

Skizze zur Geschichte des Talsperrenbaus

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83 (1965)**

Heft 42: **Prof. G. Schnitter zum 65. Geburtstag, 1. Heft**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68292>

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.

Von Niklaus Schnitter, dipl. Ing. ETH, Motor-Columbus AG, Baden AG



Lage einiger historischer Talsperren (chronologisch, bis Ende des 18. Jahrhunderts)

- | | | |
|--|--|----------------------------------|
| 1. Kosheish (um 3000 v. Chr.) und Sadd el Kafara (um 2600 v. Chr.) | 10. Cornalbo, Proserpina und Esparragalejo (1. Jahrh. n. Chr.) | 19. Almonacid (11. Jahrh.) |
| 2. Nimrod (um 2500 v. Chr.) | 11. Sperrn bei Homs (römisch) | 20. Cento (1450) |
| 3. Homs (um 1300 v. Chr.) | 12. Orükaya (römisch) | 21. Spiegelfreudersee (1460) |
| 4. Sudd al Arim (um 750 v. Chr.) | 13. Cavdarhisar (römisch) | 22. Tibi (1589) und Elche (1590) |
| 5. Atrush und Khosr (um 700 v. Chr.) | 14. Kaerumataike (162) | 23. Ming-Deich (16./17. Jahrh.) |
| 6. «Riesen»-Damm (494 v. Chr.) | 15. Shuster (3. Jahrh.) | 24. Ikinci (1651) |
| 7. Sudarsana (um 300 v. Chr.) | 16. Dara (6. Jahrh.) | 25. St. Ferréol (1675) |
| 8. Gukow (um 240 v. Chr.) | 17. Moti Talav (10. Jahrh.) | 26. Oderteich (1721) |
| 9. Siq und Kurnub (um Christi Geburt) | 18. Bhojpur (11. Jahrh.) | 27. Pabellon (18. Jahrh.) |

I. Einleitung

Wie alle Geschichte der Technik ist auch die Geschichte des Talsperrenbaus ein Stück Kulturgeschichte. Bis an die Schwelle zur Gegenwart folgte die historische Entwicklung der Talsperren im wesentlichen dem Aufstieg und Fall der Zivilisationen, vor allem wenn deren Existenz, wie es so oft zutraf, von einer geregelten Bewirtschaftung des Wassers abhing. Auffallend ist ja, wie viele, namentlich der alten Kulturen nicht in humiden Gebieten entstanden, sondern an Orten, wo Bewässerung eine Lebensnotwendigkeit ist. Der Zwang zu einer aufs Ganze zielenden Wasserwirtschaft trug offenbar wesentlich zur Sesshaftmachung der Völker und ihrer Zusammenfassung in Staatsgebilden bei. Es ist deshalb interessant, den Bau von Talsperren durch die Zeiten zu verfolgen, auch weil sie oft schon rein nach Arbeitsumfang Spitzenleistungen der zeitgenössischen Technik darstellten. Im weiteren vermittelt die Geschichtsbetrachtung auch auf dem vorliegenden Gebiet eine Standortsbestimmung sowie einige, wenngleich bedingte Ausblicke in die Zukunft und das weitere Schicksal der heute in so grosser Zahl und nie dagewesenen Ausmassen entstehenden Talsperren.

II. Altertum

Entsprechend der vorgenannten Parallelität der Geschichte der Talsperren zur Kulturgeschichte entstanden die ersten historisch belegbaren Talsperrenbauten in *Aegypten* und im *Irak*¹⁾. Schon der Begründer der ersten ägyptischen Dynastie, König Menes (um 3000

v. Chr.) soll zum Bau seiner Hauptstadt Memphis den Nil durch eine Talsperre bei Kosheish, 20 km flussaufwärts, umgeleitet haben. Die Sperre erreichte schätzungsweise 15 m grösste Höhe und 450 m Kronenlänge²⁾. Um den Wasserdruck aufzunehmen verliess man sich natürlich auf die naheliegendere Gewichtswirkung, sollte es doch noch einige Jahrtausende dauern, bis auf der Ausnützung der Materialfestigkeit beruhende Konstruktionen zur Anwendung gelangten. So führten erst die Etrusker und Römer den längst bekannten Bogen im Brückenbau ein, während dessen Verwendung im Talsperrenbau hingegen erst im sechsten Jahrhundert nach Christus gelang. Entsprechend dem hohen Stand der Mauerwerkstechnik im alten Aegypten, wie er am augenfälligsten an den Pyramiden zur Geltung kommt, wurde auch die Kosheish-Sperre aus Quaderblöcken erstellt. Ähnlich bestand die während der dritten oder vierten Königsdynastie (2778–2563 v. Chr.) gebaute Sperre Sadd el Kafara im Wadi Garawi, 30 km südlich Kairo, aus zwei Bruchsteinmauern von 24 m Fussbreite, zwischen denen sich eine 36 m dicke Erdfüllung befand. Diese 12 m hohe und 108 m lange Sperre brach bald nach ihrer Fertigstellung infolge Überflutung, weil keine Hochwasserentlastung vorgesehen worden war. Dieses grundlegende «Versehen» sollte sich leider bis in die Gegenwart unzählige Male wiederholen, da es offenbar nicht immer einleuchtete, dass einem scheinbar gebändigten Fluss auch noch ein neuer Ablauf zu schaffen sei. Möglicherweise hat dieser erste bekannte Talsperrenbruch die ägyptischen Baumeister

¹⁾ Nach Möglichkeit werden die heute gültigen Orts- und Länderbezeichnungen verwendet.

