

Vorrömische Talsperren

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 20

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76156>

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.

Vorrömische Talsperren

Von Niklaus Schnitter, Baden

Die ältesten Talsperren der Welt entstanden gegen Ende des vierten vorchristlichen Jahrtausends. Gestützt auf zum Teil neueste Forschungsergebnisse wird etwa ein Dutzend solcher Bauten behandelt, die entstanden bevor die Römer die Technik aufnahmen und in allen Teilen ihres Reiches verbreiteten. Die beschriebenen Talsperren zeigen, dass sich der Mensch schon früh einer fortgeschrittenen Technik und zum Teil gar grosstechnologischer Lösungen bedienen musste, wollte er mit seinen oft widrigen Lebensbedingungen fertig werden.

Einleitung

Als Begründer umfassender und weiträumiger Infrastrukturbauten (Strassen, Wasserversorgungen, Grenzbefestigungen, usw.) erstellten die Römer allenthalben auch Talsperren in grosser Zahl [1]. Sie sind aber beileibe nicht die Erfinder dieser Technik, auch wenn einzelne Talsperrentypen wie die Bogen- und Pfeilerstaumauern auf sie zurückgehen [2]. Gewichtsstaumauern und Schüttdämme entstanden hingegen in verschiedenen Teilen der Welt schon viel früher.

Die Überreste der ältesten Talsperren der Welt sollen sich (wie könnte es anders sein!) in der Sowjetunion befinden, an einem Zufluss zum Flusse Kasakh in Aserbaidzhan (Bild 1). Die drei 2–3 m hohen und 165–320 m langen Erddämme bei *Mokhrablura* zur Ableitung der Frühlingshochwasser auf umliegende Felder sollen im 4.–3. Jahrtausend v. Chr. entstanden sein [3]. Nähere Angaben, wie Pläne oder Fotos, wurden m.W. bislang noch nicht veröffentlicht.

Kurzes Wunder in der Wüste

Umso gründlicher dokumentiert sind nach mehrjährigen Grabungen in den 1970er Jahren die Sperren um *Jawa* 100 km nordöstlich der jordanischen Hauptstadt Amman [4]. Inmitten einer unwirtlichen Basaltwüste gelegen, muss die ursprünglich für rund 2000 Einwohner ausgelegte Stadt gegen Ende des 4. Jahrtausends v. Chr. sehr rasch gebaut worden sein. Ja, man hat sogar ausgerechnet, dass der Bau der Stadt und ihrer lebenswichtigen Wasserversorgung am Anfang einer Regenzeit beginnen musste, wollte die Bevölkerung mit ihren Herden die darauffolgende Trockenzeit überleben.

Daraus lässt sich auch schliessen, dass die Stadt nicht eine Entwicklung lokaler Nomaden war, sondern von einer wohl aus dem Norden stammenden, an städtische Verhältnisse gewohnten Ver-

triebenenschar erstellt wurde, die wie 1800 Jahre später das Volk Israel durch die Wüste zog, auf der Suche nach einer neuen Bleibe. Der gewählte Standort ist sowohl verteidigungs- wie wasserbautechnisch der günstigste weitherum: im Norden und Osten umgibt ihn die rund 20 m tiefe Schlucht des Flusses Rajil, welcher über einen Jahresabfluss von immerhin 2 Mio m³ verfügt. Gegen Westen und Süden fällt der Stadthügel zu einem weniger tiefen Tal ab, in dem sich die Niederschläge auf die umliegenden Hänge in Tümpeln sammeln.

Diese Tümpel deckten wohl auch den Wasserbedarf der Siedler während des Stadtbaues und wurden gleich zu dessen Beginn zu Teichen aufgestaut und mit einer etwa 3 km langen Zuleitung vom Rajil oberhalb der Stadt versehen. Die 4,5 m hohe und 80 m lange Sperre

des 22 000 m³ fassenden Hauptteiches P4 wies einen recht komplexen Querschnitt auf (Bild 2). Ihr Dichtungselement bestand aus zwei Trockenmauern, welche einen 2 m starken Erdkern umschlossen. Zusätzlich war dem wasserseitigen Fuss ein kurzer Dichtungsteppich vorgelagert. Die Standsicherheit gewährleistete ein luftseitiger Erdkörper.

Ähnlich aufgebaut war die Sperreerhöhung um 1 m, wobei jedoch der Erdkern auf 7 m verbreitert und hinter der wasserseitigen Trockenmauer eine drainierende Steinpackung eingebaut wurde, um diese gegen luftseitigen Wasserdruck im Falle einer Teichentleerung zu schützen (!). Die Stauerhöhung am Hauptteich und andere Erweiterungen der Wasserversorgung von Jawa wurden nie vollendet, weil die «Wunderstadt» in der Wüste innerhalb einer Generation ebenso rasch kollabierte, wie sie entstanden war. Möglicherweise ging sie gar an ihrem Erfolg zu Grunde, d. h. am übermässigen Zuzug lokaler Bevölkerung, welchem die Wasserversorgung nicht zu folgen vermochte.

Katastrophe in der Wüste

Von Anfang an unter einem schlechten Stern gestanden zu haben scheint der Dammbau *Kafara* am Garawi, ein

Bild 1. Weltkarte mit Lage der im Artikel behandelten vorrömischen Talsperren



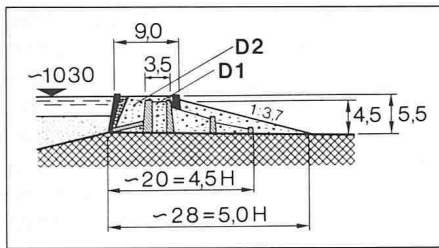


Bild 2 (links). Querschnitt des Abschlussdammes (D1) des Hauptteiches PA am Westrand von Jawa/Jordanien und seiner unvollendet gebliebenen Erhöhung (D2)



Bild 3. Wasserseitige Ansicht der Überreste des Dammes Kafara 30 km südlich von Kairo mit seiner sorgfältigen Steinabdeckung (Foto H. Fahlbusch, Ratzeburg/BRD)

