zu erkennen. Die ganze Sperre sieht sehr vertrauenswürdig und wie an Ort und Stelle gewachsen aus. Auch sie ist noch in Benutzung.

Hier tut es einem besonders leid, dass der Stauraum bis auf die obersten fünf Meter total verlandet ist. Von den kleinen Auslässen sind nur noch die beiden obersten benutzbar. Diese Bogensperre trägt also jetzt eine viel grössere Last als dem Entwurf entsprach und beweist damit, schon in dieser Urform, die Ueberlastbarkeit von Bogenstaumauern. Die Landschaft, in der dieses Bauwerk steht, ist übrigens besonders phantastisch in den Farben und Formen der umliegenden Bergzüge, wenn man von der Sperre aus stromauf sieht. Unterhalb liegt, im krassen Gegensatz dazu, die weite zentraliranische Ebene mit ihren Salzflächen.

Bild 11 Stützpyramide der Fehrman-Sperre.



Bild 8 Gewichtstaumauer Torogh bei Mesched.

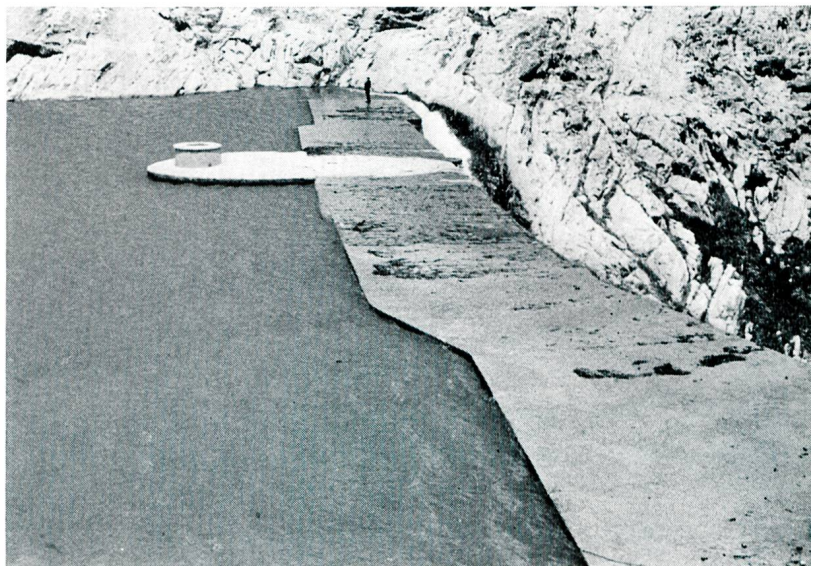


Bild 9 Krone und Entnahmeturm der Torogh-Sperre.

Bild 10 Aufgelöste Staumauer Fehrman.



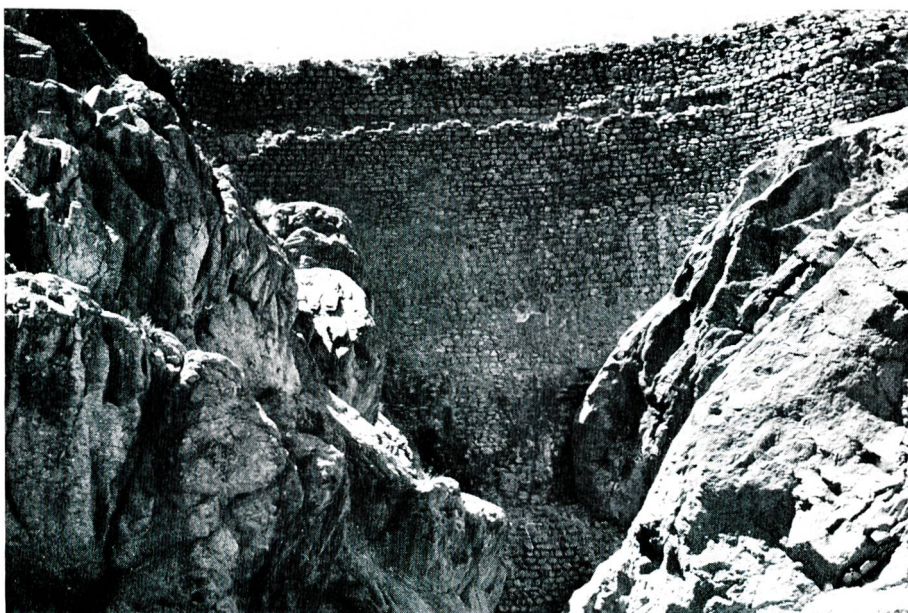


Bild 12
Bogenstaumauer Karab.

III.

Die Hochwasserentlastung der altiranischen Talsperren geschah entweder über die Kronen, wie es bei Saveh (Bild 3) und Bend-e-Emir (Bilder 4/5) gezeigt wurde oder aber durch seitliche Ueberläufe, die tiefer als die Kronen liegen und das ablaufende Wasser in die Durchdringungslinie des Bauwerkes mit dem Talhang lenken, wie es am Beispiel Fehrman zu sehen war (Bild 10). Auch die Torogh-Sperre

wird auf diese Weise entlastet (Bild 8). Meistens findet auch der Ueberlauf auf beiden Seiten statt. Eine Energieumwandlung ist nicht vorgesehen. Doch erfolgt der Abfluss über den rauhen Fels wie in einem Rauhgerinne unter gleichzeitigem Energieumsatz. Auf jeden Fall ist immer daran gedacht, dass im Notfall auch die ganze Mauerkrone überströmt werden kann.

Noch interessanter sind die Entnahmetürme. Bei Saveh ist der Turm, der nach unten an Wandstärke und Umfang zunimmt, in die Wasserseite der Sperrmauer eingebaut (Bild 2). In regelmässigen Abständen übereinander sind die verhältnismässig kleinen Entnahmeöffnungen für Ausfluss unter Druck angeordnet. Nur die unterste, frei durchflossene ist grösser. Bei Torogh ist der Turm vor die Mauer gestellt, lehnt sich aber in ganzer Höhe an diese an (Bild 9).

Ein solcher Entnahmeturm besteht in der Regel aus einem zentralen Schacht und einer darum zentrisch angeordneten Wendeltreppe (Bild 13). Die Wände sind zumeist mit Ziegelsteinen verkleidet. Die Aussenwand des Wendeltreppenringes ist in ihrem Scheitel gegen das Stauwasser zu verhältnismässig dünn. In diesem gewölbartigen Teil liegen deshalb die Entnahmeöffnungen, die ihrerseits Führungsnischen für einfache Holzverschlüsse besitzen. Die Abmessungen der Oeffnungen mussten schon deshalb klein bleiben, weil man unter dem hohen Druck sonst die Kräfte auf die Verschlüsse nicht hätte beherrschen können.

