Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 65 (1973)
Heft: 5

Artikel: Alte Talsperren in Spanien
Autor: Schnitter, Niklaus
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921140

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: 12.07.2025

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

ALTE TALSPERREN IN SPANIEN

DK 627.8(46)

Niklaus Schnitter

1. Altertum

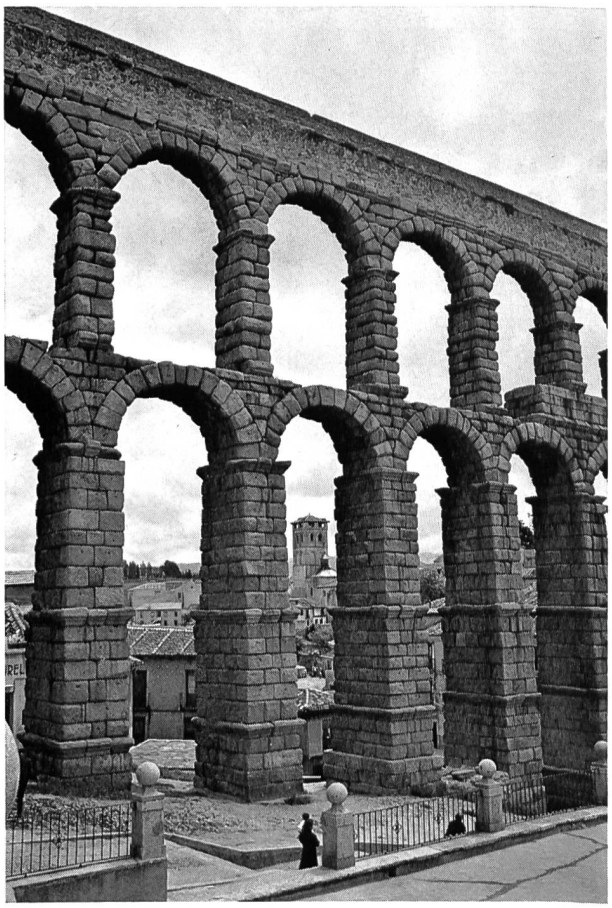
Spanien weist nach Japan, der Schweiz und den USA nicht nur die viertgrösste Dichte an Talsperren pro Einwohner auf[1], sondern ist neben Japan (älteste Talsperre 162 n. Chr. erstellt) auch das Land mit der längsten ungebrochenen Talsperrenbaugeschichte [1]. Wie in einem Mittelmeerland kaum anders zu erwarten, gehen deren Anfänge auf die Römer zurück, welche 207 v. Chr. im Gefolge des zweiten punischen Krieges in Spanien Fuss fassten. Und wie in den andern Provinzen ihres Reiches entfalteten die Römer auch in allen Teilen der iberischen Halbinsel die für sie so charakteristische intensive Bautätigkeit. Aus dem Gebiet des Wasserbaus sind deren wohl bekanntesten Zeugen die Aquäduktsbrücke von Tarraco (= Tarragona, südwestlich von Barcelona) und vor allem diejenige von Segovia (nordwestlich von Madrid), welche in ihrer Leichtigkeit und Eleganz eine Spitzenleistung des Brückenbaus schlechthin darstellt [2] (Bilder 1 und 2).

Eine der ältesten römischen Wasserversorgungen in Spanien war die von Toletum (Toledo), welche aus dem 2. Jahrhundert v. Chr. datierte. Der 38 km lange Aquädukt hatte seinen Ursprung am Guajaraz südlich der Strasse von Mazarambroz nach Cuerva im Süden von Toledo. Doch statt aus den gewöhnlich bevorzugten Quellfassungen, stammte das Wasser in diesem Falle aus einem kleinen Staubecken, dessen später mit dem arabischen Namen Alcantarilla versehener Talabschluss eine grösste Höhe von 14 m und eine Kronenlänge von etwa 550 m erreichte. Er bestand aus einer Mauer mit einem luftseitigen Stützkörper aus Erde, der anlässlich einer zu raschen Stauabsenkung die Mauer wasserseits eindrückte und so zur Zerstörung der Talsperre führte [3].

Noch intakt und sogar in Betrieb ist die gleich konstruierte Talsperre Proserpina nördlich von Emerita Augusta (Merida) in Südwestspanien [4] (Bilder 3 bis 5), weil ihre Stauwand bei nur 12 m grösster Höhe einiges massiver gestaltet wurde. Auch erfolgte bei ihr die Fussverbreiterung nun korrekt zur Wasserseite hin, an der sich zudem noch Stützpfeiler im Bereich der grössten Mauerhöhe befinden. Der Mauerquerschnitt besteht aus einer wasserseitigen Quadersteinmauer und einer luftseitigen Bruchsteinmauer, zwischen die ein Betonkern eingebracht wurde. Im Grundriss weist die 427 m lange Mauer einen Knick auf, und an jedem der beiden Schenkel ist luftseitig ein Fassungsschacht von etwa 4,0 auf 4,5 m lichtem Querschnitt und 10 beziehungsweise 15 m Tiefe angebaut. Nahe den Schachtsohlen befinden sich sowohl die Verbindungsöffnungen zum 3,5 Mio m³ fassenden Stausee als auch die Anschlüsse an den Aquädukt nach Merida. Dieser war 12 km lang und überwand kurz vor seinem Eintritt in die Stadt eine Talsenke auf einer grossartigen, 827 m langen und bis 25 m hohen Bogenreihe. Die Zeit der Erstellung der Anlage ist ungewiss. Einerseits könnte sie bald nach der Gründung von Merida, 25 v. Chr., als Hauptstadt einer der drei augustäischen Provinzen Spaniens entstanden sein. Andererseits wird sie in die Regierungszeit Trajans (98—117) datiert, welcher als erster Kaiser provinzialischer Herkunft aus Südwestspanien stammte.

Etwas jünger dürfte der Erddamm Cornalvo sein, welcher ebenfalls der Wasserversorgung von Merida diente (Bilder 3 und 6). Das 15 m hohe und 194 m lange Bauwerk staut einen Speicher von über 10 Mio m³ Inhalt, der noch heute genutzt wird, nun allerdings zu Bewässerungszwekken. Die 1936 restaurierte wasserseitige Hälfte des Dammquerschnitts besteht aus sich kreuzenden Längs- und Quermauern, deren Zwischenräume mit Lehm und Steinen gefüllt und wasserseits von einer 2:3 geneigten, steinverkleideten Betonplatte abgedeckt sind. Luftseitig befindet sich ein 1:3 abgeböschter Stützkörper aus Erde. Bemerkenswert gut erhalten ist auch der wasserseits vorgelagerte Entnahmeturm von 4,5 auf 4,5 m Grundriss, in den das Wasser durch kleine Oeffnungen auf verschiedenen Höhen eintritt und den es durch ein Rohr durch den Dammfuss verlässt. Der anschliessende Aquädukt nach Merida war 25 km lang.

Leider nur noch als Ruine auf uns gekommen ist die dritte der römischen Talsperren um Merida, diejenige von Esparragalejo (Bild 3). Obschon kleiner als die beiden vorbeschriebenen, ist sie doch von besonderem Interesse,



[1] Einwohner pro Talsperre von über 15 m Höhe (Stand 1968): Japan 50 000, Schweiz 55 000, USA 72 000 und Spanien 98 000.

[] Hinweis auf Literaturverzeichnis am Schluss dieses Berichtes.

weil bei ihr die Stauwand nicht durch eine Erdschüttung, sondern von luftseitigen Pfeilern gestützt gewesen zu sein scheint. Damit hätte hier die erste Pfeilermauer der Welt vorgelegen!

2. Mittelalter

Neben den dargestellten Bauten zur Wasserversorgung sind von den Römern keine entsprechenden Anlagen für die Bewässerung bekannt. Solche in grösserem Masse einzuführen, war den Muslimen oder Mauren, wie sie in Spanien genannt wurden, vorbehalten, welche nach 711 den grössten Teil der iberischen Halbinsel besetzten [5]. Das vom sich mit unerhörter Geschwindigkeit ausbreitenden neuen Glauben vereinte Völkergemisch der Eroberer stammte ja auch weitgehend aus Ländern, in welchen die Bewässerungstechnik lebensnotwendig war und deshalb auf eine sehr lange Tradition zurück blickte.

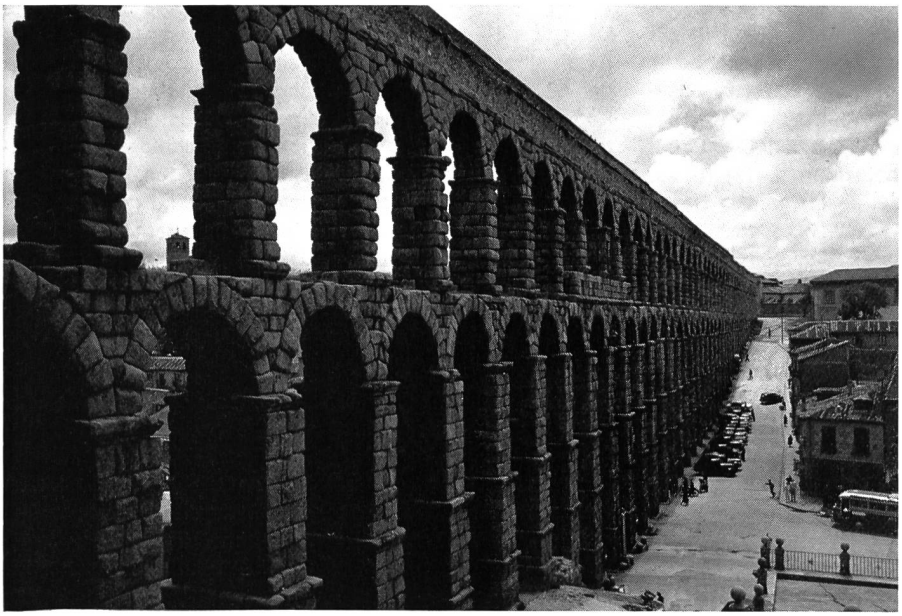
Letzteres galt insbesondere von den Aegyptern, obschon deren urtümliche Ueberflutungsmethode, mangels eines dem Nil vergleichbaren Stromes, in Spanien kaum angewandt werden konnte. Hingegen haben wohl sie die zur Zeit der achaimenidischen Herrschaft über Aegypten (525 bis 332 v. Chr.) von den Iranern übernommene Technik der Qanate, das heisst der von vielen Vertikalschächten aus vorgetriebenen Grundwasserfassungsstollen, in Spanien eingeführt, von wo sie dann später nach Mexiko, Kalifornien, Peru und Chile reexportiert wurde [6].