Bild 4. Querschnitt des Dammes Kafara

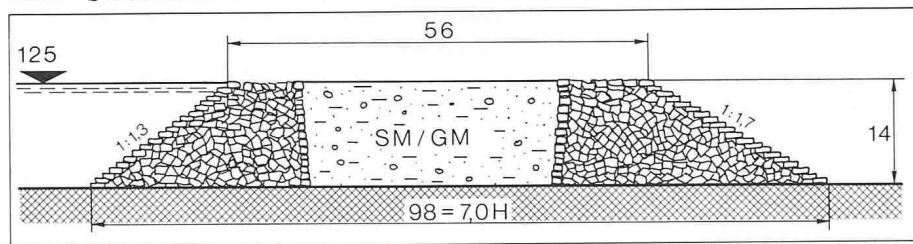
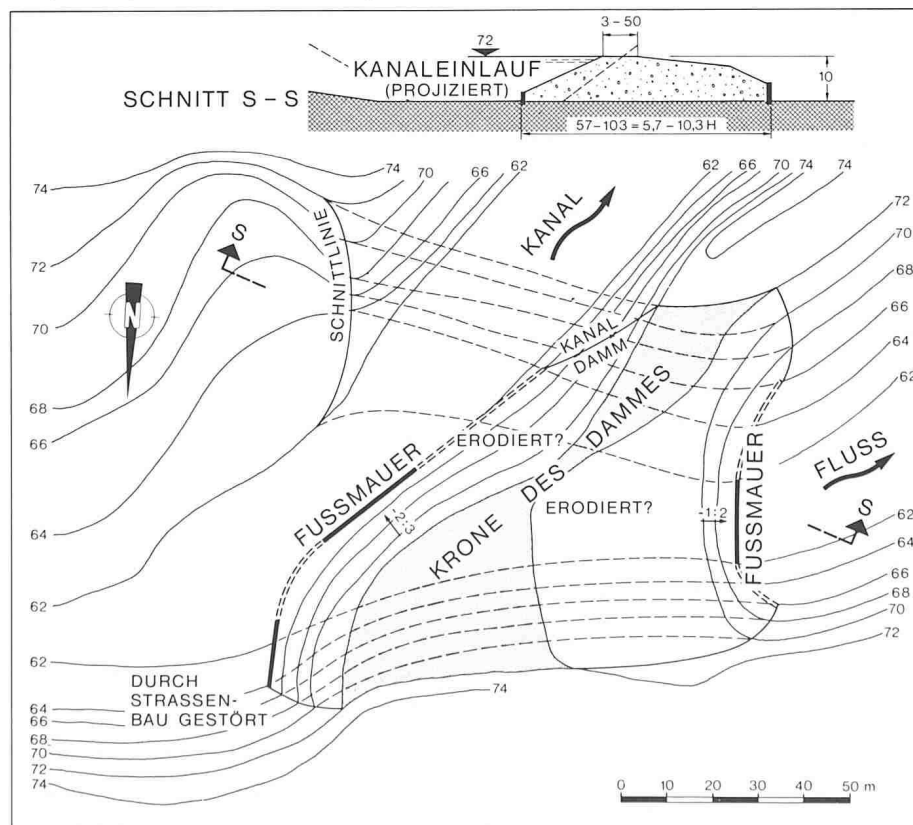


Bild 5. Plan und Querschnitt des mykenischen Umleitdammes bei Kofini auf der Peloponnes/Griechenland (Grundtopo aus dem Führer durch Tiryns des deutschen archäol. Inst. in Athen)



30 km südlich von Kairo aus Osten ins Niltal mündender Trockenfluss. Dessen gelegentliche, heftige Hochwasser sollten wohl durch die Sperre aufgefangen und verdunstet werden, wurden ihr selbst aber noch vor ihrer Fertigstellung zum Verhängnis. Diese neuen Erkenntnisse ergeben sich aus der erst vor wenigen Jahren erfolgten Detailuntersuchung der seit einem Jahrhundert bekannten Überreste des Bauwerkes (Bild 3) [5].

Der Bau wird nun auf etwa 2600 v. Chr. datiert, d. h. in den Beginn der Pyramidenzeit. Entsprechend grossartig war auch die Sperre geplant, sollte sie doch bei 113 m Kronenlänge 14 m hoch werden und über eine halbe Mio m³ Wasser stauen. Wohl mangels Vorbildern und Erfahrung kräftig überdimensioniert war der Sperrenquerschnitt, vor allem der zwischen zwei Stützkörpern aus Steinschüttungen angeordnete Dichtungskern aus schluffigem Kiessand (Bild 4). Damit stieg die Bauwerksmasse auf 87 000 m³ und die Bauzeit auf 8-10 Jahre, wobei vor allem Herstellung und Einbau der rund 17 000 Abdecksteine von 300 kg Gewicht auf Wasser- und Luftseite besonders zeitraubend gewesen sein muss. Da weder ein Umleitkanal oder gar -stollen vorhanden war, wurde eine Überflutung durch Hochwasser während der Bauzeit fast unausweichlich.

Die durch den Dammbau vergrösserte Flut muss so schlimm gewesen sein, dass sie die altägyptischen Ingenieure endgültig vor weiteren Talsperrenbauten abhielt. Selbst die vom antiken Geographen Strabon (63 v. Chr.-20 n. Chr.) dem Pharao Sethos I (1305-1290 v. Chr.) zugeschriebene Gewichtsstaumauer Quatinah zum Aufstau des Sees von Homs in Syrien wird heute in die Zeit des spätrömischen Kaisers Diokletian (284-305 n. Chr.) datiert [1].

Zur Abwendung von Katastrophen

Erfolgreich verlief, und heute noch wirksam ist, ein rund 1300 Jahre jüngerer Schutzwasserbau auf der Peloponnes in Griechenland [6]. Dabei wurde der die mykenische Stadt Tiryns mit seinen Hochwassern bedrohende Fluss Lakissa bei Kofini durch einen Damm gesperrt und in einen 3 km langen Kanal zu einem andern Fluss geleitet (Bild 5). Auch in diesem Fall ist der 10 m hohe und 100 m lange Dammkörper wohl mangels Vorbildern und Erfahrung überdimensioniert, vor allem rechtsufrig. Sein innerer Aufbau ist unbekannt, da er, wie gesagt, noch steht und seine Umleitfunktion erfüllt.