Von oben nach unten fortschreitend, entsprechend dem Absinken des Stauspiegels, wurden dann jeweils mit Hebelstangen die Verschlüsse durch Anheben geöffnet (Bild 14). Das Wasser trat unter einem Druck gleich dem Abstand zur nächsthöheren Oeffnung aus und lief auf der Wendeltreppe oder durch Durchlässe in den inneren Schacht hinein und dort nach unten zu den Ausläufen, wo es dann bei der kaskadenartigen Wirkung der Wendeltreppe völlig entspannt austrat. War der Spiegel soweit abgesenkt, dass nur noch wenig auslief, so kam die Reihe an die nächste Oeffnung weiter nach unten, die man dann bedienen konnte. Das Spiel wiederholte sich solange, bis der Speicher abgearbeitet war. Vor dem Wiederanstau wurden dann erst sämtliche Verschlüsse im Trockenen wieder eingesetzt.



Bild 13 Wendeltreppe und Zentralschacht im Entnahmeturm der Sperre.

Bild 14 Eine Schützöffnung im Entnahmeturm der Gulestan-Sperre.



Den Ausläufen selbst an der Luftseite am Fusse der Mauer gab man, wie wir schon bei Torogh erkennen (Bild 8), eine portalartige Gestaltung. Besonders ausgeprägt ist das bei der Golestan-Sperre geschehen, wo dieser Auslauf in seiner architektonischen Gestaltung einen fast sakralen Charakter bekam (Bild 15). Das geschah bei dem Wert, den das Wasser in diesem Lande hatte und hat, mit vollem Recht! Gleichzeitig aber wurden durch solche Gestaltung auch die statischen und hydraulischen Aufgaben dieses Bauwerkteiles, das einerseits ja die Statik des Mauerkörpers unterbricht und andererseits das Wasser zu leiten hat, in sehr harmonischer Weise gelöst und zum Ausdruck gebracht. Bei Formung des Auslaufes in Gestalt eines Gerinnes, wie in Golestan, konnte die Anlage auch zur Messung des Abflusses dienen. Auf jeden Fall brachte die Gestaltung des Auslaufbauwerkes die fast religiöse Bedeutung, die man dem Wasser zumass, betont und sinnvoll zum Ausdruck, auch für einen primitiven Beschauer.

IV.

Die Anfänge des altiranischen Grosswasserbaues sind nun aber nachweisbar noch viel älter als unsere bisherigen Beispiele. — Wiederum werden hier nur die Anlagen behandelt, die der Verfasser selbst kennt.

Bekanntlich hatten die Achämeniden grosses Interesse für Ingenieuraufgaben. Es sei an die bekannten Beispiele der Brücke über den Helespont und des Kanales vom Nil zum Roten Meer, sowie des Kanales durch das Athosgebirge aus der Zeit um 500 v. Chr. erinnert.

Aus dieser Zeit des Darius stammen auch die ersten erhaltenen Wasserbauten am Kor-Fluss, in der Nähe von Persepolis. Es sind langgestreckte, das Tal überquerende brückenähnliche Bauwerke. Ihre Lichtweite war so einge-

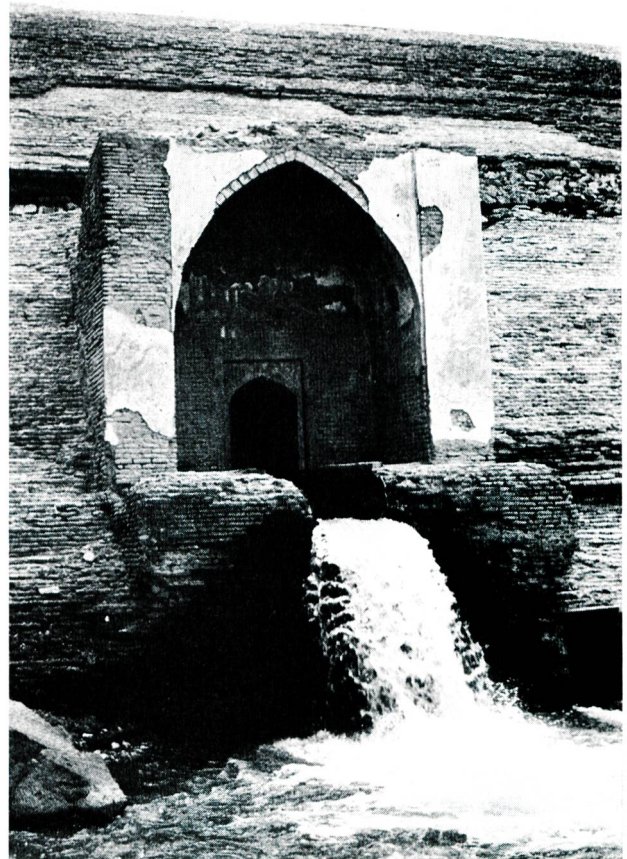


Bild 15 Ornamentales Portal für die Entnahme an der Gulestan-Sperre.

Bild 16 Wehrröffnung eines vorsassanidischen Brückenwehres im Kor-Tal.

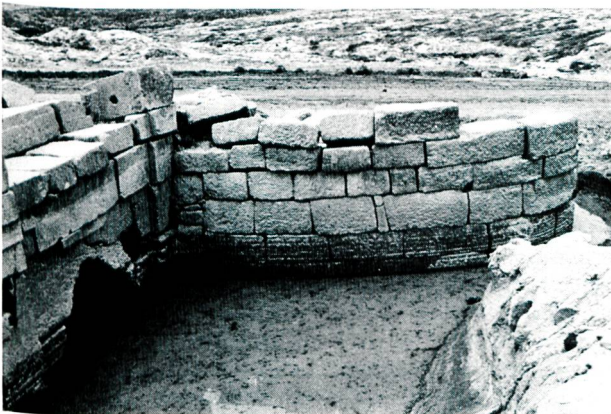


Bild 17 Wehrwange eines vorsassanidischen Brückenwehres im Kor-Tal.

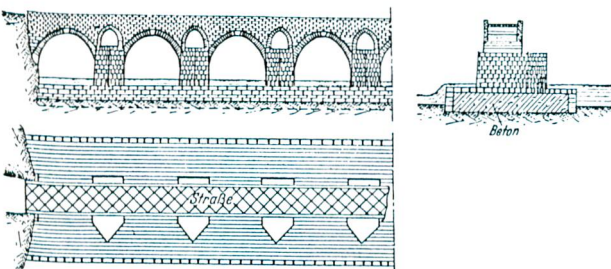


Bild 18 Typisches sassanidisches Brückenwehr.