Als weiteres iranisches Erbgut brachten die Mauren das Wasserschöpfrad nach Spanien, und zwar sowohl die durch menschliche oder tierische Kraft angetriebene «sinia» (spanisch, vom arabischen «saiya») als auch die die Wasserkraft nutzende «noria» («naura») (Bild 7). Letzteren Typ hatten insbesondere die Syrier zu grosser Vollkommenheit entwickelt, welche sich nun in Cordova und Valencia niederliessen und daselbst ihre um Damaskus zu hoher Blüte gebrachte Bewässerungskunst anwandten.

Im vorliegenden Zusammenhang von besonderem Interesse sind jedoch die um Alicante und Elche in Südostspanien angesiedelten, südarabischen Yemeniten, verfügten sie doch im Rahmen ihrer alten Bewässerungstechnik über eine bedeutende Tradition im Talsperrenbau [7]. Dessen Prunkstück war der aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. stammende, beidseitig mit mächtigen Auslass- und Entlastungsbauwerken aus Quadermauerwerk versehene, grosse Erddamm von Marib, welcher die Lebensgrundlage für das legendäre Reich von Saba bildete [8]. Aber auch die Himyar, welche um 300 n. Chr. die Vorherrschaft über Yemen an sich rissen und sich zum christlichen und später zum jüdischen Glauben bekannten, pflegten den Talsperrenbau, erwähnte doch ihr Herrscher Abukarib Asad um 400 n. Chr. das Vorhandensein von achtzig Dämmen allein im Gebiet zwischen seiner Hauptstadt Zafar und Ibb [9]. Weitere vorislamische Talsperren sind bekannt bei Dahr, nördlich von Sana, und sogar bei Khaibar, nördlich von Medina, in Mittelarabien. Im letztgenannten Gebiet entstanden Ende des 7. Jahrhunderts, also in frühislamischer Zeit, auch die beiden ansehnlichen Gewichtsstaumauern Saisad und At-Tomallaqi bei Taif, östlich von Mekka [10]. Inzwischen war der Erddamm von Marib im Jahre der Geburt Mohammeds (570—632) zum dritten und letzten Male gebrochen, was so schwerwiegende Folgen hatte und den Propheten so tief beeindruckte, dass er das Ereignis als Strafe Gottes für die vom rechten Weg abgewichenen Sabäer auslegte (Koran 34. Sure, Vers 14 ff).

Alle diese arabischen Talsperren sollen nach der Meinung einiger Forscher [1, 5 und 8] lediglich zur Anhebung und Fassung des Wassers bestimmt gewesen sein, und nicht auch zu dessen Speicherung. Obschon diese Interpretation in solch genereller Formulierung zumindest zweifelhaft erscheint, so trifft sie wenigstens für die ältesten aus der maurischen Zeit erhaltenen Bauwerke in Spanien zu, welche auch konstruktiv eher den Charakter von Wehren als von Talsperren haben. Ihre spanische Bezeichnung «azud» geht auf das arabische Wort «sudd» (beziehungsweise mit Artikel «al sudd») zurück, welches seinerseits vom Werb «sadda» für «schliessen» abgeleitet ist. Der älteste erhaltene Azud stammt aus dem Anfang des 10. Jahrhunderts, in welchem das maurische Spanien seine höchste Blüte erreichte. Es ist dies das mehrfach abgewinkelte und deshalb 425 m lange Wehr unterhalb der rö-

◀ Bilder 1 und 2 ▼ Um 100 n. Chr. erstellte römische Aquäduktsbrücke in Segovia (grösste Höhe 28 m, Länge 813 m, Bogenspannweite zirka 4,5 m).



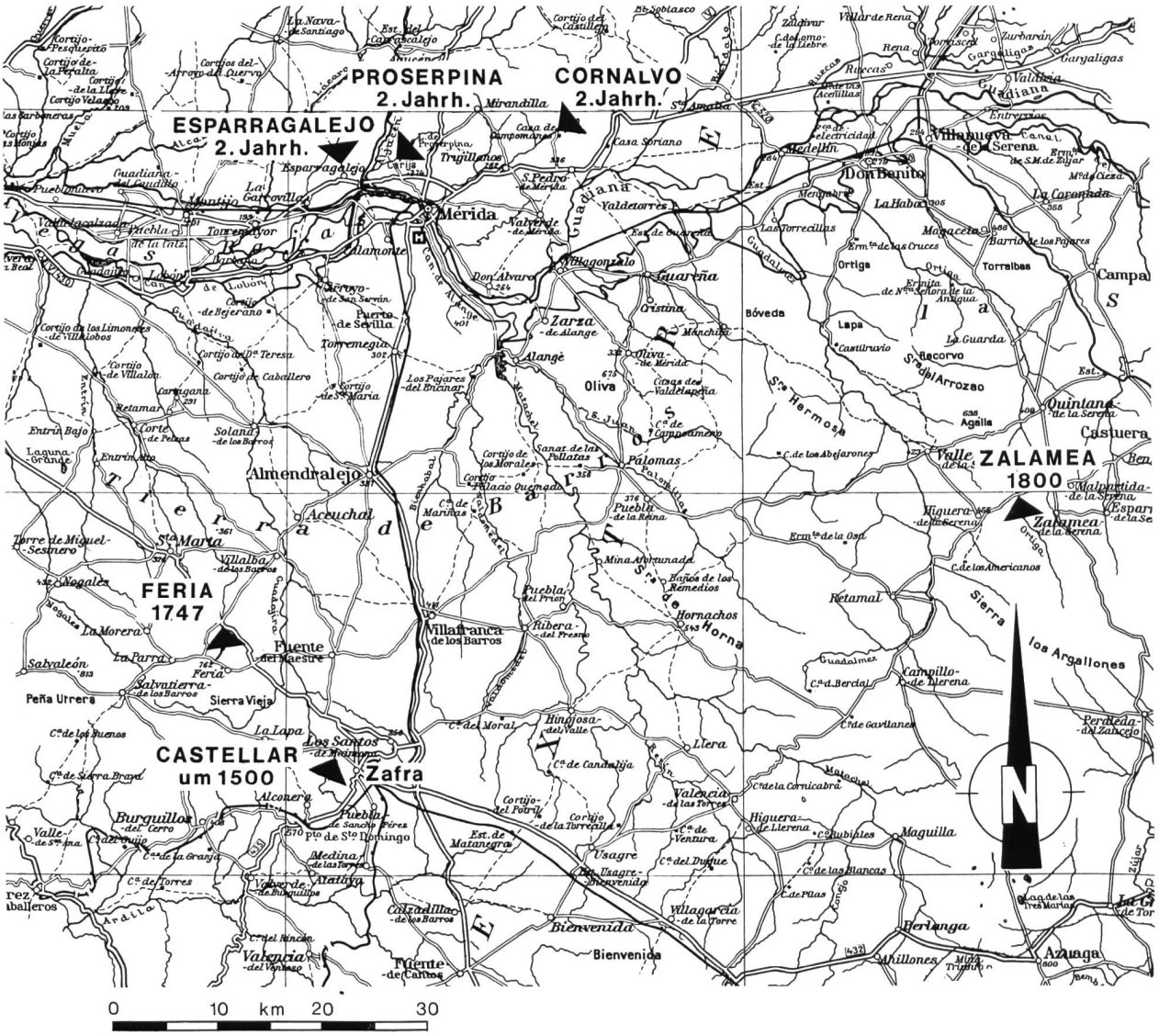


Bild 3 Kartenausschnitt des Gebietes südlich von Merida in Südwest-Spanien mit Eintragung der historischen Talsperren.

mischen Brücke über den Guadalquivir in Cordova. Nur wenig jünger sind die acht, 2 bis 3 m hohen und 60 bis 70 m langen Azudes im Flusse Turia, welche noch heute die Hauptkanäle des hochentwickelten Bewässerungssystems von Valencia speisen.

Am grössten und wohl auch am typischsten ist aber das Wehr Jabali am Segura, oberhalb Murcia [11] (Bilder 8 und 9). Das etwa 8 m hohe und auf seiner ganzen Länge überströmbare Bauwerk besteht aus zwei Teilen. Der in den Kiessand des Flussbettes gegründete, 150 m lange Hauptteil ruht angeblich auf einem Pfahlrost und weist eine Breite von 50 m auf, ein Mass, das sich, ohne Dichtungsschürze und unter Berücksichtigung des Ueberstaus bei Hochwasser, auch nach unsern heutigen Dimensionierungsregeln ergibt. Anders als mit einem der heute üblichen Tosbecken lösten die maurischen Baumeister hingegen das Problem der Umwandlung der Energie der überfallenden Wassermassen. Auf einen im Grundriss mehrfach abgewinkelten Ueberfall von etwa 4 m Höhe liessen sie abwechselnd zwei ganz leicht geneigte und zwei horizontale, mit Quadersteinen verkleidete Sturzböden folgen, um so eine möglichst grosse Energieverzehrung durch Reibung zu erzielen. Von dieser Anlage ist heute nur noch die luftseitige Hälfte sichtbar, während die wasserseitige mit Beton überdeckt wurde. Viel einfacher ausgebildet wurde der 50 m lange und 0,6 m höhere Nebenüberfall. Auf den Konglomeraten der Flussufer gegründet ist er nur 38,5 m breit und besteht lediglich aus einem schrägen Ueberfallrücken und einem horizontalen Sturzboden. Die beiden Wehrteile sind durch eine geneigte Leitwand getrennt. Aus dem Wehrstau gehen an beiden Flussufern die Hauptkanäle zum weitverzweigten Bewässerungssystem um Murcia ab.