²⁾ Nach Möglichkeit wurden alle Massangaben denjenigen im «World Register of Dams» der ICOLD (Internat. Commission on Large Dams) angepasst.

auch vor weitem Staumauerbauten abgeschreckt, denn ausser einem 6 m hohen und 2000 m langen Steindamm am Orontes bei Homs in Syrien (unter Sethi I., 1318–1298 v. Chr.) sind von ihnen keine Bauten dieser Art bekannt geworden. Der berühmte, aber etwas rätselhafte Milliardenpeicher von Moeris (um 2300 v. Chr.) gehört nicht dazu, da dafür die natürliche Depression von Fayum, 80 km südwestlich Kairo, ohne wesentlichen Aufstau genutzt werden konnte und lediglich der Wasserzu- bzw. -abfluss durch provisorische Deiche oder primitive Wehre geregelt wurde.

Wie in Aegypten, so wird auch im *Irak* der älteste bekannte Talsperrenbau dem ersten König, dem legendären Marduk oder biblischen Nimrod (um 2500 v. Chr.) zugeschrieben. Dieser soll den Tigris 30 m oberhalb Samarra durch einen Erddamm 12 m hoch aufgestaut haben. Um diesen Bau voll zu würdigen, ist zu bedenken, dass der Tigris bei Samarra eine durchschnittliche Wasserführung von 1300 m³/s und Hochwasserspitzen bis zu 14000 m³/s aufweist. In späteren Zeiten wurde der Damm durch Mauerwerk verstärkt und erneuert, bis er im 7. Jahrhundert n. Chr. zerfiel, kurz vor dem Eindringen der Araber, welche im 9. Jahrhundert einen missglückten Wiederaufbauversuch unternahm. Diese Nimrod-Sperre diente der Speisung des berühmten Nahrawan-Bewässerungskanal, der dem Tigris auf etwa 400 km Länge folgte und auch die Abflüsse von dessen linksufrigen Zuflüssen aufnahm. Teilweise wurden an diesen, so z. B. am Atheim, ebenfalls Bruchsteinmauern gebaut.

Weitere Talsperrenbauten entstanden am Atrush und Khosr, nördlich von Mosul, unter König Sanherib (705–681 v. Chr.) zur Wasserversorgung von Ninive, bei Abu Habba südlich Bagdad unter Nebukadnezar II. (605–562 v. Chr.) zu Bewässerungszwecken und am Diyala, nordöstlich Bagdad, unter Kyros (558–529 v. Chr.) ebenfalls zu Bewässerungszwecken. Ausbau und Verbesserung der lebenswichtigen Bewässerungswerke wurden fortgesetzt, z. B. unter dem Sassanidenkönig Sapor I. (241–272 n. Chr.) durch den Talsperrenbau bei Shuster im westlichsten Iran, bis mit der Araberherrschaft der Zerfall einsetzte, der nach den Mongoleinfällen des 13. Jahrhunderts n. Chr. in der Zerstörung der Anlagen endete.

Unterdessen hatte sich der Schwerpunkt der kulturellen Entwicklung schon längst sowohl in den Fernen Osten als vor allem auch nach Westen, in den Mittelmeerraum verschoben. Unterwegs dorthin sind noch zwei abseitigere Kulturkreise zu erwähnen, welche entlang der berühmten Weihrauchstrasse durch *West-Arabien* blühten und unter dem Gesichtspunkt des Talsperrenbaus von Interesse sind. Der erste ist das sagenumwobene Königreich von Saba in Yemen, wo um 750 v. Chr. am Westrand der Ebene von Marib der Denne durch den Erddamm Sudd al Arim gestaut wurde. An beiden Enden der etwa 10 m hohen und 580 m langen Sperre befanden sich mächtige Auslaufbauwerke aus hervorragendem Quadermauerwerk. Die von diesen ausgehenden Bewässerungskanäle bildeten über ein Jahrtausend lang die Grundlage der Landwirtschaft und damit des Lebens im betreffenden Gebiet. Nach ersten Brüchen im 5. Jahrhundert n. Chr. wurde der Damm in der zweiten Hälfte des darauffolgenden Jahrhunderts endgültig zerstört, ein Ereignis, das selbst im Koran festgehalten ist. Viel kurzlebiger, aber in Anbetracht der widrigen Gegebenheiten nicht weniger eindrücklich war die Bewässerungskultur, welche die Nabatäer in den zwei Jahrhunderten um Christi Geburt in der Negev-Wüste beidseits der israelisch-jordanischen Grenze aufbauten. Um mit dem in wenigen Regengüssen fallenden mittleren Jahresniederschlag von nur 150 mm auszukommen, legten die Nabatäer Tausende von meist kleinen Staubecken an, die neben der Wasserspeicherung gleichzeitig auch dem Erosionsschutz dienten. An grösseren Bauwerken sind der 14 m hohe Steindamm am Siq bei der ehemaligen Hauptstadt Petra (Jordanien) hervorzuheben sowie die verschiedenen Gewichtsmauern im Wadi Kurnub, 40 km südöstlich Beersheba (Israel), von denen zwei bis auf den heutigen Tag in Ordnung gehalten wurden. Dies blieben jedoch Ausnahmen, so dass die Äcker und Felder bald wieder von der Wüste in Besitz genommen wurden, der sie nun das moderne Israel ein zweites Mal entreisst.

Von den im Mittelmeerraum entstandenen Zivilisationen hat die griechisch-hellenistische auf dem Gebiet des Talsperrenbaus sowie des Wasserbaus im allgemeinen verhältnismässig wenig geleistet, sei es, weil dazu das Bedürfnis fehlte, sei es weil die politische Zersplitterung derartige Vorhaben behinderte. Auch die *Römer* scheinen, trotz ihrer frühen Bemühung um grosszügige städtische Wasserversorgungen, erst relativ spät und erst in den inzwischen eroberten Provinzen Talsperrenbauten unternommen zu haben. Die meisten dieser Bauwerke sind vermutlich in der Periode um die Regierungszeit des Kaisers Traian (98–117 n. Chr.) entstanden, welche durch