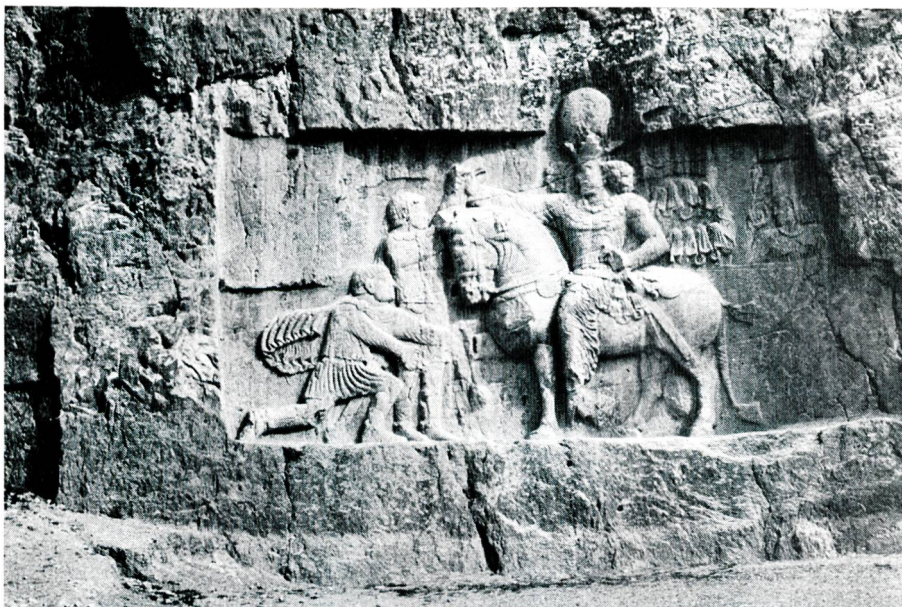


Bild 19
Der gefangene römische
Kaiser Valerian
kniet vor Schahpur I.
Felsrelief in Naqsch-e-Rustam.

schränkt und die Fundamente wurden so weit hochgezogen und als Schwelle ausgebildet, dass dadurch ein Stau entstand, der es ermöglichte, das gestaute Wasser auf beiden Seiten in Bewässerungskanäle zu verteilen. Gewichtige behauene Steine mit Rundköpfen dienten als Pfeiler (Bild 16). Die einzelnen Durchflussöffnungen waren so klein, dass wahrscheinlich auch eine Regelung des Abflusses durch eingesetzte Holztafeln oder Holzspindeln möglich war.

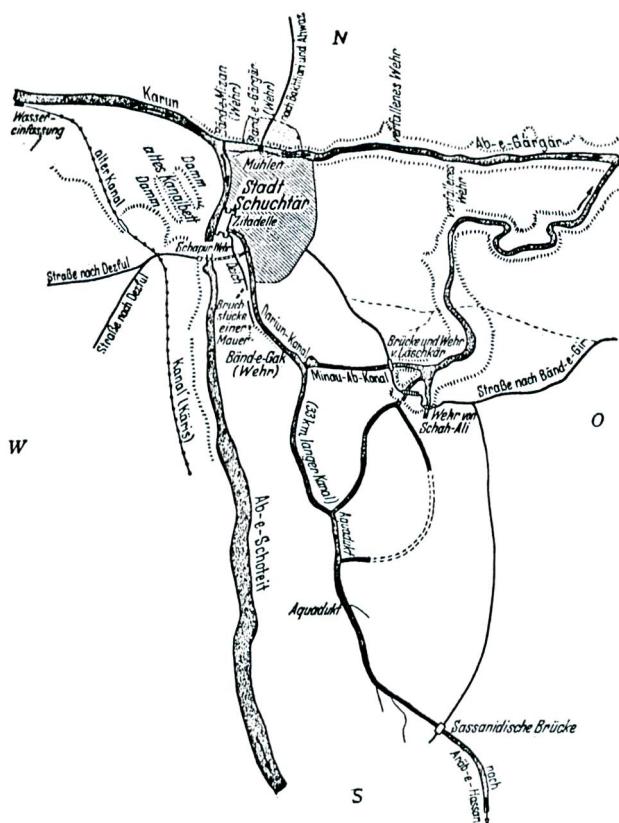


Bild 20 Uebersichtsplan des wasserwirtschaftlichen Systems im Karun-Fluss bei Schuschtär.

Beim Bau der modernen Talsperre Darius-Kebir im Kortal wurde ein weiteres derartiges Bauwerk, ebenfalls aus behauenen Quadersteinen bestehend und mit Spitzbogenöffnungen ausgeführt, entdeckt und sichergestellt. Besonders tief beeindruckt hat uns dabei die geradezu liebevolle strömungstechnische Gestaltung des Landpfeilers bzw. der Wehrwange, um die man bekanntlich heute oft noch vergebens kämpfen muss und die für den Bestand des Bauwerkes so wichtig ist (Bild 17).

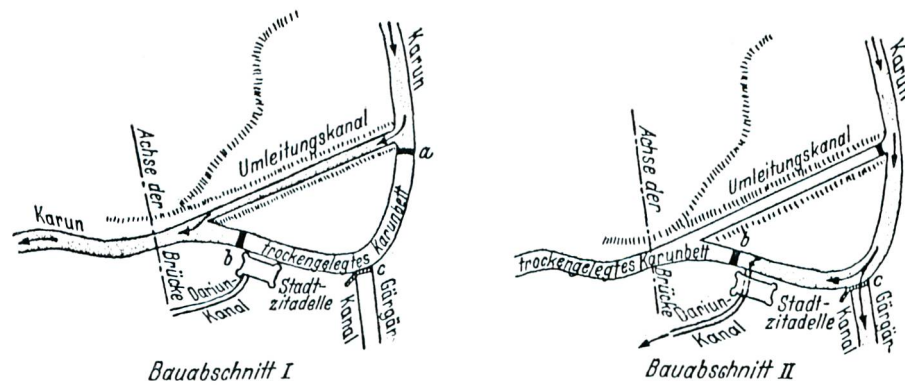
Selbst wenn wir uns heute nicht immer ganz sicher sein können, ob es sich im Einzelfall um eine Brücke gehandelt hat oder um ein Wehr, so sind wir doch sicher, dass solche Bauwerke vor 2500 Jahren die Urform des grossen Flusswehres darstellten. Aus ihnen entstand der Standardtyp der sassanidischen Brückenwehre, die etwa ab 200 n. Chr. existierten und ihre Nachwirkungen bei den sogenannten Kolonialwehren bis in die heutige Zeit hatten (Bild 18).

Aus der Zeit Schahpurs I. ist uns ein ganzes wasserwirtschaftliches System bekannt, von dem Teile erhalten sind und noch heute Verwendung finden. Schahpur besiegte 260 n. Chr. den römischen Kaiser Valerian in der Schlacht bei Epida und nahm ihn mit 80 000 Mann gefangen (Bild 19). Diese Kriegsgefangenen wurden damals nicht verkauft oder umgebracht, sondern als Zwangsarbeiter für die Errichtung grosser Wasserbauten an den Flüssen Karun und Dez in der heutigen Provinz Chusistan, westlich des Zagrosgebirges, eingesetzt. Sie unterstanden dabei offenbar der Aufsicht ihrer eigenen Pionieroffiziere, was dazu führte, dass typisch römische Bautechnik zur Anwendung kam.