3. Neuzeit

3.1 ÜBERGANG

Die erste wirkliche Talsperre Spaniens seit der römischen Zeit wurde bei Almonacid de la Cuba, 40 km südlich von Zaragoza, am Aguasvivas gebaut. Dabei handelt es sich um eine Gewichtsstaumauer aus Mauerwerk mit der Rekordhöhe von 30 m und über 100 m Kronenlänge, deren Staubecken heute völlig verlandet ist und bebaut wird. Die Anlage wird ins 11. bis 13. Jahrhundert datiert, das heisst in

die Zeit knapp vor oder nach der Rückeroberung des betreffenden Gebietes durch die Christen (Zaragoza ging 1118 den Mauren verloren).

Eindeutig nördlich der sich ab etwa 1030 stetig nach Süden vorschiebenden «Front» der Reconquista, die nach 1260 nur noch das Emirat von Granada in den Händen der Mauern liess (bis 1492), entstanden alle nächstfolgenden Talsperren zur Wasserspeicherung. Man hat deshalb geglaubt, in ihnen eine spezifisch «christliche» Technik sehen zu müssen [1], obschon im übrigen Europa jener Zeit, abgesehen von den meist bescheidenen Mühle- und Fischteichen, jegliche Vorbilder für grössere Speicherseen oder gar Staumauern fehlten. Ferner ist zu bedenken, dass die christliche Rückeroberung, wie seinerzeit wohl auch die maurische Eroberung, fürs erste einen Wechsel der militärisch-politischen Führungsschicht bedeutete, während sich die Infrastruktur erst hinterher und nur allmählich wandelte. So hielt sich zum Beispiel in der Architektur auch der zurückeroberten Gebiete der maurische Mudejar-Stil bis Anfang des 15. Jahrhunderts und erst Ende desselben Jahrhunderts erfolgte die Vertreibung der nicht zum Christentum übergetretenen Mauren (und Juden). Bis dahin spielten diese, namentlich im bereits 1085 christlich gewordenen Toledo, eine wesentliche Rolle als Vermittler des von den Muslimen im Nahen Osten aufgenommenen und weiter gepflegten griechisch-römischen Erbgutes.

Besonders starke Impulse gingen dabei immer wieder von Iran aus, das seine Kultur durch alle Einbrüche von innerasiatischen Kriegsvölkern hindurch bewahrte und weit nach Westen ausstrahlen liess. Dies galt auch für den iranischen Talsperrenbau, dessen von den Achaimeniden, Sassaniden, Bujiden und Ghasnawiden geförderte Entwicklung Ende des 13. Jahrhunderts von den mongolischen Ilchanen wieder aufgenommen wurde, um dann im 17. Jahrhundert unter den Seffewiden zu höchster Blüte zu gelangen [12]. Eines der bemerkenswertesten Bauwerke ist hiebei die um 1300 erstellte, 26 m hohe Bogenstaumauer Kebar, 170 km südwestlich von Teheran [13]. Obgleich die Krümmung sich nur auf die mittlere Hälfte der 55 m langen Mauer beschränkt und mit 40 ° Oeffnungswinkel sehr bescheiden ist, so stellt dies doch die erste Wiederverwendung der Bogenform im Talsperrenbau dar, seit den erheblich kleineren römischen Bauwerken im Vallon de Baume bei Saint-Rémy de Provence und bei Dara, an der syrisch-türkischen Grenze [14]. Ist es angesichts der mannigfaltigen kulturellen Beziehungen ein Zufall, dass relativ bald nach der Wiederbelebung des iranischen Talsperrenbaus in den alten maurischen Bewässerungsgebieten Südostspaniens der Bau von grossen Staumauern einsetzte, die zudem alle ebenfalls gebogen waren[2]?

3.2 SÜDOSTSPANIEN

Die älteste der nach-maurischen, aber möglicherweise über die islamische Kulturbrücke von den Entwicklungen in Iran beeinflussten Talsperren in Südostspanien entstand knapp westlich von Almansa zur Bewässerung des umliegenden Gebietes (Bild 8). Ihre ins Jahr 1384 datierten unteren zwei Drittel (Bild 10) weisen als hervorstechendstes Merkmal eine kräftige horizontale Krümmung auf (Bogenöffnungswinkel maximal etwa 74 °). Wohl anlässlich der Erhöhung von 1586 wurde die Wasserseite an den polygonalen Grundriss derselben angeglichen und zur Materialgewinnung missbraucht, so dass die ursprünglich konstanten Bogenstärken nur noch geschätzt werden können. Im zylindrischen untern Mauerteil betrug die Stärke etwa 15 m, um dann in richtiger Erkenntnis der Abnahme des Wasserdrucks nach oben auf 9 m an der Krone zurück zu gehen. Deren Schlankheit stellte sich bei einem mittleren Radius von rund 31 m somit auf nur 3,4. Als Baustoff wurde, wie bei allen nachstehend beschriebenen Bauten, Bruchsteinmauerwerk mit Kalkmörtel verwendet, sowie wasser- und luftseitige Verblendungen aus Quadersteinen.

Neben der Bogenform weist die Staumauer Almansa als wirklich erstmalige Neuerung einen Spülablass von 1,8 m² Querschnitt durch ihren Fuss auf, der wasserseits von einer verstrebten Bohlenwand verschlossen war. Hatte die Verlandung des Staubeckens ein gewisses Mass erreicht, so wurden zuerst die Streben gelöst, und wenn die Bohlen darauf nicht von selbst nachgaben, auch diese sukzessive entfernt. Eine äusserst gefährliche Arbeit, für die teilweise zum Tode Verurteilte eingesetzt wurden, die bei Gelingen der Operation begnadigt wurden. Dies war offensichtlich der Fall, wenn sich die Schlammablagerungen, auch nach

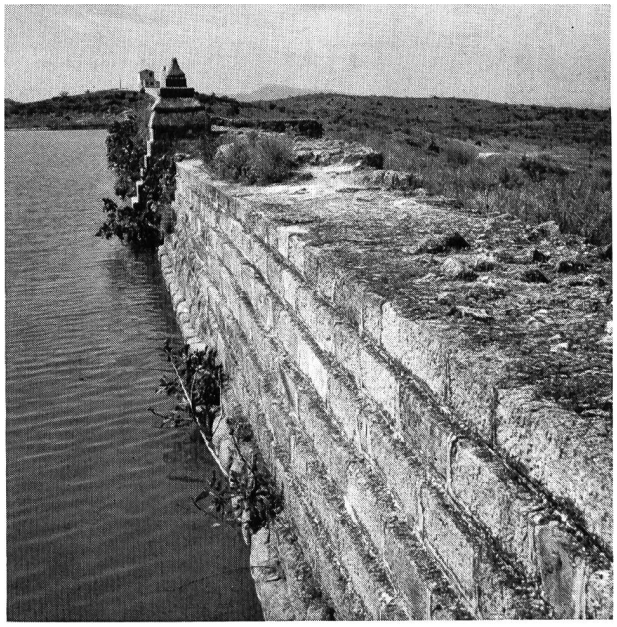


Bild 4 Wasserseite des römischen Erddammes Proserpina nördlich von Merida mit vorspringendem Stützpfeiler, dessen Aufsatz aus dem 17. Jahrhundert stammt (Höhe 12 m, Länge 427 m).

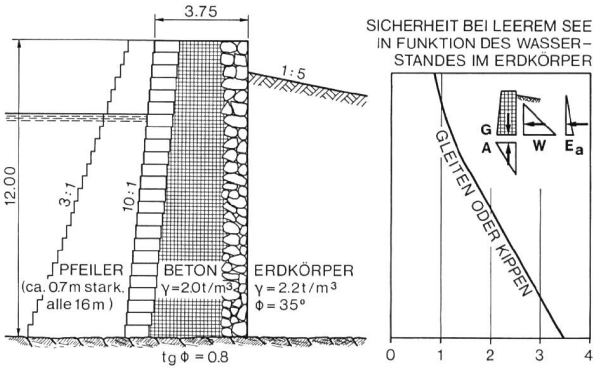


Bild 5 Querschnitt des römischen Erddammes Proserpina mit Standsicherheitsnachweis nach einer raschen Stauabsenkung.

[2] Eine Art Parallelfall stellen die unter den Osmanen, deren Reich sich im 16./17. Jahrhundert bis nach Iran hinein erstreckte, ab 1620 nördlich von Istanbul erstellten Talsperren dar, obgleich diese relativ wenig Aehnlichkeit mit den iranischen Bauwerken aufweisen.