eine allgemein sehr rege Bautätigkeit gekennzeichnet war. Die höchste der bekannten römischen Talsperren ist der Erddamm Cornalbo nördlich Mérida in Südwest-Spanien, welcher eine grösste Höhe von 24 m und eine Kronenlänge von 200 m aufwies. Ebenfalls nördlich Mérida entstand ferner der 19 m hohe und 427 m lange Erddamm Proserpina, welcher die von den Römern bei diesem Talsperrentyp befolgten Konstruktionsprinzipien wohl am typischsten zeigt. Danach stützte eine relativ flach abgeboöschte, luftseitige Erdschüttung die nahezu senkrechte wasserseitige Dichtungswand, welche aus Beton mit beidseitigen Mauerwerksverkleidungen bestand und Stärken von 3 bis 4 m aufwies. Analog aufgebaut war der 14 m hohe Damm Alcantarilla bei Toledo, während die Sperre am Cubillas bei Granada und vor allem diejenige von Esparragalejo bei Mérida erste Vorläufer des Pfeilerstaumauertyps darstellten. Alle fünf Bauwerke scheinen vornehmlich der Bewässerung gedient zu haben; die zwei erstgenannten stehen noch heute im Betrieb.

Dem gleichen Zweck sowie zum Teil dem Erosionsschutz, dienten die zahlreichen Sperren, welche die Römer im Gebiet von Homs in Tripolitanien (Lybien) und andernorts in ihren nordafrikanischen Provinzen errichteten. Diese meist kleineren Bauwerke scheinen ähnlich aufgebaut gewesen zu sein, wie die vorbeschriebenen Erdämme in Spanien.

Bedeutendere Dimensionen wiesen zwei römische Hochwasserschutz- und Bewässerungssperren in der Türkei auf. Diejenigen von Orükaya, 190 km nordöstlich Ankara, erreichte 16 m grösster Höhe und 40 m Kronenlänge, während diejenige von Cavdarhisar, 210 km südlich Istanbul, 7 m hoch und 80 m lang war. Beide bestanden aus zwei senkrechten Mauern, die zum Teil mit Blei ausgefügt waren und zwischen denen sich eine Erdfüllung befand, und wiesen Gesamtstärken von nur 5 bis 6 m auf. Am Rande der Türkei, an einem Nebenfluss des Khabour im nordöstlichsten Teil Syriens, errichtete sodann der Baumeister Chryses von Alexandrien die erste historisch belegte Bogenstaumauer. Sie diente dem Hochwasserschutz und der Wasserversorgung für die Stadt Dara und wurde auf Geheiss von Justinian I. (527–565 n. Chr.) gebaut, dem Kaiser von Ostrom. Denn inzwischen war das römische Reich auseinandergebrochen und die Zivilisation seiner westlichen Hälfte in der Flut der Völkerwanderung untergegangen. Und binnen kurzem sollte dies, wenn auch nicht formell, so doch praktisch, ebenfalls im östlichen Reichsteil geschehen.

III. Mittelalter

Mit dem Untergang Roms trat Europa in die Metamorphose ein, die man das «dunkle» Mittelalter genannt hat. Wenngleich diese Umschreibung in vielen, auch technischen Beziehungen, kaum zutrifft, so stimmt sie wenigstens auf dem Gebiet des Talsperrenbaus. Dessen Schwerpunkt verlagerte sich über das mittelalterliche Jahrtausend wieder nach Osten, und zwar in den fernen Osten. Bei dieser Bezeichnung denkt man wohl zuerst an *China*, wo seit alters her grosse wasserbauliche Leistungen vollbracht wurden. Doch betrafen diese vornehmlich Kanal- und Deichbauten für Bewässerung und Binnenschifffahrt und kaum eigentliche Talsperrenbauten. An solchen sind lediglich bekannt der 30 m hohe und 300 m lange Steinkastendamm am Gukow in der Provinz Shensi (um 240 v. Chr.), der katastrophal verlaufene Versuch zur Anwendung des gleichen Talsperrentyps für den Aufstau des Huai Ho bei Fu Shan Hsia in der Provinz Anhui (514 n. Chr.) und die stromabwärts erfolgreiche Bildung des Hungtze-Sees durch den 100 km (!) langen Ming-Deich (16./17. Jahrh.) sowie einige andere, kleinere Speicheranlagen.

Im Talsperrenbau umso tätiger waren dafür die durch China kulturell stark beeinflussten *Japaner* seit Anbeginn ihrer Geschichte. In der Tat datiert die älteste bedeutendere Talsperre Japans, der 17 m hohe und 260 m lange Erddamm Kaerumataike bei der zeitweiligen Hauptstadt Nara, bereits aus dem Jahre 162 n. Chr. Gesamthaft wurden bis zum Ende der klassischen buddhistischen Periode (522–1603 n. Chr.), die sich etwa mit dem europäischen Mittelalter deckt, rund 30 Talsperren von über 15 m Höhe erstellt, worunter im Jahre 1128 der 32 m hohe Erddamm Daimonike, ebenfalls bei Nara. Alle diese Sperren waren Erdämme und dienten mit ihren meist verhältnismässig geringen Stauinhalten der Bewässerung. Dies gilt auch für die nachfolgende Edo-Periode (1603–1867), die Zeit der selbstgewollten und selbstgenügsamen Isolation Japans von der Umwelt, aus welcher rund 540 Talsperren von über 15 m Höhe erhalten geblieben sind.

Teilweise noch weiter zurückreichende und verhältnismässig nicht minder zahlreiche Bewässerungsdämme entstanden auf einem weiteren der fernöstlichen Inselreiche, auf *Ceylon*. Bald nach ihrer Einwanderung aus dem Gangestal im 5. Jahrhundert v. Chr. begannen

die Singhalesen mit dem Aufbau eines weitverzweigten und grosszügigen Bewässerungssystems im gebirgigen Innern der Insel, welches etwa ab 1200 n. Chr. neueren Invasionen vom indischen Festland her zum Opfer fiel. In der Zwischenzeit von fast 2000 Jahren wurden zahlreiche Erddämme von zum Teil ungewöhnlichen Dimensionen erbaut. So soll der bereits 494 v. Chr. unter der Herrschaft Panduwaasas erstellte «Riesen»-Damm 24 km lang gewesen sein. Die Dämme Kalawewa (459 n. Chr.) und Parakrama oder Topawewa (1186) wiesen Kronenlängen von 19 bzw. 14 km auf. Die grösste Höhe erreichte der 21 m hohe und 18 km lange Padavil-Damm, an dessen Bau zehntausend Mann fünf Jahre lang gearbeitet haben sollen.