Das obenerwähnte wasserwirtschaftliche System entstand im Raum der heutigen Stadt Schushtar am Karun-Fluss. Dazu zunächst eine Schilderung der Situation (Bild 20):

Oberhalb von Schushtar biegt der Karun in einer grossen Krümmung aus der Westrichtung nach Süden um und fliesst dann an der Zitadelle der alten Stadt vorbei weiter nach Süden. Unter der Zitadelle befinden sich zwei je 100 m lange Stollen mit Ueberfalleinläufen in Höhe der Niedrigwasserführung des Karun. Diese speisten nach ihrem Austritt aus dem Berg hinter der Zitadelle einen Kanal, den Dariun-Kanal, der angeblich schon von Darius angelegt

Bild 21
Bauphase I des Systems
bei Schuschtär.



wurde und der mit Hilfe einer Abzweigung, des Minam-Ab-Kanals, jedenfalls schon vor der sassanidischen Zeit, eine fruchtbare Landfläche, die sogenannte Schuschtär-Insel, bewässern half. Im Karun selbst muss sich etwas unterhalb der Stolleneinläufe zur Sicherung der Eintrittswasserhöhe ein altes festes Wehr befunden haben. Der heute nördlich der Stadt fließende Gärgär kann vor dieser Zeit nur als örtliches wildbachartiges Gerinne existiert haben.

Südlich von Schuschtär kreuzte die grosse Reichsstrasse von Pasargardä nach Ktesiphon den Karun, für deren Ausbau Schahpur I. eine grosse Brücke über den Karun brauchte und diese nun in genialer Weise mit dem Ausbau des geschilderten wasserwirtschaftlichen Systems verband. Dazu musste zunächst die grosse Karun-Krümmung trockengelegt werden, um in ihr die notwendigen Ausbauten durchzuführen, nämlich:

1. Verbesserung der Einläufe des Dariun-Kanales unter der Zitadelle;
2. Einbau eines durch Ketten und Haken elastisch zusammengehaltenen Uferschutzes am gefährdeten Aussen- ufer unterhalb der Zitadelle;
3. Bau des Verteilerwehres Bend-e-Mizan im Scheitel der Karun-Krümmung;
4. Bau eines Kanales vom Verteiler Bend-e-Mizan zur Schlucht des Gärgär-Baches einschliesslich eines Staudammes am Schluchteingang.

Zu diesem Zweck wurde für den Bauabschnitt I (Bild 21) ein Fangedamm (a) am Beginn der Karunkrümmung errichtet und ein Entlastungskanal gebaut, der unterhalb der Zitadelle wieder in den Karun einmündet. Dabei wurde das alte Darius-Wehr von unterstrom als unterer Fangedamm beaufschlagt. Reste des obenerwähnten Umleitungskanales sind heute noch feststellbar.

Stehen wir heute am Nordende der Zitadelle (Bild 20) und blicken stromauf, so sehen wir links die Karunkrümmung an deren rechtem Steilufer ein altes Schloss und unterhalb dessen das Teilungswehr mit dem Gärgär-Kanal nach rechts verlaufend. Dazwischen liegt noch ein Stichkanal zwischen Karunbett und Gärgär-Kanal. Der Teilungspunkt des Wehres wurde schon damals als grosser Rundkopf in Form einer mit Steinplatten gesicherten Halbinsel ausgebildet. Das war flussbaulich vollkommen richtig, weil eine solche Runduferbegrenzung strömungstechnisch auch einer einseitigen Beaufschlagung entspricht, wenn nämlich eines der beiden Gerinne geschlossen ist.

Von oberstrom gesehen liegt unmittelbar zur Linken das Steilufer am Fels der Zitadelle, das durch den erwähnten Uferschutz gesichert werden musste. Das Teilwehr Bend-e-Mizan ist heute weitgehend restauriert, jedenfalls in seinem Unterbau, weil es noch immer voll in Benutzung ist. Es besteht aus einzelnen mit einem neuen Betonsteg überbrückten Pfeilern, zwischen denen die Regulieröffnun-



Bild 22
Altes Schloss an der Karun-
Krümmung oberhalb
des Teilungswehres
Bend-e-Mizan bei Schuschtär.

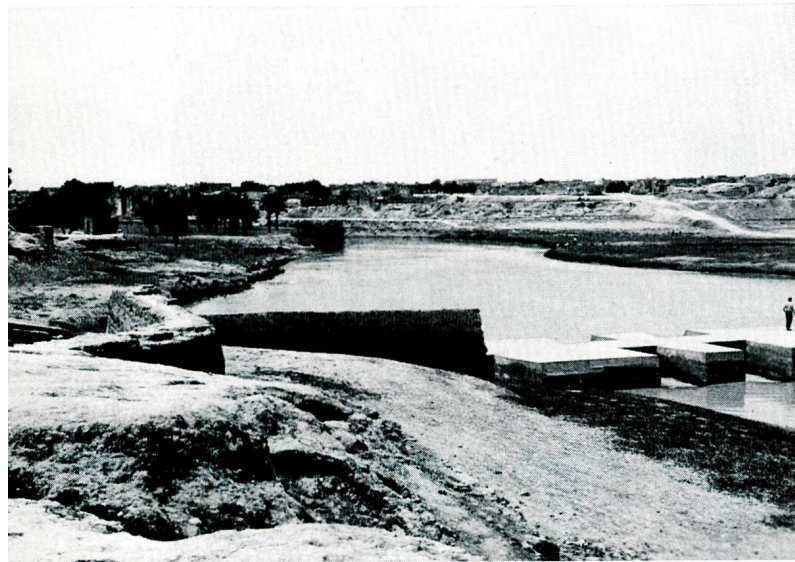


Bild 23 Blick stromab über das Teilungswehr Bend-e-Mizan in den Gargär-Kanal; rechts das teilweise restaurierte Wehr, links Reste der alten Wehrwange.



Bild 24 Die Reste des grossen Brückenwehres bei Schuschtär.

gen liegen, die mit Dammbalken bzw. Nadeln genau und bequem zu bedienen sind. Bei Katastrophenhochwasser verträgt das Bauwerk ohne weiteres eine totale Ueberflutung. Insbesondere ist auch seine Rundkopfhalsinsel durch Betonplatten, anstelle der früheren Steinplatten, hochwassersicher befestigt.

Nach einem Blick auf die romantische Schlossruine am steilen Aussenufer des Karun-Bogens unmittelbar oberhalb des Teilungswehres (Bild 22) ist schliesslich noch ein Blick den Gargär-Kanal abwärts notwendig, wobei am linken Ufer noch einige originale Reste der Bauten des alten Wehres zu erkennen sind (Bild 23). Besonders gut erhalten ist auch hier wieder die alte Wehrwange, die ursprünglich sorgfältig in das linke Ufer eingebunden war. Geschiebetechnisch liegt die Abzweigung des Gargär-Kanales absolut richtig kurz hinter dem Krümmungsscheitel am Aussenufer des Karun-Flusses.