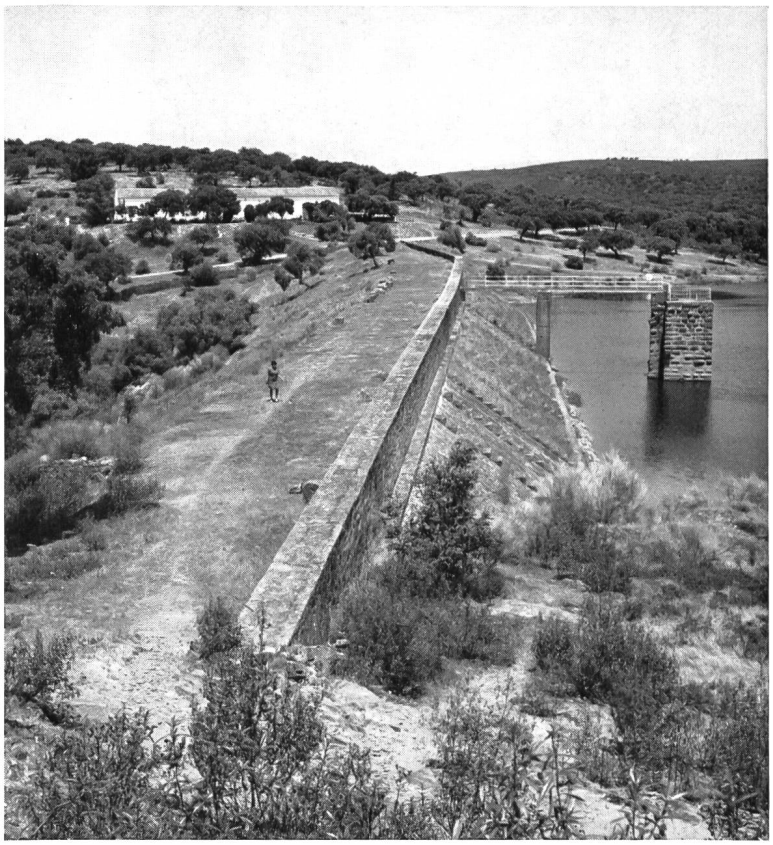


Bild 6 Der römische Erddamm Cornalvo nordöstlich von Merida mit vorgelagertem originalem Fassungsturm (Höhe 24 m, Länge 200 m).

Bild 7 Noria in Alcantarilla südwestlich von Murcia in Südost-Spanien.

Entfernung aller Bohlen, nicht in Bewegung setzten und durch Stochern von der Krone aus versucht werden musste, eine Wasserströmung zum Spülablass in Gang zu bringen. Trotzdem verminderte sich aber der nutzbare Stauinhalt im Laufe der Jahrhunderte von ursprünglich 2,8 auf heute 1,2 Mio m³. Die Speicherbewirtschaftung erfolgte mittels eines zweiten Grundablasses von 1,0 m² Querschnitt, der luftseitig durch eine Gleitschütze abgeschlossen wurde. Zur Hochwasserentlastung diente vorerst die Mauerkrone, und erst bei der Erhöhung von 1586 wurde anschliessend ans rechte Kronenende ein Ueberfall erstellt mit einer Ablaufrinne über den dortigen Felsrücken.

Zum Teil bereits erheblich raffiniertere hydraulische Anlagen kennzeichnen die 5,4 Mio m³ aufstauende Bogengewichtsstaumauer Tibi nordwestlich von Alicante (Bild 8). Einerseits erweitert sich der an und für sich grösser dimensionierte Spülablass noch diffusorartig von 4,8 m² Querschnitt an der Wasserseite auf einen solchen von 23,6 m² an der Luftseite. Andererseits wurde dem Entnahmestollen ein schmaler Vertikalschacht vorgeschaltet, welcher knapp hinter der Wasserseite liegt und mit dieser durch 52 Paare von kleinen Einlassöffnungen über fast die ganze Mauerhöhe in Verbindung steht. Diese Anordnung, welche die Wasserentnahme auch bei zunehmender Verlandung des Staubeckens sicher stellen sollte, war bereits am Entnahmeturm des vorstehend behandelten, römischen Dammes von Cornalvo bei Merida in Südwestspanien angewandt worden. Sie gehörte aber auch zur Standard-Ausrüstung aller iranischen Talsperren seit den oben erwähnten ilchanischen Bauten des ausgehenden 13. Jahrhunderts.

Für die Staumauer Tibi kennt man besonders viele Einzelheiten aus ihrer Baugeschichte [15]. So stammte das Projekt von einem Steinmetzmeister und einem andern Bürger aus dem unterliegenden Muchamiel, welche beide zumindest maurisch klingende Namen hatten. Im August 1579 erwarb die Gemeinde das erforderliche Land und ersuchte König Philipp II (1556 bis 1598) um die Baubewilligung. Dieser entsandte den schon von seinem Vater, Kaiser Karl V, in Dienst genommenen, italienischen Uhrmacher und Hydrauliker Juanelo Turriano (1500 bis 1585), welcher sich vor allem durch sein Wasserhebewerk vom Tajo zum Alcazar von Toledo hinauf einen Namen gemacht hatte, zur Begutachtung des Staumauerprojektes. Bereits am 17. August 1580 erfolgte dann die feierliche Grundsteinlegung. Doch schon nach Erreichung von knapp 6 m Mauerhöhe gerieten die Arbeiten ins Stocken und wurden erst 1590 wieder aufgenommen, nachdem König Philipp II auf entsprechende Petitionen hin ihre Fortsetzung bis 50 m Mauerhöhe angeordnet und eine entsprechende finanzielle Unterstützung zugesagt hatte. Ferner genehmigte er die pauschale Arbeitsvergebung und ernannte den, seinem Namen nach ebenfalls italienischen Ingenieur Cristobal Antonelli zum Bauleiter. 1594 gelangten die Arbeiten 8 m vor Erreichung der gewünschten Höhe wegen Finanzierungsschwierigkeiten endgültig zum Abschluss.

Doch auch mit nur 42 m grösster Höhe erreichte die Tibi-Sperre einen neuen Weltrekord, den sie während fast drei Jahrhunderten halten sollte. Letzteres erklärt zum Teil wohl die massiven Dimensionen des 36 400 m³ Mauerwerk umfassenden Bauwerkes (Bild 11). Die Mauerstärke beträgt 33,7 m am Fuss und noch 20,0 m an der Krone. Deshalb wäre die ohnehin schwache Krümmung im Grundriss (maximaler Oeffnungswinkel etwa 40 °), auch unter Einbezug des vollen Auftriebs auf die Fundamentsohle, statisch nicht notwendig gewesen.

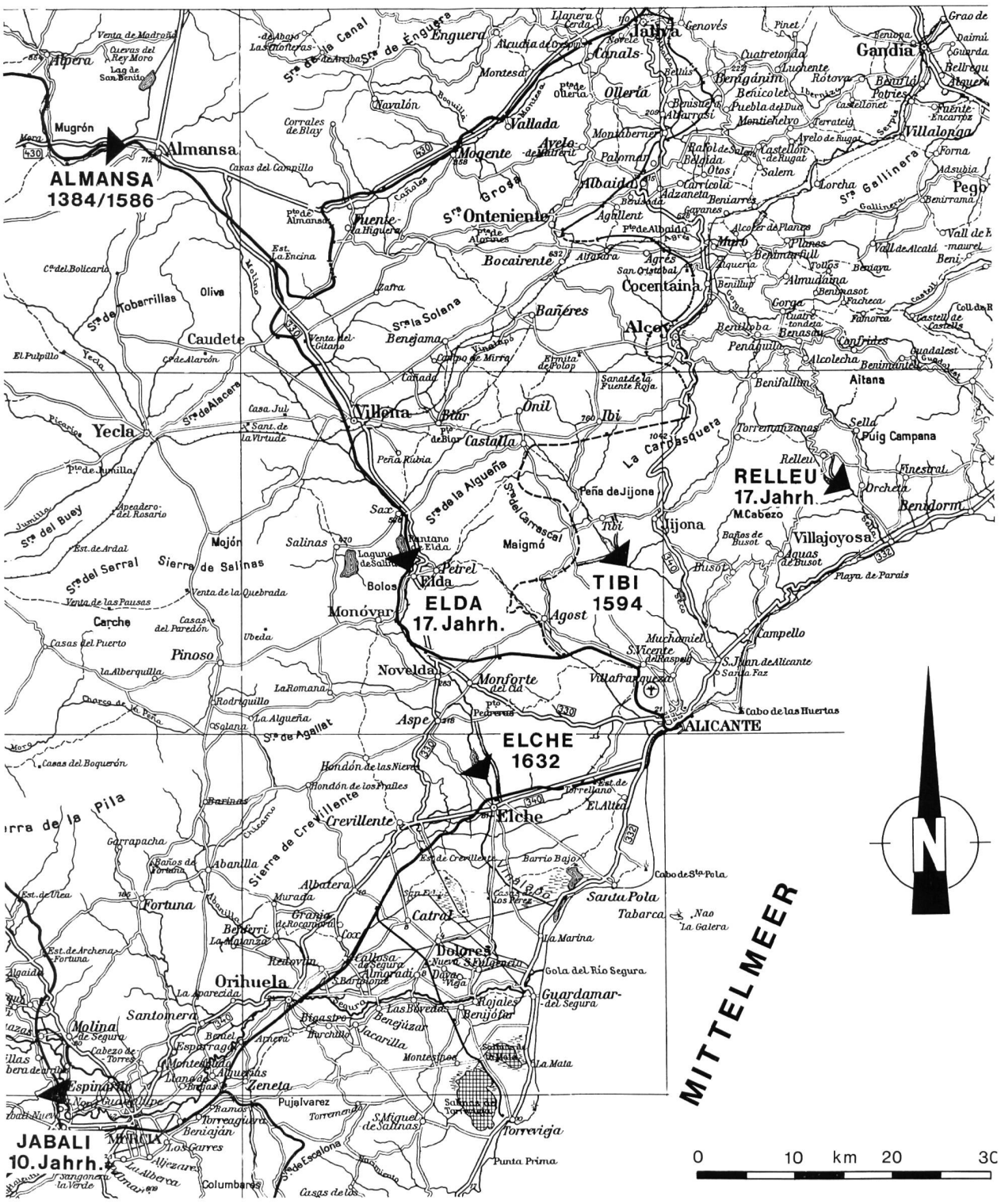


Bild 8 Kartenausschnitt des Gebietes um Alicante in Südost-Spanien mit Eintragung der historischen Talsperren.