Das Werk erinnert stark an die fünfte Arbeit des sagenhaften Herakles, d. h. die Ausmistung des Augiasstalles, durch den er kurzerhand einen Fluss umleitete. Herakles war ja auch der Sohn des nach Theben verbannten Königs von Tiryns und dessen neuer Herrscher, der König von Mykene, sein Auftraggeber für die berühmten zwölf Arbeiten. Auch hinter andern derselben hat man schon Ingenieurleistungen vermutet, doch nirgends scheinen sich Sage und Wirklichkeit so nah zu kommen, wie im Fall des Umleitdammes von Kofini.

Grundlage eines Reiches

Ebenfalls von Sagen umrankt ist die nächstfolgende alte Talsperre im Reich von Saba in Nord-Yemen, das durch den prunkvollen Besuch seiner Königin Bilkis bei König Salomo (966-926 v. Chr.) in die Bibel einging (1, Könige/10 und 2, Chronik/9). Allerdings auf rund 200 Jahre nach diesem Ereignis angesetzt wird der Beginn der Sperrenbauten am Fluss Danah westlich der Hauptstadt Marib. Die detaillierte Untersuchung dieser epochalen Bauwerke ist noch im Gange, so dass erst gewisse Vorberichte zur Verfügung stehen sowie topographische Aufnahmen, die in Zusammenhang mit dem laufenden Neubau flussaufwärts gemacht wurden [7].

Sicher ist die lebenswichtige Bedeutung gut funktionierender Bewässerungsanlagen in dem ariden Klima, und dass diese ständig unterhalten und ihrer laufende Verschlammung (etwa 1 cm/Jahr) angepasst werden mussten. Der erste etwa 8 m hohe Aufstau des pro Jahr rund 200 Mio m³ Abfluss in wenigen, oft sehr heftigen Hochwassern bringenden Danah scheint rund 300 m unterhalb der heute noch klar erkennbaren Sperrstelle erfolgt zu sein (sog. Bau A). Die Entwicklung letzterer begann Mitte des 6. Jh. v. Chr. mit dem Bau des südlichen der markanten Einlaufbauwerke aus teilweise hervorragend erhaltenem Quadermauerwerk (Bild 6).

Wann die Anlage den heute sicht- bzw. rekonstruierbaren Endzustand erreichte, ist unbekannt, blieb sie doch bis zu Beginn des 7. Jh. n. Chr., d. h. fast 1200 Jahre in Betrieb! Im Endzustand bestand sie aus einem rund 700 m langen und bis 20 m hohen Erddamm. Dieser war beidseits mit etwa 1:1,8 eher steil abgeböschst und wurde in böschungsparellen, nicht horizontalen Lagen eingebracht. Die Wasserseite wies stellenweise eine unvermörtelte Steinverkleidung von 20-40 cm Stärke

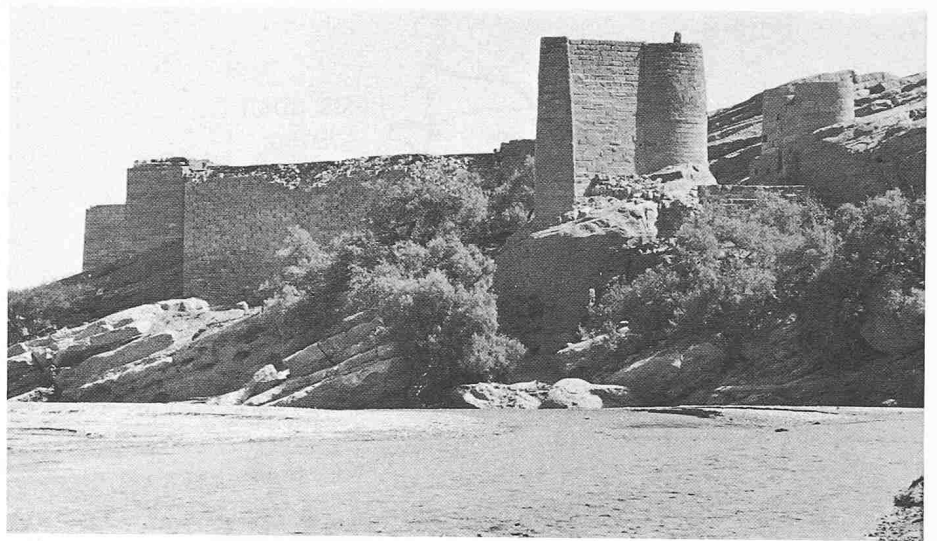


Bild 6. Wasserseitige Ansicht des südlichen Kanaleinlaufs der Marib-Sperre, mit links der Wand, an die der Damm anschloss (Foto U. Brunner, Bassersdorf/ZH)