Für den Bauabschnitt II wurde dann der Umleitungskanal oberstrom durch einen Damm damals wieder abgeschlossen, so dass der Fluss in seinen alten Bogen zurückkehren konnte (Bild 21). Das alte Wehr (b) wurde nun wieder normal von oberstrom eingestaut und der Abfluss mit Hilfe des neuen Teilungswehres aufgeteilt zwischen dem ebenfalls neuen Gargär-Kanal und den Stolleneinläufen für den Dariun-Kanal. Die Stelle, an der das neue Brückenwehr mit 500 m Länge, das auch das alte Wehr ersetzen sollte, zu erbauen war, war damit trockengelegt.

Dieses Bauwerk war vor etwa 65 Jahren, als es der holländische Ingenieur Graat van Roggen besuchte, dem wir auch den ersten Bericht über diese Anlagen verdanken, noch recht gut erhalten. Diesem Bericht entstammen übrigens auch die hier wiedergegebenen zeichnerischen Darstellungen.

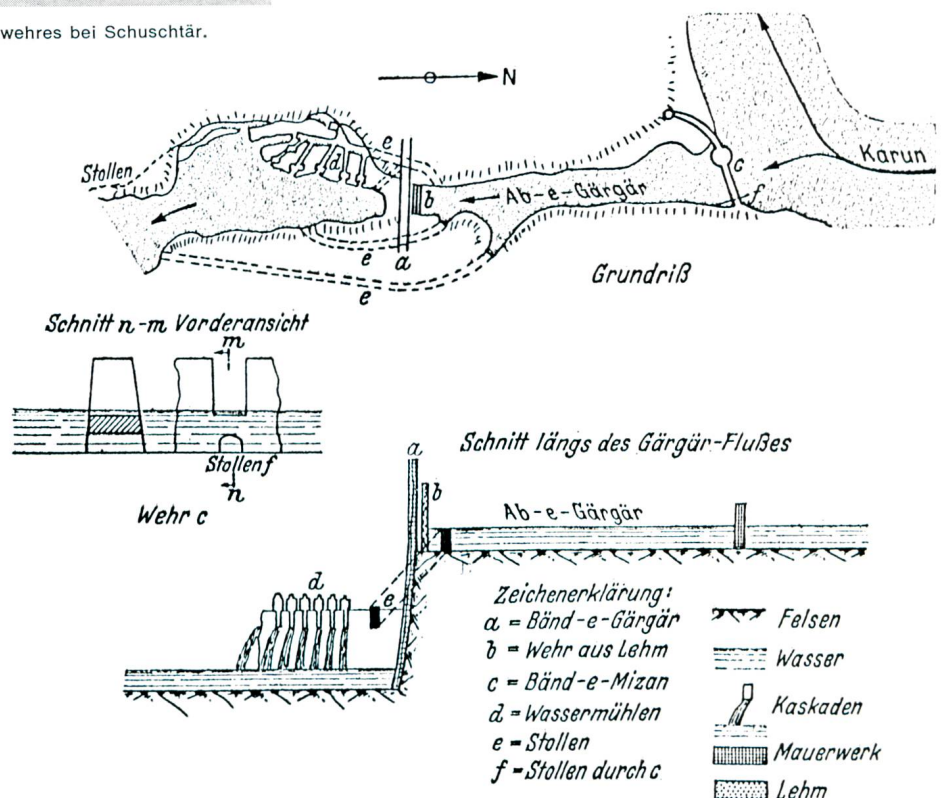


Bild 25
Bauphase II des Systems
bei Schuschtär.

Bild 26
Die Gärgär-Sperre von
unterstrom mit Umlaufstollen-
ausläufen rechts im Bild.



gen (Bilder 18, 20, 21 und 25). Der Grundriss des grossen Brückenwehres zeigt eine sehr unregelmässige Achsenführung, die ihre Ursache nur in der an dieser Stelle als Gründungsfläche benutzten Felsformation haben kann. Inzwischen ist das Bauwerk stark verfallen und nicht mehr passierbar. Hier hat leider ein Denkmalschutz gefehlt, um die willkürlichen Veränderungen und Abtragungen zu verhindern (Bild 24).

Der Abstand der Pfeilermitten beträgt 13 bis 14 m, so dass insgesamt etwa 40 Durchflussöffnungen vorhanden waren. Die Pfeilerstärke ist im Mittel 5,7 m. Die Schwere des Bauwerkes hatte ihren guten Grund in der Horizontalbelastung bei den grossen Hochwässern des Karun, bei denen der Stau so hoch ging, dass die kleinen Bogenöffnungen über den Pfeilern durchflossen wurden. Sie hatten offenbar den Zweck, als Ersatzdurchflussfläche für die sich oben verengenden Durchflussweiten der eigentlichen Brückenöffnungen zu dienen. Die Normalstauhöhe lag etwa in der Grösse von 3 bis 4 m und wurde vor allem durch die Pfeilerbankette bewirkt. Auch die heutigen Reste vermit-

teln noch einen imponierenden Eindruck von diesem grossen Zweizweckebauwerk. Es wirkt in seinem Typ in den Wehrbauten orientalischer Länder noch bis heute stark nach. Leider kann dieser interessanten Weiterentwicklung im Rahmen dieses Berichtes nicht nachgegangen werden.

Wir wollen uns statt dessen noch einmal dem Gärgär-Kanal zuwenden. Dort wurde damals am unteren Ende, das heisst am Beginn der Schluchtstrecke, ein Staudamm errichtet, der das Wasser im Kanal aufstaute und auf beiden Ufern in Stollen durch den Fels zwang (Bild 25). Die beiden Stollen am linken Ufer dienten der Hochwasserentlastung. Der Stollen am rechten Ufer aber bediente ein System von Mühlenkraftwerken, das heute noch existiert, ebenso wie die Stollen auf beiden Ufern. Da man die ganze Fallhöhe damals nicht in einer Stufe verarbeiten konnte, erfolgte der Ausbau in zwei Stufen mit einem Zwischenbecken.

An die Stelle des alten Staudammes ist eine Staumauer getreten (Bild 26), an der die folgenden zwei Jahrtausende



Bild 27
Die Gärgär-Schlucht
stromab gesehen.



Bild 28
Obere Ausbaustufe in der
Gärgär-Schlucht
unterhalb der Altstadt
von Schuschtär.

mitgearbeitet haben. An ihrem Fuss befindet sich jetzt sogar eine moderne Wasserkraftanlage. Die alten Hochwasserstollen des linken Ufers sind noch in vollem Betrieb. Von der Staumauer nach oberwasser verläuft der alte Gärgär-Kanal in Richtung auf das etwa 1 km entfernte Verteilerwehr, Bend-e-Mizan, durch welches das Karunwasser hierher gelenkt wird.

Der Blick von der Staumauer ins Unterwasser (Bild 27) zeigt die Gärgär-Schlucht und links den Auslauf eines der Hochwasserstollen. Ganz rechts an den Steilhang der Zitadelle angelehnt befindet sich das Zwischenbecken (Bild 28), das den Mühlenkraftwerken der ersten Stufe am rechten Hang als Unterwasser dient. Das Zwischenbecken selbst zieht sich am Fusse des Steilhanges der alten Stadt hin und bietet nach links zahlreichen Mühlenkraftwerken der zweiten Stufe Auslass zum Fluss, der dieser Stufe ein natürliches Unterwasser bietet. Ein Teil dieser Mühlen ist noch in Betrieb, und man kann hier restaurierte Kraftwerke altiranischer Bauart sehen, die am Schluss noch zu behandeln sein werden. Auch die Ruinen zeigen noch, dass hier damals eine recht grazile Form des Wasserkraftausbaues gefunden wurde.