Für die Standsicherheit wesentlich ist die Bogenform hingegen bei der der Bewässerung um Elche dienenden gleichnamigen Staumauer (Bild 8), deren Bau im selben Jahr wie die Fortsetzung der Arbeiten an der Tibi-Sperre bewilligt, aber erst 1632 aufgenommen wurde. Die Auslegung der Staumauer Elche nutzt sehr geschickt einen ins Tal vorspringenden Felssporn, auf welchem ein Widerlagerblock sitzt, der sowohl das Hauptgewölbe stützt als auch ein rechts anschliessendes kleines Nebengewölbe (Bild 12). Ganz rechts schliesslich sperrt eine kleine Gewichtsstaumauer eine schmale Runse jenseits des Felssporns. Eine ähnliche Runse verläuft hinter dem linken Widerlager des Hauptgewölbes, dessen oberste Partie daselbst ohne jede Verstärkung abrupt endet, während eine korrekt rechtwinklig anschliessende Flügelmauer den Stauabschlus zur Wasserseite hin vervollständigt.

Das Hauptgewölbe der Staumauer Elche weist an der Krone eine Länge von etwa 70 m und einen Oeffnungs-

Bild 9
Aus dem 10. Jahrhundert stammendes Wehr Jabali am Segura westlich von Murcia (Höhe 8 m, Länge 200 m).

winkel von 67 ° auf; es ist im wesentlichen zylindrisch, mit Schlankheiten von 6,8 bis 5,1 m und einer Fussbreite von 52 % der Höhe. Die elektronische Nachrechnung nach der Methode des einschnittigen Lastausgleichs zwischen einigen Bogen und der Mittelkonsole ergibt durchaus befriedigende Resultate (Bild 13) und bezeugt das feine statische Empfinden der seinerzeitigen Erbauer, die noch ohne jedwelches theoretisches Rüstzeug und mit einem minimalen Erfahrungsschatz auskommen mussten. Letzterer war etwas grösser in bezug auf die hydraulischen Anlagen, wurde doch das Spülverfahren noch einmal wesentlich verbessert durch die Anordnung eines separaten Bedienungsganges über dem Spülablass (Bild 14), von dem aus dieser in aller Sicherheit geöffnet werden kann. Die Wasserentnahme wurde ähnlich ausgebildet wie bei der Staumauer Tibi, und die Hochwasserentlastung erfolgt ebenfalls über die Mauerkrone.

Vergleichsweise eher einen Rückschritt, sowohl in hydraulischer wie in konstruktiver Beziehung, stellt die Staumauer Relleu nördlich von Alicante dar (Bild 8), welche ins 17. [1], aber auch ins 16. Jahrhundert [16], datiert wird. Auf alle Fälle gehen die obersten 5 m mit einer reduzierten Mauerstärke auf eine Erhöhung im Jahre 1879 zurück. Das 27 m hohe ursprüngliche Bauwerk weist eine zwischen 10,0 und 11,4 m veränderliche Mauerstärke auf, weil im Gegensatz zur lotrechten und leicht gekrümmten Luftseite (maximaler Oeffnungswinkel 22 °), die ebenfalls lotrechte Wasserseite geradlinig verläuft [16]. Entgegen dem äussern Anschein (Bild 15) beruht die Standfestigkeit der Mauer somit kaum auf Bogenwirkung, sondern diese arbeitet eher wie eine in der schmalen Schlucht verkeilte Dreiecksplatte. In der Tat beträgt die Spannweite auf der ursprünglichen Kronenhöhe knapp 30 m, und die untersten 7 m der Schlucht sind so eng, dass in ihnen gerade noch der Spülablass Platz fand. Dieser und die Wasserentnahme gleichen denjenigen der Staumauer Tibi, und als Hochwasserentlastung dient wiederum die Mauerkrone. Das arg verlandete Staubecken fasst heute noch 600 000 m³ und verliert bei Vollstau etwa 80 l/s durch den Kalk-Untergrund. Deshalb wurde die der Bewässerung um Villajoyosa dienende Anlage 1961 durch das unterliegende Speicherbecken Amadorio ersetzt.

Bild 10 Querschnitt der in den untern zwei Dritteln gebogenen Staumauer von Almansa in Südost-Spanien (Höhe 21 m, Länge 90 m).

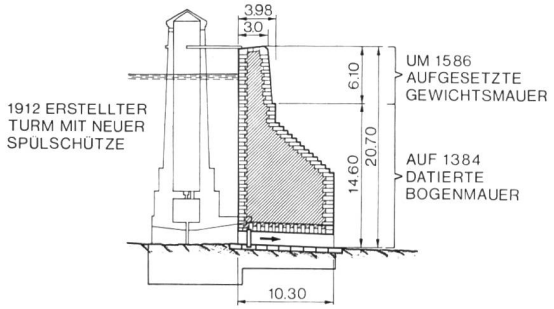
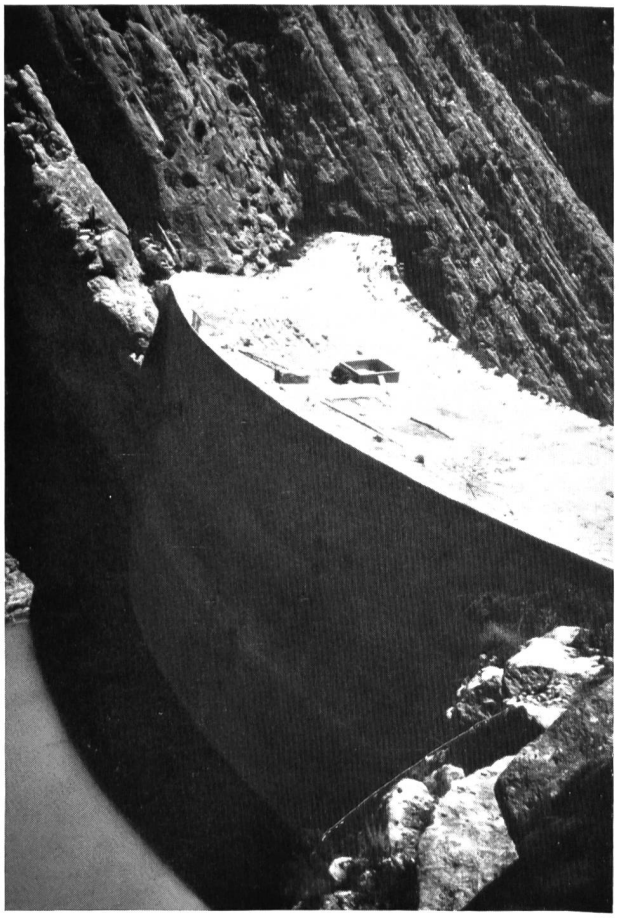


Bild 11 Die 1594 bei 42 m Höhe abgeschlossene Bogengewichtsstaumauer Tibi nordwestlich von Alicante.

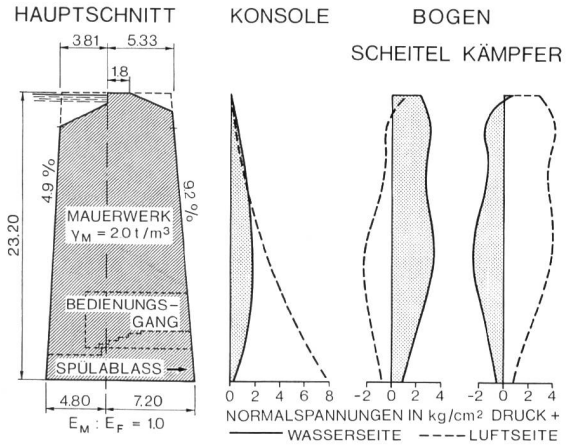


Ebenfalls im 17. Jahrhundert entstand flussaufwärts von Elche noch die etwa 11 m hohe und 80 m lange Bogengewichtsstaumauer Elda (Bild 8), die im 19. Jahrhundert zerstört oder abgebrochen und durch eine nur halb so hohe, geradlinige Gewichtsstaumauer ersetzt wurde. Noch unglücklicher verliefen die Bemühungen zur Nutzung des Guadalentin bei Lorca, 60 km südwestlich von Murcia [17]. Ein erster Versuch zur bereits 1610 vorgeschlagenen Stauung bei Puentes wurde noch während der Bauarbeiten durch einen Grundbruch im August 1648 zunichte gemacht. Die 1674 erstellte Torta Sperre von 11 m Höhe und 62 m Länge fiel zwölf Jahre später einem Hochwasser zum Opfer. Von 1785 bis 1791 erfolgte dann wiederum bei Puentes der Bau einer 52 m hohen und 282 m langen Gewichtsstaumauer mit polygonalem Grundriss und einem Querschnitt, welcher der heute üblichen Dreiecksform sehr nahe kam. Ganz unorthodox war hingegen, dass die in Talmitte vorhandene Alluvialrinne, wie bereits rund anderthalb Jahrhunderte zuvor, nicht ausgeräumt, sondern durch eine Pfahlgründung überbrückt wurde. Beim erstmaligen Einstau auf fast die volle Mauerhöhe, elf Jahre nach Bauabschluss, brachen die Alluvion und ein Teil des darüber liegenden Mauerwerkes am 30. April 1802 durch. Die Flutwelle von bis zu 8000 m³/s Spitzenabfluss forderte in und um Lorca an die tausend Todesopfer und zerstörte die inzwischen wieder aufgebaute Staumauer Torta sowie die 1736 erstellte Pareton Sperre bei Totana. 1884 entstand schliesslich die bestehende, dritte Gewichtsstaumauer Puentes luftseits der verunglückten.