Bild 7. Plan des Damms Marib im Nord-Yemen in seinem Endzustand

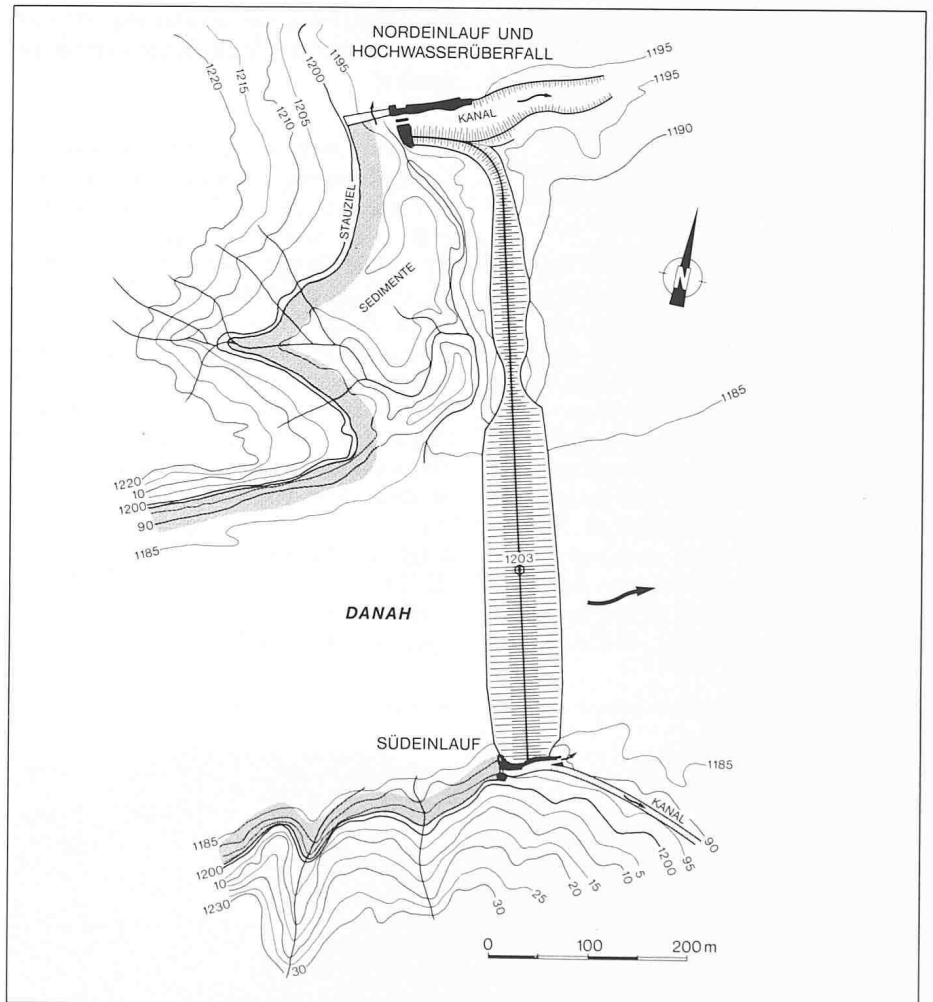
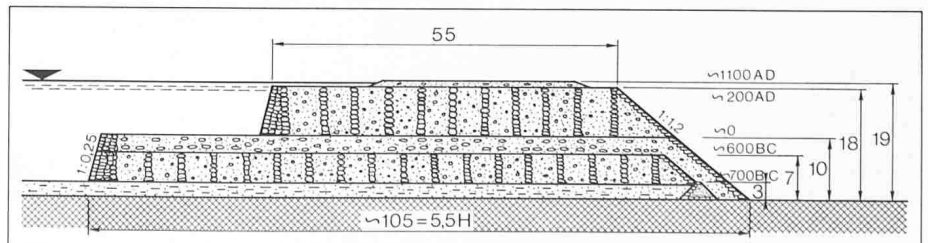


Bild 8. Querschnitt des in fünf Etappen über rund 1800 Jahre hochgezogenen Erddammes Purron in Mexiko (BC = v. Chr., AD = n. Chr.)



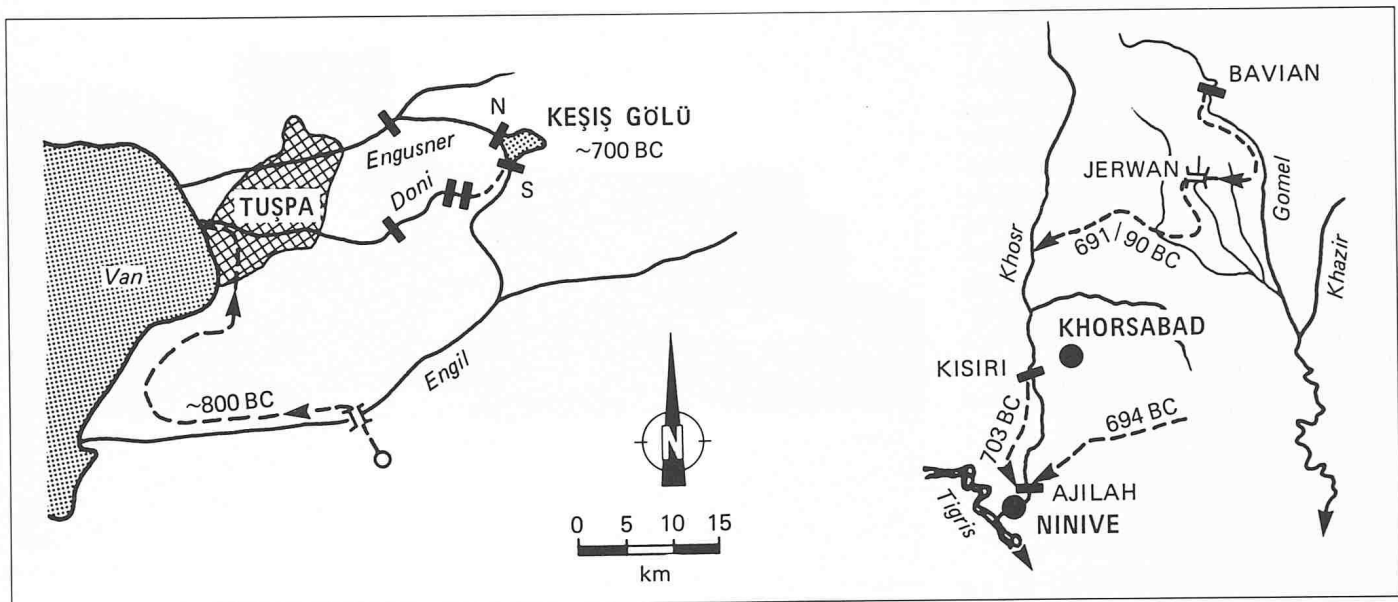


Bild 9. Gleichmassstäbliche Karten der Wasserversorgungen von Tuşpa/Türkei und Ninive/Irak