Etwa gleichzeitig mit dem Ausbau der Wehrbrücke bei Schuschtar wurde von Schahpur I. am Dez-Fluss im Zuge der Strasse nach Susa ein ähnliches gewaltiges Bauwerk errichtet. Es liegt in der jetzigen Stadt Dizful, deren Steilufer noch heute von Höhlen durchlöchert sind, in deren Kühle sich die Bewohner während der unerträglichsten Zeit des Sommers zurückziehen. Dieses Bauwerk bei Dizful ist wasserbaulich fast noch faszinierender, weil es aus einer äusserst interessanten Kombination von normalen Brückenteilen und Hohlpfeilern mit aufgesetzten Verkaufs- oder Repräsentationsbauten bestand. Die Bauweise im Wechsel von Brücken und Mühlenpfeilern lässt selbstverständlich den Gedanken an das Pfeilerkraftwerk unserer Tage kaum unterdrücken (Bild 29). Ausserdem soll der Wechsel in der Schichtung des Mauerwerkes die Mitarbeit der römischen Gefangenen nach Ansicht der Archäologen hier sogar besonders stark unter Beweis stellen (Bild 30).

Den heutigen Wasserbauer beeindruckt besonders die strömungstechnisch so sorgfältige Ausbildung der Pfeilerform, ebenso wie der bis heute stellenweise noch erhaltene

glatte Verputz (Bild 29). Die Pfeiler haben oberstromig Spitzbogenform, unterstrom sind sie — ganz modern! — rechtwinklig abgeschnitten. Vor allem die grossen Mühlenpfeiler zeigen oberstrom, deutlich aus Steinen sorgfältig gestaltet, die Form eines Schiffsbuges (Bild 31). Hinter dieser formbestimmenden Schalung befindet sich ein Bruchsteinmauerwerk ähnlich dem römischen «opus caementitium». Dieses enthält die notwendigen Öffnungen und Hohlräume für den Einbau der Mühlen im Pfeiler, die recht genau einem Pfeilerkraftwerk entsprechen.

Etwa 300 bis 400 m oberhalb des Wehres zweigt auf jedem Ufer ausserdem ein Ableitungskanal ab, rechts als offener Kanal, links auf etwa 500 m Länge als Stollen im Steilufer, der in den heutigen Höhlenwohnungen noch benutzt wird.

Und als letztes von den Wehren noch ein Grosswehr, aber ein junges. Es ist erst ca. 370 Jahre alt und gehört zur Märchenstadt Isfahan, der Haupt- und Residenzstadt des schon mehrfach erwähnten Schah Abbas d. Grossen. Er war der Erbauer der märchenhaften Paläste und Moscheen in Isfahan, aber auch gleichzeitig der Erbauer der in der Weite des ganzen Landes verteilten Karawanseerien mit den dazugehörigen Zisternen, die damals einen sehr wichtigen Faktor der Wasserwirtschaft darstellten.

Aber auch zahlreiche Grosswasserbauten entstanden in dieser Zeit um 1600 n. Chr., die man auch das persische Rokoko nennt. Unser letztes Beispiel ist denn auch ein Rokoko-Wehr. Es ist ebenfalls ein Brückenwehr von etwa 250 m Länge und liegt am Sajendeh-Fluss in der Stadt Isfahan selbst. Es ist ein repräsentatives Zwischenglied in der Entwicklung der Brückenwehre.

Von oberstrom (Bild 32) sieht man in der Mitte den beherrschenden, pavillonartigen Palastbau und im oberen Stockwerk der eigentlichen Brücke die zahlreichen eleganten Bogennischen. Von unterstrom ergibt sich ein ganz ähnliches sehr harmonisches Bild mit einer Terrasse vor dem Mittelpavillon. Zwischen den Bogennischen im oberen Stockwerk führt in der Mitte eine breite Strasse, auf der noch heute Lastwagenkolonnen und die letzten Kamelkarawanen ziehen, vor denen sich der Fussgänger aber in die sicheren Aussenbalustraden retten kann. An den Enden erweitert sich das schlossartige Gebilde jeweils zu einem Flügelpavillon, der den Uferanschluss betont (Bild 33).



Bild 29 Wechsel von spitzbogenförmigen Mühlen- und Wehrpfeilern am Dez-Wehr in Disful.



Bild 30 Römische Mauertechnik am Wehr in Disful.

Dieses — man möchte fast sagen bezaubernde — Bauwerk diente oben als Palast und Strassenbrücke, unten als Wehr, damals so wie heute. Der kunstsinnige Schah Abbas hielt dort seine Sommerfeste über dem kühlen Wasser ab mit Beleuchtung, Feuerwerk, Barkenkorso auf dem Stausee, mit Bauchtänzerinnen und Musik und allem, was dazu gehörte, ganz so, wie man es sich nach den Beschreibungen in orientalischen Märchen vorstellt. Hier sind solche Märchen offenbar wirklich einmal auch Tatsache geworden.

Der untere Teil des Bauwerkes enthält die Durchflusskanäle und jeweils in deren Mitte das regulierfähige Wehr. Dort sehen wir auch die Anschläge für die geeigneten Wehrnadeln oder Dammbalken und die Bedienungsplattform (Bild 34). Auch hier im technischen Teil ist eine grossartige architektonische Gestaltung im grossen wie im Detail zu beobachten. Die Pfeiler sind an der Stelle der Wehrnische nochmals durch Gewölbe unterbrochen, die einen räumlichen Ausblick und ausserdem für die verantwortliche Bedienung einen praktischen Ueberblick über das ganze Wehr, also auch eine gute Befehlsübermittlung erlauben (Bild 35).

Auf beiden Seiten treten jeweils in der letzten Brückenöffnung die Ableitungskanäle aus dem Bauwerk, um das Wasser in die ufernahen Gärten zu verteilen, wo es eine verschwenderische Vegetation hervorrief. Ueberläufe nach



Bild 31 Schiffsbugförmige Hohl Pfeiler des Wehres in Disful.

dem Fluss zu schützen diese Kanäle vor Ueberlastung bei Ueberstau und Hochwasser. Der Normalstau der Anlage beträgt etwa 3 bis 3,5 m.

Auch das sonst so leidige Tosbeckenproblem ist hier angefasst. An die Wehrschwelle schliesst sich ein ziemlich langer steinerner Schussboden an, ähnlich demjenigen bei vielen alten alpenländischen Wehren (Bild 33). Wenn ein solcher Schussboden uns auch heute hydraulisch nicht mehr ganz befriedigt, so verlegt er doch den kritischen



Bild 32
Das grosse Sajendeh-Wehr
in Isfahan von unterstrom.