Ebenfalls nach Zehntausenden zählen sodann die mittelalterlichen Bewässerungsdämme in den Ceylon benachbarten *südlindischen Staaten* Madras, Mysore und Andhra Pradesh. Die Anfänge des indischen Talsperrenbaus scheinen allerdings auf Zentralindien zurückzugehen, wo bei Girnar in Kathiawar bereits unter König Chandragupta (322–298 v. Chr.) der Stausee Sudarsana entstanden sein soll. Im 11. Jahrhundert liess dann der Raja Bhoj von Dhara 30 km südlich Bhopal (Madhya Pradesh) den beidseits mit Steinquadern verkleideten Erddamm von Bhojpur erstellen, welcher eine Höhe von 27 m und eine Kronenlänge von 92 m aufwies. Ähnliche Dimensionen hat der in Mysore bereits ein Jahrhundert zuvor gebaute Erddamm Moti Talav bei Mandya, welcher noch heute in Betrieb steht. Bei 24 m grösster Höhe und 157 m Kronenlänge verfügt er über eine ungewöhnliche Kronenbreite von 27 m und steile Böschungsneigungen von 2:3 wasserseits und 1:1 luftseits. Ähnlich abgeboischt ist auch der 1011–1037 in Madras erstellte, 16 km lange Erddamm Veeranam westlich Negapattinam, während die in den nachfolgenden Jahrhunderten entstandenen Bauwerke meist Böschungsneigungen aufwiesen, die den heute üblichen entsprechen. Dabei konnten sie in Südindien, dank dem kieshaltigeren Boden, steiler gehalten werden als in Zentralindien, wo tonigere Schüttmaterialien vorherrschten. Die grösste Bauwerkshöhe von 33 m scheint bei dem um 1500 erbauten Damm Mudduck Masur in Madras erreicht worden zu sein.

IV. Neuzeit

Mit der Sprengung des hergebrachten geistigen und geographisch-ökonomischen Rahmens im Westeuropa des 15. Jahrhunderts verschob sich auch das Schwergewicht im Talsperrenbau wieder dahin, und wohl nicht ganz zufällig in einen der Brennpunkte des Geschehens, nach *Spanien*. Zwar war 1450 in Italien durch die 8 m hohe und 60 m lange Gewichtsstaumauer Cento der Savio 30 km südlich Ravenna gestaut worden und 1460 in Österreich durch einen ebenfalls 8 m hohen und 250 m langen Erddamm der Spiegelfreudersee, 20 km nördlich Landeck, entstanden, welcher wie zahlreiche andere Fischteiche die Fastenregeln einhalten half. Doch auch in Spanien bestanden Präzedenzfälle aus der arabischen Herrschaftszeit. Einer derselben war die möglicherweise bereits aus dem 11. Jahrhundert stammende Gewichtsstaumauer Almonacid bei Zaragoza von 29 m Höhe und 200 m Länge, deren Staubecken heute völlig verlandet ist und landwirtschaftlich genutzt wird. Einen weiteren Vorläufer stellte die 13 m hohe Bogengewichtsstaumauer Almansa, 90 km nordwestlich Alicante dar, die 1384 entstanden war und in der 2. Hälfte des 16. Jahrhunderts auf die endgültige Höhe von 25 m gebracht wurde. Um die selbe Zeit wurden sodann unmittelbar nördlich und westlich von Alicante die gebogenen Gewichtsstauern Elche (1570–90) und Tibi (1579–89) gebaut. Mit 46 m Höhe stellte letztere alles bisher Dagewesene in den Schatten und für fast drei Jahrhunderte sollte sie diesen Rekord auch innehalten. Allerdings wies ihre Krone nur 65 m Länge sowie einen wasserseitigen Krümmungsradius von 107 m auf. Zudem war die Krone mit 20 m Dicke stark überdimensioniert, so dass die Sperre bei einer Fussbreite von 34 m gut 36000 m³ Bruchsteinmauerwerk erforderte.

Solche nach heutigen Begriffen oft bizarre Formen wiesen auch alle in der Folge erstellten spanischen Talsperren auf, wie die 32 m hohe Bogenmauer Relleu nordöstlich Alicante (17. Jahrh.), die 24 m hohe Gewichtsstaumauer Albuhera de Feria, südöstlich Badajoz (1747) und die erste 36 m hohe Etappe der Gewichtsstaumauer Val de Infierno (1785–91) bei Lorca, 130 km südwestlich Alicante, sollte es doch noch bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts dauern, bis in Frankreich brauchbare Berechnungsmethoden entwickelt wurden. Die rein empirisch-gefühlsmässige Dimensionierung der Bauwerke zeitigte auch einige spektakuläre Misserfolge, so bei der 52 m hohen und 282 m langen Gewichtsstaumauer Puentes³⁾, welche 1785–91

ebenfalls bei Lorca entstand und auf einem Pfahlrost im Flussgeschiebe gegründet war. Am 30. April 1802 kam es dann zum Grundbruch und teilweisen Einsturz der Mauer, welcher 608 Todesopfer forderte. Gleichfalls in einem Misserfolg endete die 93 m hoch (!) geplante Gewichtsstaumauer Gasco am Guadarrama, westlich Madrid, deren Bau 1789 nach einem schweren Hochwasser bei 57 m Höhe aufgegeben wurde. Im grossen ganzen jedoch waren diese der Bewässerung dienenden Bauwerke erfolgreich und die spanischen Baumeister exportierten ihre neuen Techniken auch in die überseeischen Kolonien des Reiches. So entstanden in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts um Aguascalientes, rund 450 km nordwestlich Mexico D. F., unter andern die 24 m hohe und 177 m lange Pfeilerstaumauer Pabellon aus Bruchsteinmauerwerk sowie deren etwas kleinere Schwesterbauten Los Arcos und San Jose de Guadalupe.