3.3 SÜDWESTSPANIEN

Mit Anbruch des 16. Jahrhunderts, welches Spanien nicht nur an den Zenith seiner weltpolitischen Macht, sondern ihm auch einen grossen wirtschaftlichen Aufschwung brachte, belebte sich der Talsperrenbau auch wieder in dem Gebiet, in dem er bereits unter den Römern zu hoher Blüte gelangt war. Und wie in Südostspanien schlug er im Südwesten des Landes, wenn auch ganz andere, so doch nicht minder originelle Wege ein. Eine erste Neuerung bestand in der Kombination von Staumauern und Wassermühlen zu einer Art Vorläufer der modernen Talsperrenkraftwerke. Allerdings war die Verwendung von Stauhaltungen zum Betrieb von Wasserrädern bereits längere Zeit bekannt, sowohl in Europa als auch im Orient, wo vor allem im iranischen Fars schon im 10. Jahrhundert

Bild 13 Mittelschnitt des Hauptgewölbes der Staumauer Elche mit den Ergebnissen einer einschnittigen statischen Nachrechnung.



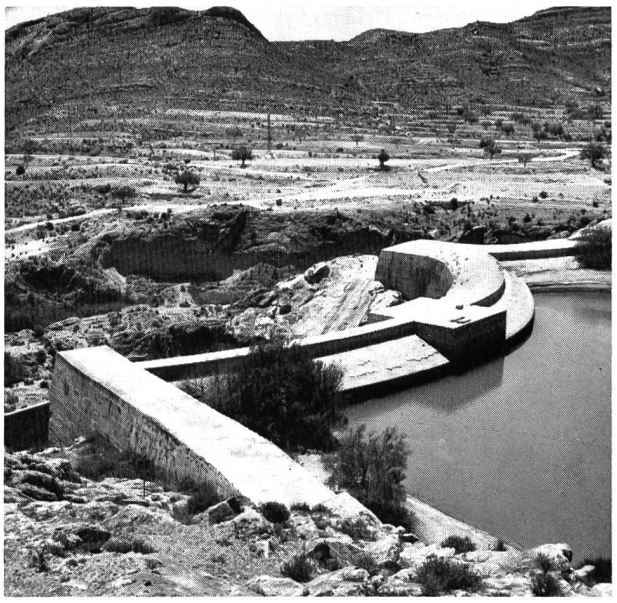


Bild 12 Die 1632 in Angriff genommene Bogenstaumauer Elche südwestlich von Alicante, von ihrem linken Widerlager aus (Höhe 23 m, Gesamtlänge 120 m).

durch einen Druckstrahl angetriebene, vertikalachsige Wasserräder in Gebrauch waren [12]. Neu war die Vereinigung beider Funktionen in einem Bauwerk, dessen ältestes Beispiel die Anlage Castellar unmittelbar westlich von Zafra darstellt (Bild 3). Diese soll um 1500 entstanden sein und besteht aus einer im Querschnitt nahezu rechteckigen, geradlinigen Gewichtsstaumauer von 19 m grösster Höhe und 100 m Kronenlänge. An deren Fuss befinden sich drei aneinander gebaute Mühlen mit individuellen Wasserzuleitungen (Bild 16). Die Trennwände zwischen den Mahlstuben wirken gleichzeitig, wenn auch angesichts ihrer geringen Mauerstärken nur in bescheidenem Rahmen, als Stützpfeiler für die Staumauer.

Bild 14 Luftseite des Hauptgewölbes der Staumauer Elche mit dem Portal des Bedienungsganges über dem Spülablass; gut sichtbar ist auch die bei allen alten spanischen Talsperren üblich gewesene, sorgfältige Verkleidung des Bruchsteinmauerwerks des Mauerkörpers mit Quadersteinen.

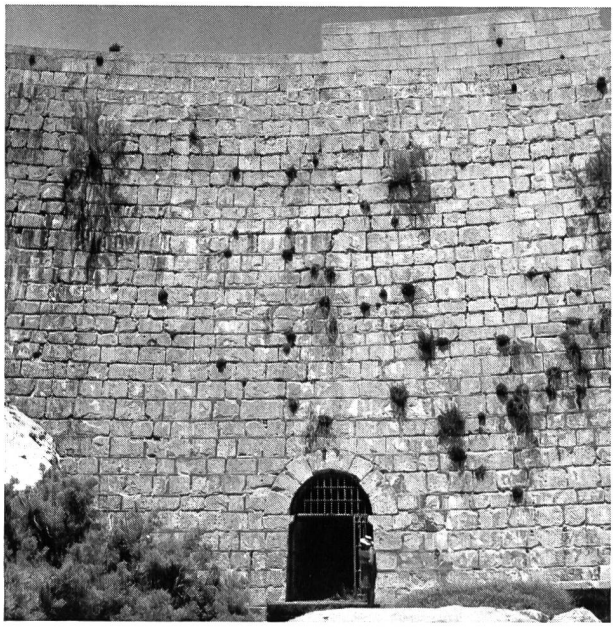


Bild 15 Die aus dem 17. Jahrhundert stammende Staumauer Relleu nördlich von Alicante; auf der Höhe des untern Randes des Verkleidungsschadens erkennt man die Ansatzlinie der Erhöhung von 1879 (Höhe 32 m, Länge 41 m).

Dies leitete zur andern wichtigen Neuerung des Talsperrenbaus in Südwestspanien über, der Wiederentdekkung der Pfeilerstaumauer. Der Anstoss dürfte dabei von den nahe gelegenen römischen Talsperren Proserpina und Esparragalejo ausgegangen sein, obwohl sich beim erstgenannten Bauwerk die Stützpfeiler an der Wasserseite befinden. Ferner gibt es bei Trujillo, das heisst etwas weiter nordöstlich, drei mit luftseitigen Stützen versehene Gewichtsstaumauern von 10 bis 16 m Höhe und unbestimmtem, aber scheinbar hohem Alter. Westlich von diesen befinden sich in der Umgebung von Caceres noch zahlreiche ähnliche Bauten, die allerdings meistens aus dem 19. Jahrhundert stammen. Bemerkenswert ist schliesslich, dass das von P. Bernardo Villareal de Berriz 1736 in Madrid veröffentlichte Buch, welches als eines der ersten in der Welt den Talsperrenbau behandelte, besonders auf die Pfeilerstaumauern einging, von welchen der Autor fünf von bescheidener Höhe östlich von Bilbao in Nordwestspanien verwirklicht hatte.

Die bedeutendste Pfeilerstaumauer entstand 1747 bei Feria, nordwestlich von Zafra (Bilder 3 und 17), und besass ursprünglich ebenfalls eine Mühle an ihrem Fuss, während sie heute der Wasserversorgung von Almendralejo dient [18]. Durch verschiedene kleinere Erhöhungen, deren letzte 1950 erfolgte, wurde die grösste Mauerhöhe von ursprünglich rund 20 m auf heute 23,5 m und die Kronenlänge auf 149 m gebracht. Die recht massive, aber bei vollem Auftrieb nicht stabile Stauwand (Bild 18) wird in der Mittelpartie der Mauer von sieben luftseitigen Pfeilern gestützt. Deren Zwischenräume sind geschlossen, und in einer dieser Kammern befand sich die Mühle, während eine andere als Kapelle diente. Der Bau war ja auch auf Veranlassung eines Bischofs erstellt worden! Bei der analogen, aber etwas jüngeren und nur halb so hohen Anlage von Zalamea (Bild 3) befindet sich eine Kapelle in Kronenmitte.

Stark eingesetzt hat sich die Geistlichkeit bei der wasserwirtschaftlichen Entwicklung der überseeischen Kolonien Spaniens, vornehmlich in Mexiko [19]. So wurden zum Beispiel in dessen Teilstaat Aguascalientes, 400 km nordwestlich der Stadt Mexiko, auch mehrere Talsperren gebaut, worunter im 18. Jahrhundert einige bedeutende Pfeilerstaumauern ähnlicher Art wie die Feria Sperre. Die grösste staut den Pabellon Fluss und hat eine maximale Höhe von 24 m und eine Kronenlänge von 177 m. An ihrem Fuss befindet sich ebenfalls eine Wassermühle,

Bild 16 Die um 1500 gebaute Gewichtsstaumauer Castellar westlich von Zafra in Südwest-Spanien, mit drei Wassermühlen an ihrem Fuss (Höhe 19 m, Länge 100 m).