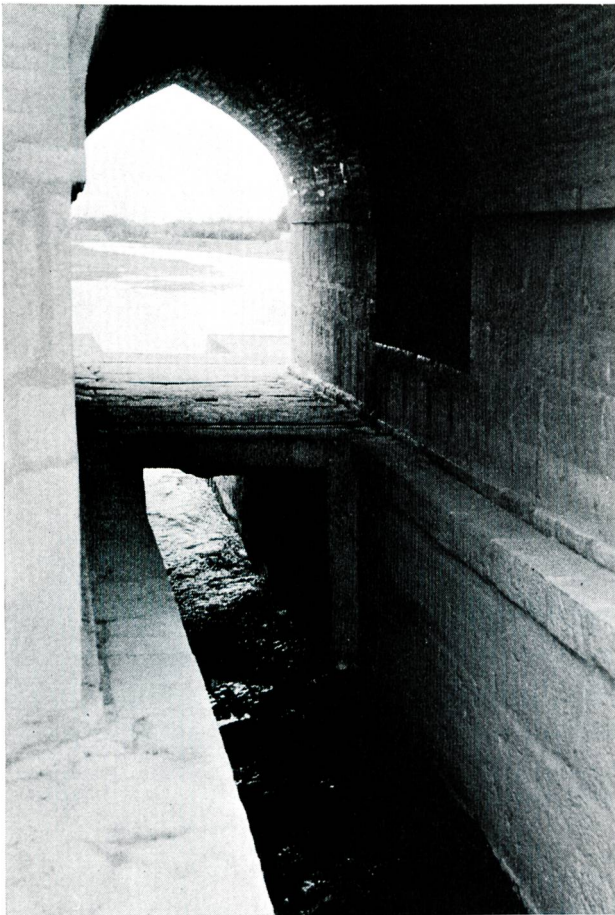


Bild 33 Eine der Regulieröffnungen des Wehres in Isfahan.

Kolkbereich so weit vom Bauwerk nach unterstrom, dass keine Gefahr mehr für dieses besteht. Bei grösseren Abflüssen entstehen ausserdem jeweils an der Erweiterung am Ende der Durchflusskanäle in der schiessenden Strömung Stosswellen, die sich treffen und weiterhin zum Energieumsatz beitragen.

Etwas unterstrom dieses Meisterwerkes der Wasserbaukunst und der Architektur besteht, aus der gleichen Zeit stammend, noch heute eine Kanalbrücke über den Fluss. Allerdings gleitet heute nicht mehr Wasser durch ihr Gerinne auf das andere Ufer, sondern zu bestimmten

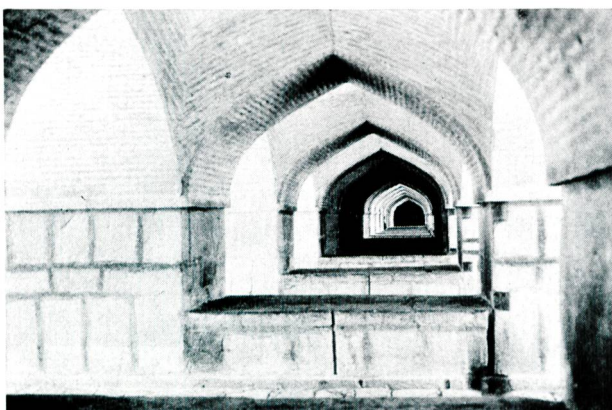


Bild 34 Gewölbter Durchbruch der Pfeiler in Wehrachse im Isfahan-Wehr.

Zeiten ein Strom von Radfahrern. Damals führte dieses Aquädukt offenbar auch den linken Ableitungskanal über den Fluss auf das rechte Ufer in die kaiserlichen Gärten.

V.

Und zum Schluss noch der versprochene Blick in ein alt-iranisches Wasserkraftwerk. Wir besuchen dazu nochmals die teilweise noch in Betrieb befindlichen Anlagen Bend-e-Emir und Schushtar.

Man konnte die bis zu 8 m hohen Wasserdrücke vor den Turbinen nicht mit Verschlüssen beherrschen. Deshalb befindet sich vor jeder Turbine ein siloartiges Wasserschloss (Bild 36). Das ist ein runder gemauerter Schacht, der oberhalb der Turbine angeordnet ist und den Zufluss an seinem oberen Rand aufnimmt, wo er durch Steckschütze leicht reguliert werden kann. Am unteren Ende dieses Schachtes, der bis zu 2 m Durchmesser haben kann, befindet sich ein stark verengender düsenartiger Auslauf. Der dort austretende Strahl trifft direkt auf die Holzschaufeln eines Turbinenrades mit senkrechter Welle (Bild 37), von wo er unmittelbar ins Unterwasser abfällt.

Heute sehen wir solche Wasserschlösser mit ihren Einläufen meist alt und verfallen. Die Ueberbauten sind häufig bereits verschwunden. So erscheinen beispielsweise die verfallenden Auslaufkanäle zweier noch arbeitender Turbinen am Bend-e-Emir nicht mehr sehr vertrauenerweckend (Bild 38). Restauriert sieht ein solches Kraftwerk jedoch recht passabel aus. Das möge ein Blick auf ein solches wiederhergestelltes Kraftwerk in Schushtar zum Vergleich unter Beweis stellen (Bild 39). Dabei sind zwei solcher Einlaufschächte zu sehen, beim linken kann man auch noch gut die regulierfähigen Einlauföffnungen erkennen.

Das Laufrad einer solchen Turbine (Bild 37) besteht aus einer hölzernen Achse, die unten kopfartig verdickt ist und Schlitzte enthält, in die scheibenartige Schaufeln aus Holz eingesetzt werden. Sie sind am Aussenrand durch ein elastisches Band gehalten. Am unteren Ende läuft die vertikale Turbinenachse in einem eisernen Spurlager. In ihrer Mitte ist sie in einem aus hartem Mörtel gebildeten langen Halslager gehalten, das in der Decke der Turbinenkammer sitzt. Ihr oberes Ende ragt in das darüberliegende Stockwerk hinein und trägt ganz oben den Mühlstein, genauso wie heute einen Schirmgenerator (Bild 36).

Das Mehl läuft im gleichen Stockwerk in einen gemauerten Behälter etwas unterhalb der Mühlsteine. Das zu mahlende Korn kommt vom Stockwerk darüber durch ein Rohr im Mauerwerk auf eine Rutsche, die vom Mühlstein automatisch über eine Nocke in Schwingung gehalten wird, so dass das Korn wohl dosiert und gleichmässig in den Mahlgang kommt (Bild 40). An- und Abtransport gehen in getrennten Ebenen bequem vor sich, unten für das Mehl und oben für das Korn. Das Bauwerk trägt also auch den betrieblichen Arbeitsvorgängen und sogar der Organisation des Transportes Rechnung. Das war notwendig, weil oft viele solcher Einheiten nebeneinander standen.