Inzwischen waren auch in zahlreichen *andern Gebieten Europas* verschiedene Talsperren erstellt worden. Zu Beginn des 17. Jahrhunderts wurde in Italien, neben dem Bau des 7 m hohen Erddammes Ternavasso 30 km südöstlich Torino, die Bogenstaumauer Ponte Alto am Fersina bei Trento begonnen, die in mehreren Erhöhungen, entsprechend der zunehmenden Verlandung des Staubeckens, bis 1887 auf 40 m Gesamthöhe gebracht wurde. Nördlich Istanbul wurde bereits 1651 mit der kleinen, 10 m hohen Gewichtsstaumauer Ikinci das erste von verschiedenen, noch heute in Betrieb stehenden Reservoiren für die Wasserversorgung der Stadt gebildet. Schliesslich entstanden in Deutschland im Oberharz, nordöstlich Göttingen, rund 60 Stauweiher für den Betrieb der Wasserräder, welche seit dem 16. Jahrhundert allmählich die Handwinden und Pferdegöppel im dortigen Bergbau ersetzten. Das bedeutendste dieser Bauwerke stellte der Steindamm des Oderteiches dar, welcher 1714–21 gebaut wurde und eine Höhe von 22 m sowie eine Länge von 151 m erreichte.

Das letztgenannte Beispiel weist bereits auf den mächtigen Impuls hin, den der Talsperrenbau durch das anbrechende *industrielle Zeitalter* empfangen sollte. Neben der noch sehr bescheidenen Nutzbarmachung der Wasserkraft ging es vorerst um die Speisung der in grosser Zahl entstehenden Kanäle für die Binnenschifffahrt, welche bis zum Aufkommen der Eisenbahn das Massentransportmittel stellte, dessen die junge Industrie bedurfte. Entsprechend deren ersten Schwerpunkten wurden solche Kanäle vor allem in England und Frankreich erstellt. So wurde 50 km südöstlich Toulouse bereits 1667–75 der Erddamm St. Ferréol gebaut, welcher den Canal du Midi speiste und mit 36 m grösster Höhe für lange Zeit das bedeutendste Bauwerk seines Typs war. Trotz diesem Vorsprung im Dammbau gaben die französischen Ingenieure jedoch bald den Staumauern den Vorzug. In der Tat sind von den etwa 30 bis Ende des 19. Jahrhunderts in Frankreich gebauten Talsperren von über 15 m Höhe nur 30 % geschüttete Dämme. Genau entgegengesetzt verlief die Entwicklung in Grossbritannien, wo bis Ende des 19. Jahrhunderts über 130 Dämme von mehr als 15 m Höhe, aber fast keine Staumauern entstanden. Neben der Schifffahrt dienten diese vielen Dämme hauptsächlich der Deckung des infolge der Industrialisierung stark angestiegenen Wasserbedarfs der Städte. Verhältnismässig mehr Staumauern bauten die englischen Ingenieure in Indien und andern britischen Kolonien. In den damals noch in ihrer technischen Entwicklung massgebend von Europa beeinflussten USA gelangten bis Ende des 19. Jahrhunderts rund 30 Dämme und 20 Staumauern von mehr als 15 m Höhe zur Ausführung.

Die Bevorzugung der Staumauern in Frankreich und den angrenzenden Ländern war Ursache und Folge zugleich der, wie erwähnt, erstmaligen Entwicklung von brauchbaren Berechnungsmethoden durch französische Ingenieure. Auf den Theorien von *Navier* (1785–1836) aufbauend, gelangte *De Sazilly* 1853 zur Erkenntnis, dass bei der Dimensionierung einer Gewichtsstaumauer nicht nur eine hinreichende Gleitsicherheit einzuhalten ist, sondern dass auch bestimmte zulässige Beanspruchungen in Mauerwerk und Sperruntergrund nicht überschritten werden dürfen. Von *Delocre* 1858 formulierte, aber erst 1866 veröffentlichte, ähnliche Grundsätze, gelangten dann beim Bau (1861–66) der 60 m hohen Talsperre Gouffre d'Enfer am Furan bei St. Etienne zur Anwendung, welche somit nicht nur einen neuen Höhenrekord aufstellte, sondern auch die erste nach modernen Gesichtspunkten entworfene Gewichtsstaumauer wurde. 1881 ergänzte der britische Wissenschaftler *Rankine* vorgenannte Entwurfsregeln um die Forderung nach Vermeidung von Zugspannungen, während der Franzose *Lévy* 1895 auf die grosse Bedeutung der bis dahin vernachlässigten Auftriebswirkungen hinwies.

Delocre befasste sich auch bereits 1866 mit der Theorie der Bogenstaumauer, die er für die Berechnung in einzelne horizontale

³⁾ Oft fälschlicherweise als Erddamm (Estrecho de) Rientes bezeichnet (siehe «Revista de obras publicas» 1964, p. 442).

Tabelle 1. In Westeuropa (einschl. Skandinavien) und in den USA gebaute Talsperren von mehr als 15 m Höhe

Fertigstellungszeit	Anzahl Talsperren	
	Westeuropa	USA
1900–1909	90	100
1910–1919	70	220
1920–1929	170	280
1930–1939	180	280
1940–1949	180	240
1950–1959	510	530
Insgesamt	1200	1650

Gewölbe zerlegte. Die Berücksichtigung des vertikalen Zusammenhangs der Einzelbogen, d. h. die Berücksichtigung der Schalenwirkung, vollzog wohl erstmals 1904 der Amerikaner *Woodgard*, dessen Verfahren dann durch *Ritter* (1913) und *Rohn* (1919) sowie viele andere verbessert und verfeinert wurde. Schliesslich wagte sich 1922 *Pigeaud* erstmals an die schalen-theoretische Erfassung des Problems ohne Zerlegung in Einzelgewölbe.