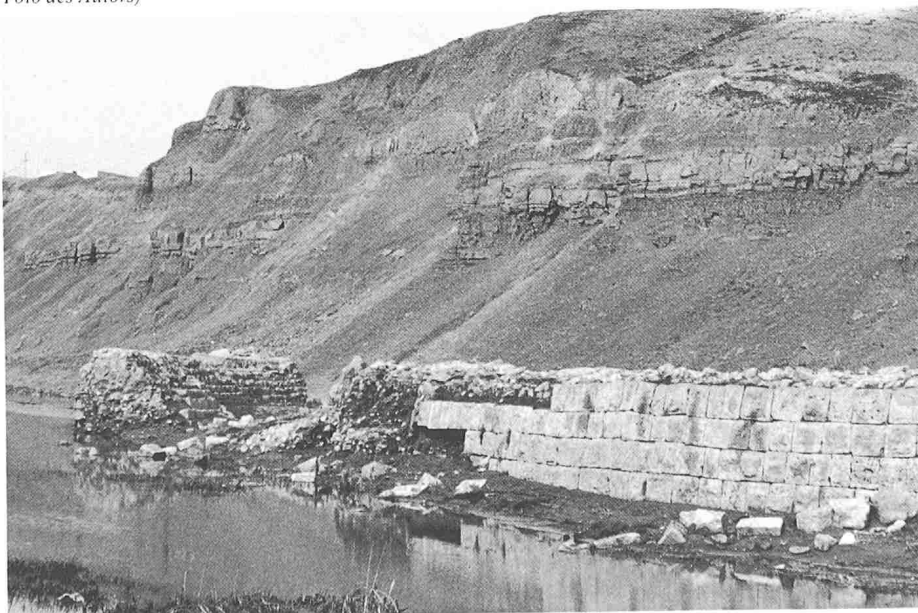
auf. An beiden Dammdenden befanden sich, ausserhalb des Flussbettes auf Fels gegründet, die genannten Einlaufbauwerke zu den hochgelegenen Bewässerungskanälen. Das nördliche war mit einem rund 50 m langen Hochwasserüberlauf nach Norden kombiniert (Bild 7).

Bis zur Überlaufschwelle betrug der Stauraum rund 30 Mio m³ oder nur 15% eines Jahresabflusses, so dass der See rasch verlandete, zumal auch die Einläufe nur wenige Meter tiefer lagen. Letzteres zeigt aber auch, dass keine Speicherung von Wasser bezweckt war, sondern nur dessen Anhebung und Ableitung. Zwischen der Überlaufschwelle und der etwa 4 m höheren Dammkrone befanden sich nochmals rund 30 Mio m³ Retentionsraum, der aber zusammen mit dem Ableitvermögen des Überfalls und der Einläufe von

etwa 1500 m³/s nur ausreichte, um mit den häufigeren Hochwassern fertig zu werden.

Deshalb kam es immer wieder zu Dammbürchen infolge Überflutung. Für die letzten 2½ Jahrhunderte sind z. B. fünf solche Ereignisse bezeugt. Der letzte Dammbbruch und die endgültige Aufgabe der Anlage zu Beginn des 7. Jh. n. Chr. fand gar Aufnahme im Koran (Sure 34, Vers 14) als abschreckendes Beispiel für die Bestrafung von Abweichlern und Ungläubigen. Einen Sonderfall stellt die Verwüstung der Dammanlage durch die Römer dar, anlässlich ihres von Kaiser Augustus (31 v. Chr. – 14 n. Chr.) angeordneten, erfolglosen Feldzuges gegen die Sabäer 25/24 v. Chr. Doch hat er die Römer vielleicht zum ersten Male mit der Talperrentechnik in Kontakt gebracht.

Bild 10. Oberster Teil der Ajilah-Sperre in Ninive, wobei ganz links der Mauerquerschnitt erkennbar ist (Foto des Autors)



Nochmals 1000 Betriebsjahre

Ähnlich lang wie die Marib-Sperre in Betrieb stand am andern Ende der Welt der Erddamm *Purron*, 260 km südöstlich der Stadt Mexiko in Mittelamerika [8]. Unterdesen ist er durch den Wildbach Lencho Diego wieder durchbrochen worden, so dass sein innerer Aufbau ersichtlich geworden ist (Bild 8). Auch er wurde mehrfach erhöht, nach Massgabe der fortschreitenden Verlandung des relativ kleinen Staubeckens. Dieses scheint hier eindeutig der Umlagerung von Bewässerungswasser von der Regen- in die Trockenzeit gedient zu haben.

Die erste Bauetappe des Purron-Dammes wird auf Anfang des 7. Jh. v. Chr. datiert, also in eine Zeit lange vor den bekannten präkolumbischen Hochkulturen. Sie bestand aus einer einfachen Aufschüttung von nur 3 m Höhe, deren Stau rasch verlandet sein muss und die deshalb bereits um 600 v. Chr. erhöht wurde. Die viermetrige Erhöhung wies bereits einen systematischen Aufbau auf, bestand sie doch aus Trockenmauerzellen, welche mit verdichteter sandiger Erde gefüllt waren. Wasserseits wurde sie durch eine Stützmauer begrenzt, während die Luftseite mit Steinen verkleidet war. Die Dammkronenmass 400 m und der Stauinhalt betrug 1,4 Mio m³. Der auf der Auflandung der ersten Etappe ruhende Fuss der Erhöhung war mit einer Breite von rund 100 m gewaltig überdimensioniert, erlaubte aber weitere Erhöhungen ohne wesentliche Verbreiterung.

Etwa um 200 n. Chr. erreichte der Purron-Damm eine Höhe von 18 m, ein Volumen von 370 000 m³ und einen Stauinhalt von 5,1 Mio m³. Die gering-

fügte vierte Erhöhung um 1100 n. Chr. scheint in Zusammenhang mit einem Pyramidenbau auf der Krone des Dammes gestanden zu haben und nicht mit dessen weiteren wasserwirtschaftlichen Nutzung. Für diese erfolgte die Wasserentnahme übrigens durch zwei das rechte Ende der Dammkrone durchschneidende Rinnen, welche mittels Baumstämmen, Steinblöcken und Erde verschlossen wurden und auch der Ableitung von Hochwassern dienten. Nach dem Purron-Damm entstanden noch verschiedenorts in Mittel- und Südamerika präkolumbische Talsperren.

Wer hat wen kopiert?

Die nächstfolgenden Anlagen führen zurück in den Nahen Osten und zu bescheideneren Dimensionen. Dafür sind sie besonders interessant, weil bei ihnen der erste nachweisbare Technologietransfer auf dem Gebiet des Wasserbaus zwischen zwei Kulturen stattfand. Bei letzteren handelt es sich um die der Urartäer im Norden und die der Assyrer im Süden der türkisch-irakischen Grenze. Der Vorrang gebührt dabei wohl den Urartäern, den Vorfahren der Armenier.