Selbst Alter und Verfall können nicht darüber hinwegtäuschen, dass es sich hier zur Zeit der Hochblüte einmal um eine sehr wohldurchdachte Form der Wasserkraftnutzung gehandelt hat, die es sicher wert ist, in einer restaurierten Form unter Denkmalschutz gestellt zu werden.

Bild 35
Schussboden des Wehres
in Isfahan.



VI.

Die Zahl der altiranischen Grosswasserbauten ist in Wirklichkeit erheblich grösser. Der Verfasser hat sich bewusst auf die Anlagen beschränkt, die er selbst gesehen hat und es sind ihm nur noch zwei weitere Anlagen bekannt:

Die eine davon bringt hier nichts Neues. Die andere liegt in einem Bergfluss unmittelbar an der Strasse oberhalb der Dichterstadt Schiras. Sie ist eine verhältnismässig kleine Gewichtsstaumauer und dadurch interessant, dass sie den Eindruck aufkommen lässt, schon damals als Hochwasser-Rückhaltebecken gedacht zu sein zum Schutze der Stadt vor den kurzen aber plötzlichen Abflüssen dieses Bergbaches. Heute ist das kleine Stau-becken jedoch total verlandet und das wahrscheinlich schon seit langer Zeit.

Dr. Kuros hat einen erweiterten Bericht über diese Bauten in persischer Sprache im Herbst 1971 aus Anlass des 2500jährigen Bestehens der iranischen Monarchie veröffentlicht. Leider existiert davon noch keine Uebersetzung. Immerhin geht aus allen diesen Beispielen einiges recht klar hervor, nämlich:

dass der konstruktive Grosswasserbau schon eine sehr alte und ehrwürdige Zunft ist und dass wir eher darauf als

auf unsere Neuerungen stolz sein sollten. Eine grosse Zahl der von uns heute benutzten Begriffe und Einrichtungen ist schon recht alten Ursprungs. Die grundsätzlichen Fortschritte in unserem Fach, die uns zu grösseren Leistungen instand setzen, scheinen dem Verfasser vor allem auf den

Bild 37 Turbinenlaufrad eines Mühlenkraftwerkes.

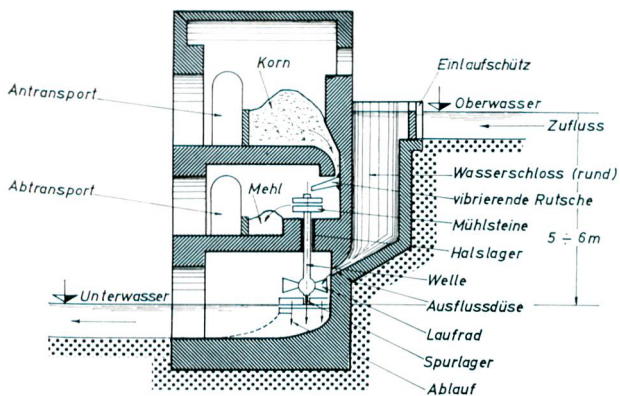


Bild 36 Querschnitt eines klassischen altiranischen Mühlenkraftwerkes.

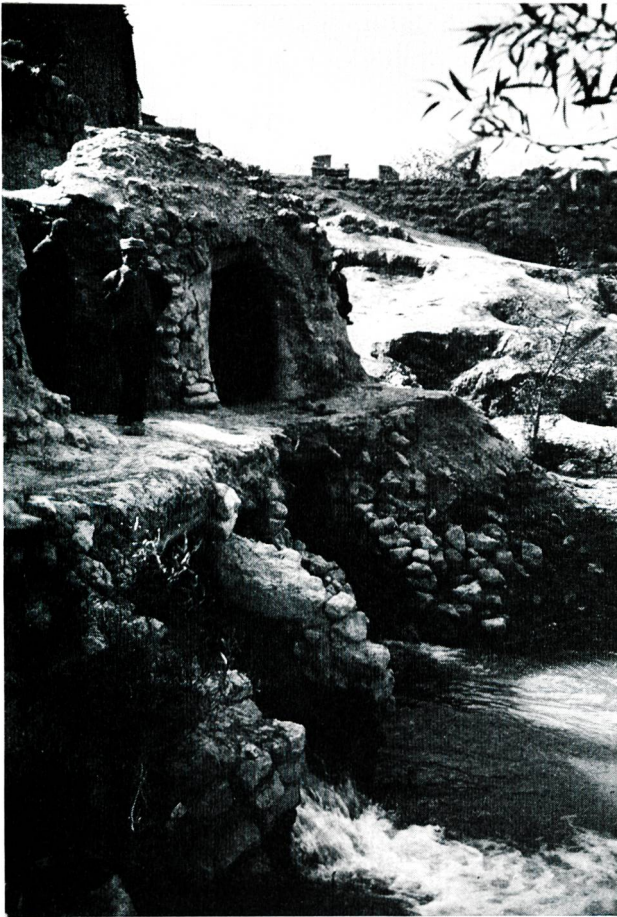


Bild 38 Verfallenes Krafthaus und Auslauf am Bend-e-Emir (in Betrieb!)



Bild 39 Restauriertes Kraftwerk in der Gärgär-Schlucht (in Betrieb!)

Gebieten der Gründungstechnik und der Hydromechanik bzw. der Strömungstechnik zu liegen, wenn man von der Baustoffentwicklung in Richtung Beton und Stahl einmal absieht, die ja nicht nur für den eigentlichen Wasserbau typisch ist.

Des weiteren zeigt sich dabei besonders deutlich, wie sehr die Ingenieur-Archäologie bisher vernachlässigt worden ist. Man hört von Moscheen und Palästen, vielleicht auch von Burgen und Brücken, aber kaum mehr als Gerüchte von den grossen Wasserbauten alter Zeiten, die sich — ganz abgesehen von ihrer technischen Bedeutung — auch durchaus als Monumente sehen lassen können, wie durch die Bilder zu diesem Aufsatz hoffentlich «ad oculos» demonstriert werden konnte. —

Man kann in dieser Vernachlässigung einen weiteren Beweis dafür sehen, wie sehr wir Ingenieure schon immer unser Licht unter den Scheffel stellten. Es wird höchste Zeit, dass auch diese alten Wasserbauten in aller Welt sachgemäss geschützt und als Monumente der Menschheitsgeschichte behandelt werden, wie es ihnen zukommt. Das um so mehr, als sie nicht, wie manche anderen hochverehrten Bauwerke, der Gewalt oder der Unterdrückung dienten, sondern in erster Linie dem Leben, dem Frieden und der Freude.



Bild 40 Mahlanlage mit schwingender Korneingabe im Mühlenkraftwerk Bend-e-Emir.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. Ing. F. Hartung
Vorstand des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau
an der Technischen Universität München
Arcisstrasse 21, München

Bildernachweis:

Bild 1 Planskizze F. Hartung
Bilder 2/17, 19, 22/24, 26/35, 37/40 Fotos F. Hartung
Bilder 18, 20, 21, 25, 26, Planskizzen Graal v. Roggen