Sonderbarerweise erst verhältnismässig spät wurden die Grundlagen für eine nicht nur auf reiner Empirie beruhende Projektierung der Erddämme geschaffen, obschon diese den am häufigsten verwendeten Talsperrentyp darstellen und der Franzose *Collin* bereits 1850 Untersuchungsmethoden vorgeschlagen hatte, die den heute benutzten sehr ähnlich waren. Dennoch hat es des Aufbaus der Erdbaumechanik durch *Terzaghi* und andere in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts bedurft, bis zuverlässige Verfahren für den Entwurf von geschütteten Dämmen entwickelt werden konnten. In Tat und Wahrheit bestehen aber auf dem ganzen Gebiet des Talsperrenbaus auch heute noch grosse Lücken in Erkenntnis und Wissen, so dass für Forschung und Wissenschaft nach wie vor weite Betätigungsfelder offen stehen.

V. Gegenwart

Mit dem Eintritt ins 20. Jahrhundert gelangte der Talsperrenbau zu einer beispiellosen Entfaltung, die heute weiterhin zunimmt und die ganze Welt umspannt. Hierzu wesentlich beigetragen haben die Entwicklung der Fernübertragung von elektrischer Energie und die damit möglich gewordenen grossräumigen Elektrizitätswirtschaften, in welchen Wasserkraftwerke mit Speicherbecken eine zunehmend wichtigere Rolle spielen. Gleichzeitig gewannen aber auch die klassischen Anwendungsbereiche von Talsperren, d. h. Bewässerung, Wasserversorgung und Hochwasser- bzw. Erosionsschutz, gewaltig an Bedeutung angesichts der starken Bevölkerungszunahme und im Hinblick auf die deshalb nötig gewordene Neuerschliessung oder Rückgewinnung von zusätzlichen Lebensräumen. Möglich gemacht wurde dieser Aufschwung zum Teil durch die vorstehend beschriebene, wissenschaftliche Durchdringung des Talsperrenbaus und die entsprechende Verwertung des sich anhäufenden Erfahrungsschatzes. Zum andern beruht er auf der zunehmenden Mechanisierung und Industrialisierung der Bauwirtschaft und der Einführung von dieser Entwicklung angepassten Baustoffen, wie z. B. des Betons im Stau-mauerbau.

Tabelle 2. Höhenentwicklung im Talsperrenbau

Mauern			Dämme		
3000 v. Chr.	Kosheish (Aegypten)	15 m	Um 240 v. Chr.	Gukow (China)	30 m
11. Jh. n. Chr.	Almonacid (Spanien)	29 m	1128 n. Chr.	Daimonike (Japan)	32 m
1589	Tibi (Spanien)	46 m	Um 1500	Mudduck Masur (Indien)	33 m
1866	Gouffre d'Enfer (Frankreich)	60 m	1675	St. Ferréol (Frankreich)	36 m
1904	Cheeseman (USA)	72 m	1840	Entwistle (England)	38 m
1905	New Croton (USA)	91 m	1867	Maday (Indien)	44 m
1910	Shoshone (USA)	99 m	1892	San Leandro (USA)	47 m
1915	Arrowrock (USA)	107 m	1909	Nexaca (Meciko)	56 m
1924	Schräh (Schweiz)	111 m	1911	Bull Corral (USA)	73 m
1929	Diablo (USA)	119 m	1924	Dix River (USA)	84 m
1932	Owyhee (USA)	127 m	1931	Salt Springs (USA)	100 m
1934	Chambon (Frankreich)	136 m	1939	San Gabriel (USA)	115 m
1936	Hoover (USA)	221 m	1948	Mud Mountain (USA)	130 m
1958	Mauvoisin (Schweiz)	237 m	1950	Anderson Ranch (USA)	139 m
1961	Vajont (Italien)	262 m	1958	Swift (USA)	156 m
1962	Grande Dixence (Schweiz)	284 m	1962	Trinity (USA)	164 m

Unberücksichtigt: Gasco (Spanien), deren Bau 1789 nach schweren Hochwasserschäden bei 57 m eingestellt wurde und Puentes (Spanien), welche 1791 wohl mit 52 m Höhe fertiggestellt wurde, aber 1802 einstürzte und erst 1884 wiederhergestellt wurde.

Da selbst eine summarische Aufzeichnung der Entwicklung in den letzten Dezennien den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen würde, soll diese, dem Geist des Zeitalters der grossen Zahl folgend, nur mehr kurz statistisch beleuchtet werden. Über den Umfang der seit der Jahrhundertwende vollbrachten Leistung gibt Tabelle 1 Aufschluss.

Der Anteil der geschütteten Dämme liegt in Westeuropa seit etwa 1920 um 15–20%, während er in den USA nie unter 40% fiel und zur Zeit nahe bei 80% liegt. Gleichzeitig fand in wenigen Jahrzehnten, statt wie vordem in Jahrhunderten, eine rasche Steigerung der Bauwerkshöhen statt (Tabelle 2), wobei zu bemerken ist, dass die Höhe einer Talsperre, unbeschden der leidigen Prahlerei, die zuweilen damit getrieben wird, doch ihr statisch-konstruktiv bedeutungsvollstes Merkmal ist. So wurden bis 1939 nur 11 Talsperren von über 100 m Höhe erstellt, davon 5 in Westeuropa und die übrigen in den USA. Ende 1959 standen über die ganze Welt verteilt bereits 88 derartige Bauwerke in Betrieb, zu denen in den folgenden 5 Jahren weitere 65 traten. Rund 80 befinden sich zur Zeit in Bau, ein getreuer Spiegel der sich beschleunigenden Ausweitung des Talsperrenbaus. Entsprechend zugenommen haben auch die Bauwerksmassen, und Betonkubaturen von mehreren Millionen m³ oder Dammschüttungen von Dutzenden von Millionen m³ stellen heute nichts Aussergewöhnliches mehr dar.