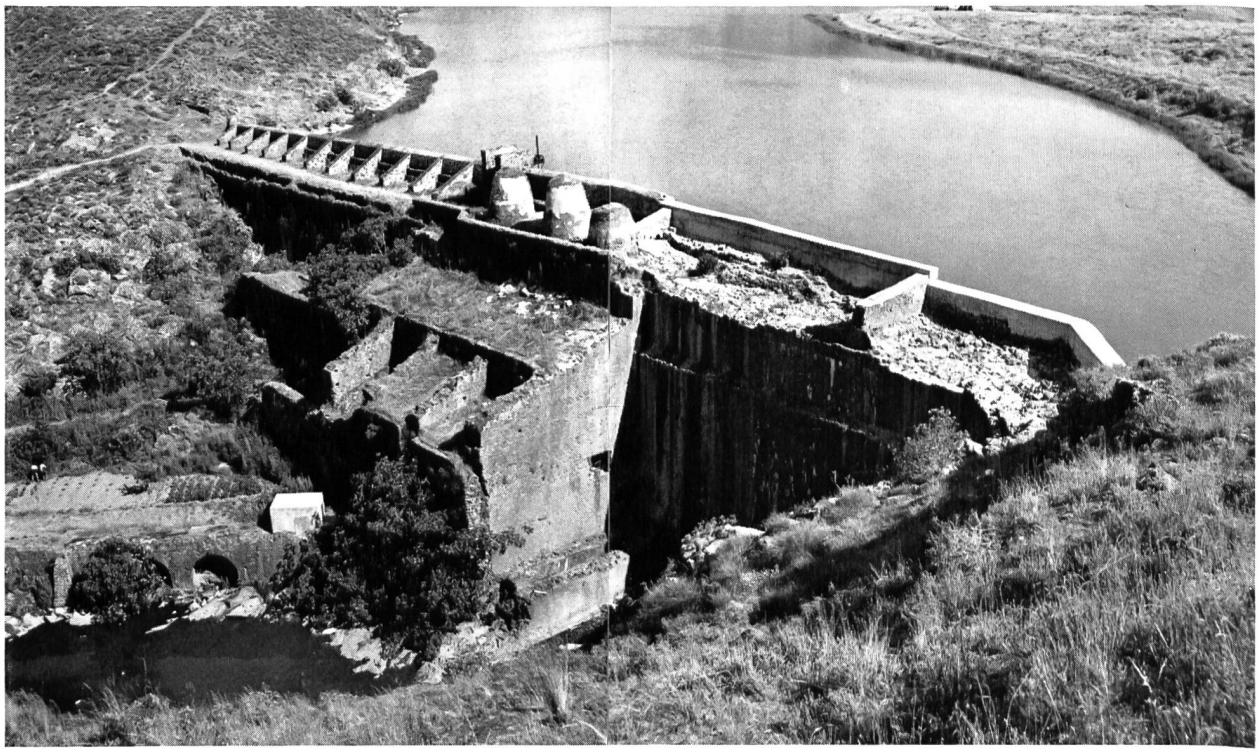
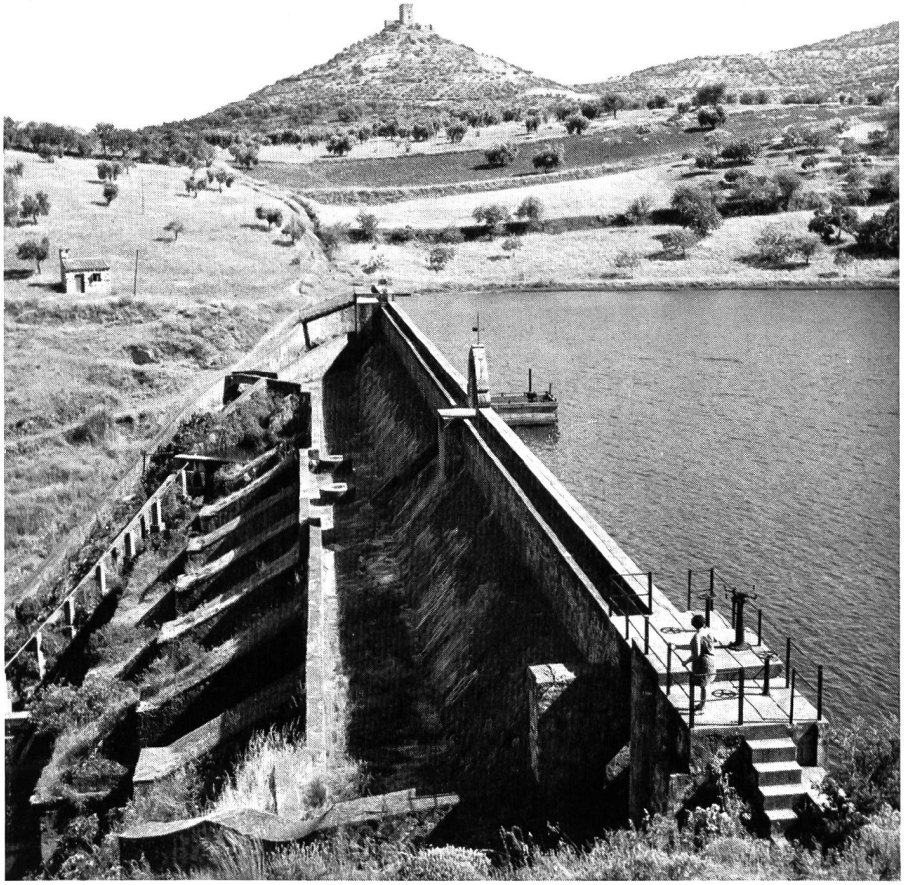


Bild 17
Die 1747 nordwestlich von Zafra entstandene Pfeilerstaumauer Feria mit den Hochwasserabläufen an beiden Enden und der Triebwasserfassung für die Mühle in Mauermitte; im Hintergrund das Schloss von Feria (Höhe 23,5 m, Länge 149 m).



die allerdings in einem gesonderten, senkrecht zur Mauerachse gestellten Gebäude untergebracht ist [20]. Kleinere Staumauerbauten wurden auch im damals zu Mexiko gehörigen Kalifornien für die Missionen von San Diego und Los Angeles erstellt [21], sowie bei San Antonio, im südlichen Texas [22]. Im fernen Bolivien schliesslich, war bereits zwischen 1573 und 1621 in den Bergen hinter Potosi ein grossartiger Komplex von 32 Stauseen entstanden, zur Sicherstellung der Wasserkraft für die zahlreichen Silbererzmühlen der Stadt [23].

3.4 ÜBRIGES SPANIEN

Verschiedene, meist kleine Talsperren entstanden im 16. Jahrhundert und in den nachfolgenden Jahrhunderten auch in andern ariden Gebieten Spaniens, wie zum Beispiel im Tal des Ebro und in der Gegend um die Residenzstadt Aranjuez südlich von Madrid. Im Osten derselben wurden um 1530 zwei Wehre im Tajo erstellt und 1568 auf Geheiss von Philipp II das «Meer» von Ontigola aufgestaut zur Bewässerung der königlichen Gärten. Der mit dem Bau betraute Architekt und Ingenieur Juan B. Herrera (1530 bis 1597) liess eine 6 m hohe und durchwegs 7 m starke Mauer errichten, die luftseitig noch durch abgeschrägte Stützpfeiler verstärkt wurde (Bild 19). Westlich von Madrid war wenige Jahre zuvor am Aulencia der 6 m hohe Steindamm Granjilla II gebaut worden, dem ein Jahrhundert später der mit einer vertikalen Stauwand versehene, 10 m hohe Erddamm Granjilla I folgte.

Inzwischen war 1628 westlich von Tudela am Mittellauf des Ebro der 8 m hohe und 110 m lange Erddamm Pulguer erstellt worden, während 1687 mit dem Bau der Gewichtsstaumauer Arguis, 19 km nördlich von Huesca am Nordrand des Ebrobeckens, begonnen wurde. Das 22,5 m hohe und 35 m lange, geradlinige Bauwerk wurde 1704 fertig gestellt. 1926 erfolgte im Zuge einer Erhöhung um 5 m ein grundlegender Umbau der Staumauer.

Die Fertigstellung der Arguis-Sperre fiel bereits in die Regierungszeit der Bourbonen, unter deren dynamischem König Karl III. (1759 bis 1788) eine kräftige Belebung des Talsperrenbaus stattfand, die aber offensichtlich unter einem schlechten Stern stand. Der in eine Katastrophe

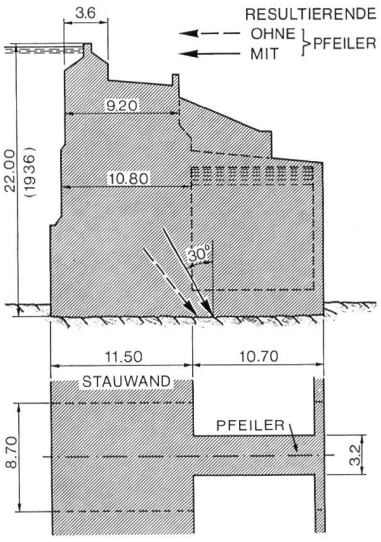


Bild 18 Querschnitt und Teilgrundriss der Pfeilerstaumauer Feria mit Angabe der Kräfteresultierenden ohne und mit Berücksichtigung des Stützpfeilers (beide Male mit vollem Auftrieb auf die Sohle der Stauwand).

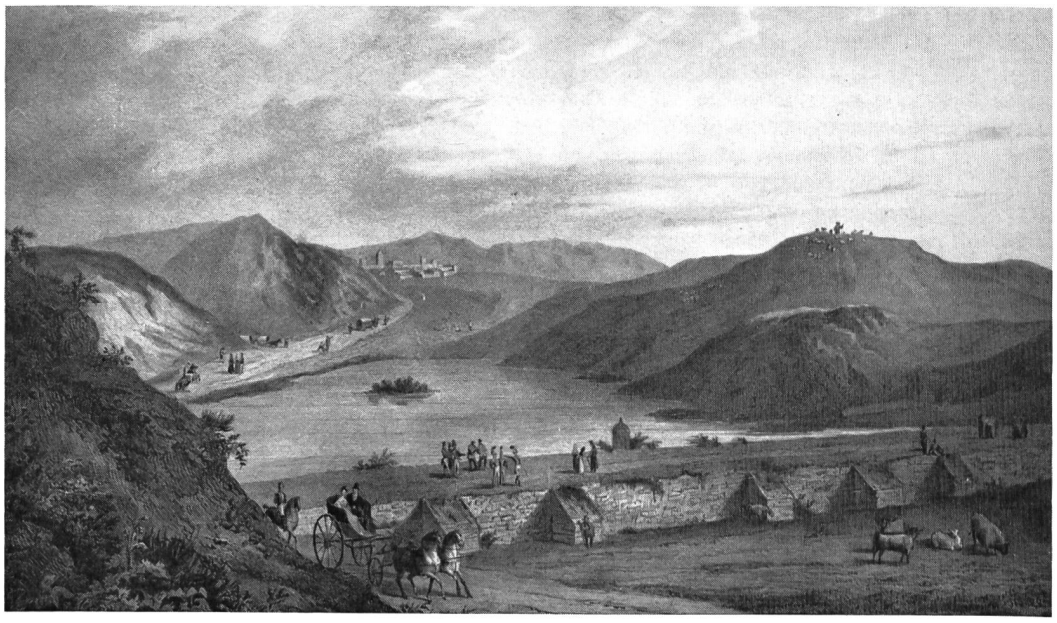


Bild 19 Die 1568 zur Bewässerung der königlichen Gärten von Aranjuez erbaute Gewichtsstaumauer Ontigola nach einem Stich aus dem 19. Jahrhundert (Höhe 6 m, Länge 280 m).

ausgemündete zweite Staumauerbau von Puentes wurde vorstehend bereits beschrieben. Nicht viel besser erging es der gleichzeitig weiter flussaufwärts erstellten, 35 m hohen und extrem massiven Bogengewichtsstaumauer Valdeinfierno, deren Staubecken von 16 Mio m³ Inhalt binnen weniger Jahre verlandete, weil der Spülablass nicht benutzt werden konnte oder durfte. Eine Erhöhung um 14 m Ende des 19. Jahrhunderts, welche 1965 verstärkt werden musste, erwies sich als nutzlos, weil der zusätzlich geschaffene Stauraum undicht ist.