In der Tat hatte bereits der urartäische König Menua (805–785 v. Chr.) seine Hauptstadt Tuşpa am Ostufer des Van-Sees mit einer 56 km langen Zuleitung von einer ständig fließenden Quelle in den süd-östlichen Bergen versehen (Bild 9, links) [9]. Für die weitere Wasserbeschaffung wandte man sich dann der im Osten 900 m höher oder auf rund 2500 m ü. M. gelegenen Hochebene *Keşiş Gölü* zu, wo der durch Tuşpa fließende Engusner entspringt. Wegen des Schneefalls geht dessen Abfluss im Winter stark zurück, weshalb eine saisonale Wasserspeicherung unabdingbar war. Sie wurde erzielt durch Sperrung des Engusner einerseits und einer Senke am südlichen Rand der Hochebene andererseits.

Typ und Abmessungen der erstgenannten Nordsperrre lassen sich nicht mehr genau bestimmen, weil sie 1891 durch ein Hochwasser weggespült und 1894/95 durch eine 1952 erhöhte moderne Konstruktion ersetzt wurde. Als Ruine erhalten geblieben ist hingegen die Südsperrre. Sie bestand aus zwei Trockenmauern mit dazwischenliegendem breitem Erdkern, die eine gesamte Fussbreite von 27 m erreichten. Ihre Kronenlänge betrug 62 m und ihre Höhe 6 m. Aus letzterer kann auf eine ursprüngliche Höhe der Nordsperrre von etwa 15 m und einen Gesamtinhalt

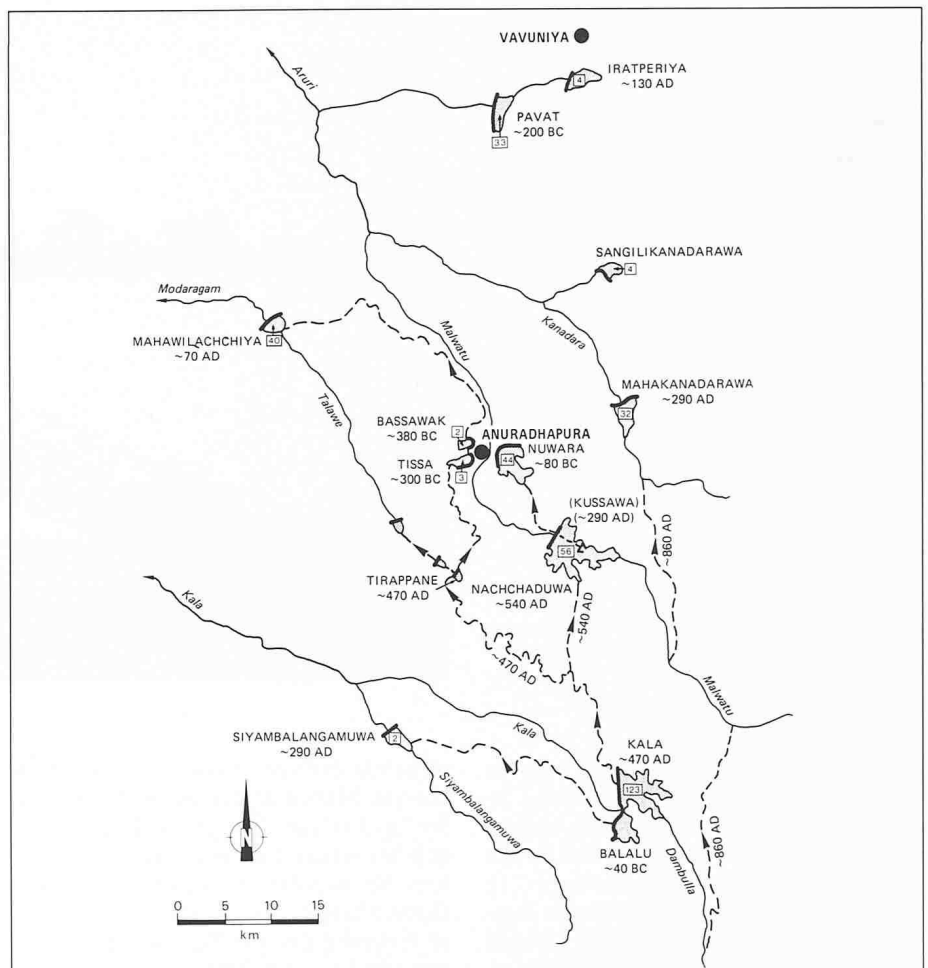


Bild 11. Karte der Speicherseen und Verbindungskanäle (gestrichelt) um Anuradhapura im Nordwesten von Sri Lanka (eingekreiste Zahlen = Stauinhalte in Mio m³)

des Speichers von rund 100 Mio m³ geschlossen werden, von dem mehr als die Hälfte nutzbar war. Der Speicherbewirtschaftung sowie der Hochwasserentlastung dienten an beiden Sperrre kleine, wasserseits verschliessbare Durchlässe aus sorgfältig behauenen Blöcken.

Die Datierung der Stauanlage *Keşiş Gölü* ist nicht genau möglich, obschon bei der Südsperrre eine Stele gefunden wurde, auf der König Rusa sein Bauwerk und dessen Nutzen ausführlich beschreibt und preist. Doch weiss man nicht, ob es sich um Rusa I (730–714 v. Chr.) oder seinen Enkel Rusa II (685–645 v. Chr.) handelt. Interessant wäre die Beantwortung dieser Frage aber, weil der spätere assyrische König Sanherib (704–681 v. Chr.) vor und nach dem Feldzug seines Vaters Sargon II (721–705 v. Chr.) im Jahre 714 v. Chr. gegen Urartu dieses und insbesondere seine Wasserbauten auskundschaften liess.