Rückblickend ergibt sich, wie allgemein in den Bereichen von Naturwissenschaft und Technik, das Bild verschiedener ungleich rasch und lange dahinfließender Entwicklungsströme, welche in die aus dem nachmittelalterlichen Europa mit wachsender Gewalt hervorbrechende Sturzflut übergehen. Wie stark der Fluss sich noch beschleunigen wird und wo er münden soll, wissen wir nicht. Sicher ist, dass der Umfang der ungestillten Bedürfnisse wie der sich bietenden Möglichkeiten auch den Talsperrenbau zur schöpferischen Lösung noch vieler dankbarer Aufgaben aufrufen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] *American Society of Civil Engineers*: Centennial Transactions 1953 (verschiedene baugeschichtliche Artikel).
- [2] *Associazione Nazionale Imprese Produttrici e Distributrici di Energia Elettrica*: Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani, vol. 1. Ed. ANIDEL, Roma 1961.
- [3] *E. Bosshard*: Beiträge zur Theorie und Berechnung der Bogenstau-mauern. Verlag Leemann, Zürich 1949.
- [4] *S. S. Butler*: Irrigation Systems of the Tigris and Euphrates Valleys. «Proc. Amer. Soc. of Civil Engrs.», Dec. 1960, Paper No. 2673, p. 21, fig. 5.
- [5] *R. Dussaud*: La digue du lac de Homs et le «mur égyptien» de Strabon. «Monuments et mémoires» 1921/22, p. 133–141, fig. 3.
- [6] *C. Fernandez*: Las presas romanas en España, «Revista de obras públicas», junio 1961, p. 357–363, fig. 16.
- [7] *R. J. Forbes*: Studies in Ancient Technology, vol. I and II. Ed. E. J. Brill, Leiden 1964 and 1965.
- [8] *General Directorate of State Hydraulic Works*: Dams in Turkey. Ed. Gen. Dir. of State Hydr. Works, Ankara 1964.
- [9] *E. Glaser*: Reise nach Marib. Ed. A. Hölder, Wien 1913.
- [10] *N. Glueck*: Rivers in the Desert. Ed. Farrar, Straus & Cudahy, New York 1959.

Unberücksichtigt: Ponthook (USA), welcher bei 84 m Höhe nur 4 m Kronenlänge aufweist.

- [11] G. A. Hathaway: Dams, Their Effect on Some Ancient Civilisations, «Civil Engineering», Jan. 1958, p. 58–63, fig. 5.
- [12] B. Hellström: Le plus vieux barrage du monde / The Oldest Dam in the World, «La houille blanche», 1952, p. 423–430, Fig. 12.
- [13] J. Hinds: 200-Year-Old Masonry Dams in Use in Mexico. «Eng. News Rec.», Sept. 1, 1932, p. 251–253, Fig. 6 (deutsch in «Schweiz. Bauzeitung» 1932, Bd. 100, p. 200, fig. 2).
- [14] International Commission on Large Dams: World Register of Dams. Ed. ICOLD, Paris 1964.
- [15] O. Lanser: Die Anfänge des österreichischen Talsperrenbaues. «Blätter für Technikgeschichte», Ed. Techn. Mus. für Ind. und Gewerbe, Wien 1960 (auch in: Die Talsperren Österreichs. Ed. Österr. Wasserwirtschaftsverband, Wien 1962).
- [16] H. Li: Die Geschichte des Wasserbaues in China. VDI-Beiträge zur Geschichte der Technik 1931, p. 59–73, fig. 18.
- [17] C. J. Merdinger: Civil Engineering Through the Ages. Ed. Soc. of Amer. Military Engrs., Washington/D.C. 1963.
- [18] C. Prelini: Some Dams of the Ancients. «Eng. News Rec.», Oct. 6, 1921, p. 556–557, fig. 0 (deutsch in: «Der Bauingenieur» 1922, p. 185–186).
- [19] K. L. Rao: Earth Dams, Ancient and Modern, in Madras State. ICOLD New Delhi 1951, vol. I, p. 285–301, fig. 4.
- [20] K. L. Rao: Stability of Slopes in Earth Dams and Foundation Excavations. Int. Conf. on Soil Mech., Paris 1961, vol. II, p. 691–695, fig. 6.
- [21] J. L. Sherard, R. J. Woodward, S. F. Gizienski and W. A. Clevenger: Earth and Earth-Rock Dams, Ed. J. Wiley & Sons Inc., New York 1963.
- [22] L. Sprague de Camp: The Ancient Engineers. Ed. Doubleday & Co. Inc., Garden City/N.Y. 1963 (deutsch: Econ-Verlag GmbH, Düsseldorf 1964).
- [23] H. Straub: Die Geschichte der Bauingenieurkunst. Ed. Birkhäuser, Basel 1949/1964.
- [24] R. C. Thompson and R. W. Hutchinson: The Agammu of Sennacherib on the Khosr. «Archaeologia» 1929, p. 114–116, fig. 4.
- [25] C. Vita-Finzi: Roman Dams of Tripolitania. Antiquity 1961, p. 14–20, fig. 2.
- [26] P. Von der Lippe: Ceylon Restores its Ancient Irrigation Works. «Civil Engineering», Sept. 1951, p. 41–44, fig. 9 (deutsch in: «Die Bautechnik» 1953, p. 367–368, fig. 3).
- [27] E. Wegmann: The Design and Construction of Dams. Ed. J. Wiley & Sons, New York 1899.
- [28] P. Ziegler: Der Talsperrenbau. Ed. A. Seydel, Berlin 1900.

Adresse des Verfassers: Niklaus Schnitter, dipl. Ing., Motor Columbus AG, 5401 Baden.