Die dritte und ehrgeizigste der unter Karl III. in Angriff genommenen Talsperrenbauten konnte nicht einmal zu Ende geführt werden. Wäre dies der Fall gewesen, so hätte die Gasco-Sperre am Guadarrama, 30 km nordwestlich von Madrid, mit ihrer geplanten Maximalhöhe von 87 m alles bisher Dagewesene weit in den Schatten gestellt [24]. Doch der Kern für das spätere Scheitern des Anfang 1787 begonnenen Baus lag bereits im Projekt, und zwar weniger in dessen Gesamtkonzeption, als vielmehr in der konstruktiven Durchbildung. Prof. S. Perosini, welcher das vom Genie-Brigadier C. Lemaur und seinen Söhnen aufgestellte Projekt kontrollierte, bemerkte denn auch in seinem Prüfbericht, dass von den Dimensionen und der Form der Mauer nicht abgegangen werden sollte, «... es sei denn, man wolle ihr eine Standfestigkeit von mehr als dem Doppelten des Wasserdrucks geben.» Das stimmt bei Vernachlässigung des damals noch unbekannten Auftriebes auf die Fundamentsohle. Doch auch unter Berücksichtigung desselben wäre das Bauwerk noch standsicher gewesen (Bild 20), dank des an die modernen Pfeilerstaumauern gemahnenden starken Anzuges der Wasserseite. Und als eine Art von Pfeilermauer war die Gasco-Sperre auch konstruiert, bestand sie doch aus dünnen Mauerwerkscheiben, deren Zwischenräume luft- und wasserseitig zugemauert, aber im übrigen mit Erde als Ballast gefüllt waren. Diese Erdfüllung wurde der Mauer zum Verhängnis, indem sie nach ihrer Durchnässung anlässlich eines Starkregens im Mai 1799 die steilere luftseitige Abschlusswand von vier Zwischenräumen herausdrückte (Bild 21). Darauf wurden die ohnehin nur schleppend vorangekommenen Bauarbeiten sowohl an der Staumauer als auch am anschliessenden Schiffahrtskanal eingestellt.

3.5 EPILOG

Die im 16. Jahrhundert mit bahnbrechenden Werken begonnene, glänzende Entwicklung des spanischen Talsperrenbaus lief zwei Jahrhunderte später in eine Reihe bitterer Misserfolge aus, ein getreues Spiegelbild des politischen und wirtschaftlichen Niederganges des Landes, der in den napoleonischen Wirren seinen Tiefststand erreichte. Die Führung auf dem Gebiet des Talsperrenbaus ging nun an Frankreich über, dessen erste grosse Sperren von Saint Ferréol (1675) und Lampy (1782) kaum ganz zufällig unmittelbar nördlich der Pyrenäen entstanden, zwischen Toulouse und Carcassonne für die Scheitelhaltung des Canal du Midi. Doch auch für die Mitte des 19. Jahrhunderts durch französische Ingenieure entwickelten rationalen Berechnungsverfahren für Gewichts- und Bogenstaumauern lieferten die, vor allem durch das Buch von Aymard [11] bekannt gewordenen, alten Talsperren Spaniens wertvollstes Anschauungsmaterial. Man kann deshalb mit Fug und Recht Spanien als die Wiege des modernen Staumauerbaus bezeichnen.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] N. A. F. Smith: The Heritage of Spanish Dams. Spanish National Committee on Large Dams, Madrid 1970 (siehe auch vom gleichen Autor: A History of Dams. P. Davies, London 1971).

[2] C. Fernandez: Acueductos romanos en España, Instituto E. Torroja, Madrid 1972.

[3] C. Fernandez: Las presas romanas en España. «Revista de obras publicas» 1961, p. 357—363, fig. 16.

[4] J. de Castro: El pantano de Proserpina. «Revista de obras publicas» 1933, p. 449—454, fig. 7.

[5] T. F. Glick: Irrigation and Society in Medieval Valencia. Belknap Press, Cambridge/Mass. 1970.

[6] G. B. Cressey: Qanats, Karez and Foggaras. «Geographical Review» 1958, p. 27—44, fig. 11.
H. Goblot: Note sur l'interaction des techniques dans leur genèse. «Revue philosophique» 1965, p. 207—216, fig. 0.

[7] F. Vinck: Alte Talsperren im Yemen. «Wasser und Boden» 1962, p. 354—356, fig. 6.

[8] R. L. Bowen and F. P. Albright: Archaeological Discoveries in South Arabia. J. Hopkins Press, Baltimore 1958 (kritisch besprochen von J. Ryckmans in «Bibliotheca orientalis» 1960, p. 204—207).

[9] R. Wepf: Yemen. Kümmerly & Frey AG, Bern 1966.

[10] A. Grohmann: Arabic Inscriptions. Université de Louvain 1962.

[11] M. Aymard: Irrigations du midi de l'Espagne. E. Lacroix, Paris 1864.
[12] E. Reza, G. Kuros, M. Emam und A. Entezami: Wasser und Bewässerungskunst im alten Iran. Iran Chap Co. Ltd., Teheran 1971 (in persischer Sprache).
F. Hartung: Altiranische Grosswasserbauten. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1972, p. 117—132, fig. 40.
[13] H. Goblot: Kébar en Iran, sans doute le plus ancien des barrages-voûtes; l'an 1300 environ. «Art et manufactures» 1965, No 154, p. 43—49, fig. 13.
[14] N. Schnitter: Wasserbaugeschichtliche Exkursion in die Provence. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1972, p. 95—102, fig. 15.
[15] El pantano de Tibi. «Revista de obras publicas» 1900, p. 342—345 y 350—351, fig. 0.
[16] Memoria de los trabajos realizados desde la liberacion hasta 31 de diciembre de 1945. Confederacion hidrografica del Jucar, Valencia 1946.
[17] R. Couchoud y R. Sanchez: Compendio cronologico de las riadas, avenidas e inundaciones que sufrio la huerta del rio Segura. Centro de estudios hidrograficos, Madrid 1965.
[18] J. Lazaro: La presa de la albuera de Feria, Badajoz. «Revista de obras publicas» 1936, p. 218—219, fig. 5.
[19] F. Gomez: Mexican Irrigation in the Sixteenth Century. «Civil Engineering» January 1942, p. 24—27, fig. 15.
[20] J. Hinds: 200 Year-Old Masonry Dams in Use in Mexico. «Engineering News Record» September 1, 1932, p. 251—253, fig. 6 (deutsch: «Schweizerische Bauzeitung» 1932, Bd. 100, p. 200 und «Der Bauingenieur» 1933, p. 136—137).
[21] J. D. Schuyler: Reservoirs for Irrigation, Water Power and Domestic Water Supply. J. Wiley & Sons, New York 1909 (siehe Seite 213).
[22] E. L. Harrington: Describes Early Irrigation Structures in San Antonio Area. «Civil Engineering» June 1948, p. 56, fig. 2.
[23] W. E. Rudolph: The Lakes of Potosi. «Geographical Review» 1936, p. 529—554, fig. 29.
[24] E. Garrandes: La presa de El Gasco, sobre el rio Guadarrama. «Boletin de informacion del ministerio de obras publicas» 1963 noviembre, p. 20—25 y diciembre, p. 26—29, fig. 11.
Informe sobre la viabilidad del refuerzo de la presa de el Gasco en el rio Guadarrama. Toran & Cia. S. L., Madrid 1963.

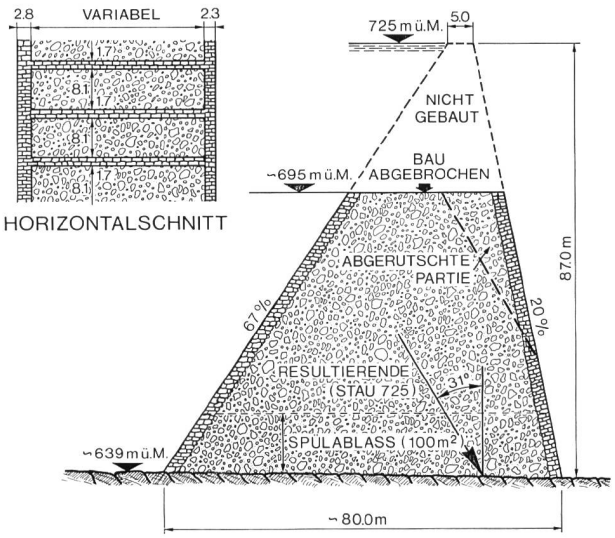


Bild 20 Vertikal- und Horizontalschnitt der 1787 begonnen, 87 m hoch geplanten Staumauer Gasco westlich von Madrid.

Bildernachweis:

Bilder 1 und 2: Photo G. A. Töndury, Baden; Bild 11: Photo K. H. Suter, Baden; Bild 19: Sammlung J. Toran, Madrid; übrige Bilder vom Verfasser. Kartenausschnitte aus Europakarten 1:500 000 des Touring Club Italiano.

Adresse des Verfassers:
N. Schnitter, dipl. Ing. ETH,
Höhenweg 21, CH-5415 Nussbaumen

Bild 21
Luftseite der Staumauer Gasco mit dem 1799 in Mauermitte entstandenen Schaden, nach welchem die Bauarbeiten eingestellt wurden.