Nach seinem Herrschaftsantritt veranlasste dann Sanherib den Bau dreier Wasserzuleitungen aus dem Norden zu seiner Hauptstadt Ninive, an deren Anfang bzw. Ende sich Talsperren befanden (Bild 9, rechts) [10]. Die älteste derselben ist die 703 v. Chr. gebaute Sperrre

Kisiri (Qayin), welche vom durch Niniwe fließenden Khosr 15 km oberhalb der Stadt Wasser in einen Kanal ableitete. Sie bestand aus einem im wesentlichen flussparallelen, langen und niedrigen Streichwehr aus Mauerwerk. Ähnlich konstruiert war die 694 v. Chr. erstellte Sperrre *Ajilah* in Ninive an der Stelle, wo eine Zuleitung aus den Bergen im Osten der Stadt in den Khosr mündete. Die Mauer ist etwa 230 m lang und 3 m hoch und mit schönen Steinquadern verkleidet. Ihre Wasserseite ist lotrecht, während die Luftseite geneigt ist (Bild 10). Keine Einzelheiten sind leider über die 690 v. Chr. entstandene Sperrre *Bavian* am Gomel bekannt, von der aus ein 55 km langer Kanal Wasser ins Einzugsgebiet des Khosr überleitet. In seinem Verlauf befand sich der 300 m lange und 8 m hohe Aquädukt von Jerwan.

Weiträumige Speichersysteme

An den vorherbeschriebenen Wasserversorgungen Tuşpas und Ninives sind nicht nur die zahlreichen Talsperren bemerkenswert, sondern mindestens so sehr die Tatsache, dass diese Teile bereits recht weiträumige Wasserwirt-

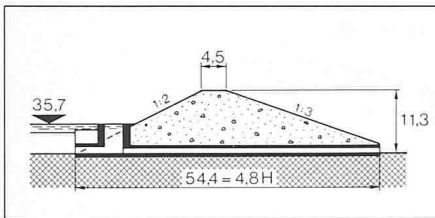


Bild 12. Querschnitt des Erddammes Nuwara bei Anuradhapura



Bild 13. Wasserseitige Ansicht des Erddammes Nuwara mit Schacht des Ablasses im Vordergrund (Foto des Autors)

schaftssysteme bildeten. Die ersten Meister in dieser Beziehung sollten jedoch die Singhalesen werden, welche ab 543/544 v. Chr. die Insel Sri Lanka (früher: Ceylon) in Besitz nahmen [11]. Schon zuvor hatten eingeborene Bauerngemeinschaften zahlreiche kleine und primitive Dorfspeicher angelegt, um die intensiven Abflüsse der sehr kurzen Regenzeit in die lange Trockenzeit hinüber zu retten. Auch die neuen Herren aus dem Gangestal versahen ihre erste Hauptstadt Vijithapura bei Polonnaruwa im Nordosten der Insel mit einem ansehnlichen, heute trocken liegenden Staubecken. Als die Hauptstadt 380 v. Chr. für die nächsten tausend Jahre nach Anuradhapura im Nordwesten verlegt wurde, entstanden daselbst in relativ rascher Folge immer grössere Staueeen, welche den Kern bildeten für ein später weit ausgreifendes, durch lange Kanäle verbundenes Speichersystem (Bild 11).

Schon der den ältesten Speicher *Bassawak* (oder *Abhaya*) von 2 Mio m³ Inhalt

stauende Erddamm wies das hervorsteckende Merkmal der alten Talsperren Sri Lankas auf, d. h. grosse Kronenlängen bei relativ bescheidenen Dammhöhen. So war der 10 m hohe Bassawak-Damm bereits 1,2 km lang. Am 80 Jahre jüngeren Damm *Tissa* wurde 3,5 km erreicht bei 11 m Höhe und die gleich hohe Sperre des 80 v. Chr. gebauten Speichers *Nuwara* ist 8,6 km lang! Mit 44 Mio m³ Inhalt gehört letzterer auch zur Kategorie der später recht zahlreichen und noch erheblich umfänglicheren Grossspeicher. Entsprechend bedeutend waren die zu bewegendenden Erdmassen, zumal die beidseitigen Böschungen der homogen aufgebauten Dämme eher vorsichtig flach waren.

So erforderte z. B. die letztgenannte Nuwara-Sperre ein Schüttvolumen von 2,3 Mio m³. Aus ihrem in Bild 12 wiedergegebenen Querschnitt ist auch der Auslass ersichtlich, ein weiteres Charakteristikum der singhalesischen Talsperren. Dessen Herzstück war der in die wasserseitige Dammböschung

eingebaute Schacht von etwa 3×4 m im Licht, welcher mit einer oder zwei Leitungen von etwa 1 m² Gesamtquerschnitt mit dem wasserseitigen Dammfuss, d. h. der Staubeckensohle verbunden war. An ihrem schachtseitigen Ende konnte(n) diese Zuleitung(en) zum Teil mit wahrscheinlich hölzernen Schiebern abgeschlossen werden. Immer vorhanden waren solche Schieber vor den vom Schacht meist doppelsträngig zum luftseitigen Dammfuss führenden Leitungen von je etwa 0,5 m² lichtem Querschnitt (Bild 13). Neben solchen Auslässen verfügten die meisten Stauanlagen über einen oder mehrere Hochwasserüberläufe über felsige Geländevertiefungen oder über dicke Mauern mit geneigter Wasserseite und lotrechter luftseitiger Absturzwand.

Nachdem im 13. Jh. n. Chr. die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Infrastrukturen untergingen, welche für den Unterhalt der verschiedenen weiträumigen Speichersysteme auf Sri Lan-