Die vier letzten der Prof. Schnitter gewidmeten Beiträge folgen im nächsten Heft. Es sind:
 Felsmechanische Untersuchungen an der Sperrstelle Punt dal Gall, von **B. Gilg** und **E. Dietlicher**
 Tendances actuelles et difficultés en mécanique des roches, par **Ch. Jaeger**
 L'économie des pointes, par **André Kœchlin**
 Entwicklungen im Bau von Staudämmen, von **O. Rambert** und **W. Würth**

Verzeichnis der Veröffentlichungen von Prof. G. Schnitter

- Sondierbohrungen und Injektionen. «Schweiz. Bauzeitung» 1944, Bd. 123 S. 125–128.
- Bemerkungen zur Ausbildung der Ingenieure. «Schweiz. Bauzeitung» 1943, Bd. 122, S. 255.
- Schweizer Lexikon (wasserbauliche Stichworte). Encyclopedie-Verlag AG, Zürich 1945/48.
- Die Installationen für den Bau der Talsperre Rossens / Les installations pour la construction du barrage de Rossens. «Hoch- und Tiefbau» / «L'entrepre» 1947, S. 115–126.
- Der Bau der Staumauer Rossens. «Schweiz. Bauzeitung» 1948, S. 641–644, 657–661, 687–691.
- Einige Betrachtungen über den baulichen Teil schwedischer Wasserkraftanlagen. «Schweiz. Bauzeitung» 1948, S. 724–726.
- Bauwerke aus Massenton, insbesondere Talsperren. «Schweiz. Bauzeitung» 1953, S. 116–119.
- Modellversuche für Kraftwerksbauten im Wallis (Einleitung). «Wasser- und Energiewirtschaft» 1955, S. 136.
- Entwicklungen im schweizerischen Talperrenbau. «Der Bauingenieur» 1955, S. 363–367.
- Wehrbauten. «Schweiz. Bauzeitung» 1955, S. 610–617.
- Jüngste Entwicklung des baulichen Teiles der schweizerischen Wasserkraftanlagen (mit H. Gicot). Fünfte Weltkraftkonferenz, Wien 1956, Bericht 195, H. 32.
- Staudämme. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1956, S. 27–37.
 Theorien zur Berechnung von Staumauern und Staudämmen. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1956, S. 183–187.
- Sickerströmungen als Folge von Stauspielgeschwankungen in Erddämmen (mit J. Zeller). «Schweiz. Bauzeitung» 1957, S. 808–814.
- Die Bedeutung der technischen Zeitschrift im Urteil von Wissenschaft, Forschung, Verwaltung und Praxis (mit M. Oesterhaus und G. Gysel). «Wasser- und Energiewirtschaft» 1958, S. 5–7.
- Bodenmechanische Probleme beim Entwurf und Bau des Erddammes auf der Göschenalp. Vorträge der Baugrundtagung 1958 in Hamburg, S. 69–83.
- Vierter internationaler Kongress für Bodenmechanik und Fundamentechnik, London 1957: Erddämme, Böschungen und Einschnitte. «Strasse und Verkehr» 1958, S. 93–95.
- Geotechnische Untersuchung des Untergrundes für den Staudamm Göschenalp (mit J. Zeller). «Wasser- und Energiewirtschaft» 1958, S. 242–248.
- Herstellung, Transport und Einbringen von Beton auf grossen Baustellen. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1958, S. 277–284.
- Soil Mechanics Investigation on Ground-Freezing (with F. Balduzzi). 11th Int. Road Congress, Rio de Janeiro 1959, R. 17.
- Eindrücke vom 6. Internationalen Kongress für grosse Talsperren und von einer der daran anschliessenden Studienreisen. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1959, S. 95–102.
- Probleme des Nationalstrassenbaues. «Basler Nachrichten» 5. August 1959.
- Ausgleichsbecken. «Schweiz. Bauzeitung» 1959, S. 721–728.
- Aufbau der Strasse. «Strasse und Verkehr» 1959, S. 316–326 (en français: «Strasse und Verkehr» 1960, p. 58–67).
- Zur Berechnung von Flachgründungen. «Schweiz. Bauzeitung» 1960, S. 171–173.
- Übersicht über die Entwicklung der Hydraulik und der Bodenmechanik (mit E. Meyer-Peter). «Wasser- und Energiewirtschaft» 1960, S. 72–82.
- Bentonit im Grundbau. «Schweiz. Bauzeitung» 1960, S. 313–315.
- Der Bruch der Staumauer Malpasset. «Strasse und Verkehr» 1960, S. 435–436.
- Neuere Pfahlgründungen. «Schweiz. Bauzeitung» 1961, S. 13–18.
- Geotechnical Investigations of Mixtures of Bitumen, Clay or Bentonite with Sandy Gravel (with J. Zeller). 7th Int. Congress on Large Dams, Rome 1961, vol. IV, p. 197–239.
- Digues en terre ou en enrochement. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1961, p. 206–215.
- Optical Measurement of Pavement Deflection Due to Vehicle Wheel Loads (with F. Müller). Proc. Highway Research Board 1961, p. 282–294.
- Stabilized Soil Foundations for Runways on Soil of Low Bearing Capacity (with A. Bollier). 5th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Paris 1961, vol. II, p. 309–313.
- Freezing Index and Frost Penetration in Switzerland (with R. Zobrist). 5th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Paris 1961, vol. II, p. 315–320.
- Ausbildung des Ingenieur-Nachwuchses und Forschungsstätten auf dem Gebiete der Wasserwirtschaft und der Wassernutzung in der Schweiz. «Wasser und Boden» 1962, S. 50.
- Die Deflektion von Strassendecken unter einer Radlast (mit F. Müller). «Strasse und Verkehr» 1962, S. 51–64.
- Schweizerische Erfahrungen mit zementstabilisierten Tragschichten im Güterwegebau (mit R. Jenatsch). «Strasse und Verkehr» 1962, S. 162–171.