Literatur

- [1] *Schnitter, N.*: Römische Talsperren. Antike Welt 1978, Nr. 2, p. 25–32 (franz.: *Dossiers de l'archéologie* 1979, No. 38, p. 20–25; engl.: *Water Supply and Management* 1979, p. 29–39)
- [2] *Schnitter, N.*: The Evolution of the Arch Dam. *Int. Water Power and Dam Constr.* 1976, Oct. p. 34–40 and Nov. p. 19–21; und: The Evolution of Buttress Dams. *Int. Water Power and Dam Constr.* 1984, June p. 38–42 and July p. 20–22 (deutsch: in *Vorb. bef. Buch des DVWK über geschichtliche Talsperren*)
- [3] *Zonn, I.S.*: A History of Ancient Irrigation in the Soviet Union. *Bull. Int. Com. Irrig. and Drainage* 1981, No. 2, p. 33–37 and 48
- [4] *Helms, S.W.*: Jawa, Lost City of the Black Desert. Cornell Univ. Press, Ithaca/NY 1981.
- [5] *Garbrecht, G. und Bertram, H.*: Der Sattel-Kafara. *Mitt. Leichtweiss-Inst. der TU Braunschweig* 1983, Nr. 81 (Zusammenfassung: *Wasser und Boden* 1984, p. 466 und 468–472; engl.: *Int. Water Power and Dam Constr.* 1985, July p. 71–76)
- [6] *Balcer, J.M.*: The Mycenaean Dam at Tiryns. *Amer. Journal of Archaeology* 1974, p. 141–149
- [7] *Archäologische Berichte aus dem Yemen*, Bände I und II. Ph. von Zabern, Mainz a/R 1982 und 1983
- [8] *Woodbury, R.B. and Neeley, J.A.*: Water Control Systems of the Tehuacan Valley (in: *The Prehistory of the Tehuacan Valley*, vol. 4, Univ. of Texas Press, Austin 1972)
- [9] *Garbrecht, G.*: Die Wasserversorgung von Tuspa, Urartu. *Mitt. Leichtweiss-Inst. der TU Braunschweig* 1979, Nr. 64 (engl.: *World Archaeology* 1980, Nr. 3, p. 306–312)
- [10] *Jacobsen, T. and Lloyd, S.*: Sennacherib's Aqueduct at Jerwan. Univ. of Chicago Press, Chicago 1935
- [11] *Brohier, R.L.*: Ancient Irrigation Works in Ceylon. Ceylon Govt. Press, Colombo 1934/35 (reprint: Min. of Mahaweli Devt., Colombo 1980)

ka Voraussetzung waren, brachen die meisten Dämme und ihre Staubecken verfielen an den Urwald zurück. Viele der gewöhnlich nur kurzen Bruchstellen wurden ab Mitte des 19. Jh. n.Chr. geschlossen und die Speicher wieder in Betrieb genommen.

Schlussfolgerungen

Das ungefähre Dutzend an eben behandelten vorrömischen Talsperren umfasst natürlich nicht alle, von denen man Kenntnis hat. Einige wurden ihres geringeren Interesses wegen übergangen, viele aber zufolge ihrer erst dürftigen Erforschung bzw. mangels leicht zugänglicher Veröffentlichung allfälliger Forschungsergebnisse. Aber auch

so ergibt sich ein recht vielfältiges Bild der Anwendung in verschiedenen Weltgegenden und zu verschiedenen Zeiten von einer oder gleich mehreren Talsperren, sei es zur Speicherung des Lebenselementes Wasser oder nur zu seiner Anhebung und Ableitung, sei's um sich vor seiner Gewalt zu schützen. Als Bautyp herrschte, wie eingangs erwähnt, der Schüttdamm vor, des öfters in Kombination mit Mauern.

Interessant ist auch, dass nur eines der behandelten Bauwerke aus technischen Gründen versagte (Damm Kafara). Alle anderen, mit Ausnahme des noch funktionierenden Umleitdammes von Kofini gingen zu Grunde, weil sich ihr gesellschaftliches und wirtschaftliches Umfeld mehr oder weniger rasch verändert hatte. Bei den Sperren Marib,

Purron und Keşiş Gölü sowie auf Sri Lanka dauerte dies immerhin je über der Anwendung in verschiedenen Welt-1000 Jahre, so dass auch die natürlichen Erzfeinde von Talsperren, die Verlandung und seltene Hochwasser, ihren Zoll fordern konnten. Die heute in diesem Zusammenhang so gefürchteten Erdbeben spielten dabei keine Rolle. Im Grunde genommen sind aber auch dies menschliche Probleme, da sie durch sorgfältige Beobachtung, laufenden Unterhalt und rechtzeitige Massnahmen bei ausserordentlichem Verhalten beherrschbar sind.

Adresse des Verfassers: N. Schnitter, dipl. Ing. ETH/SIA, Direktor, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.

Tragverhalten von Hallen mit V-Faltendächern

Von Riko Rosman, Zagreb

Erfolgreiches konstruktives Entwerfen setzt Kennen und Verstehen des Tragverhaltens voraus. Im Folgenden wird das Tragverhalten von Hallen mit prismatischen V-Faltendächern besprochen.

V-Faltendach auf vertikalen Stützen

Es sei das Tragwerk aus V-Falten gemäss Bild 1a untersucht. Die Anzahl der Falten ist üblicherweise gross; zur Vereinfachung der Zeichnung ist sie mit lediglich 5 Falten gewählt. Die Falten sind auf Stützen in den Längsfassaden gelagert. Die Stützenköpfe sind in jeder der beiden Längsfassaden durch einen Riegel verbunden. Anstatt Riegel können natürlich Giebelscheiben Anwendung finden. Zur seitlichen Aussteifung der Halle ist in jeder der vier Fassaden ein Verband angeordnet. Sämtliche Knoten stellt man sich als gelenkig vor. Die Bedeutung einiger Bezeichnungen ist aus Bild 2a ersichtlich.

Eine beliebige Falte kann man, indem man sie auf eine zu B parallele vertikale Ebene projiziert, sich als Balken rechteckigen Querschnitts derselben Höhe und Querschnittsfläche vorstellen (Bild 2b, oben). Dieselbe Falte kann man sich ausserdem, indem man sie auf eine horizontale Ebene projiziert, als Balken

rechteckigen Querschnitts derselben Breite und Querschnittsfläche vorstellen (Bild 2b, unten).

Einfluss der Vertikallast (Ständige + Schneelast)

Das Tragverhalten des Dachtragwerks setzt sich aus einer Plattenwirkung in der Hallenlängsrichtung und einer Membran-, auch Scheiben- oder Balkenwirkung genannt, in der Querrichtung zusammen.

Plattenwirkung: In der Längsrichtung der Halle verhält sich das Dachtragwerk als längs der Kehlen und der inneren Firste gelagerte durchlaufende einachsige gespannte Platte. Von der Randstörung an ihren Querenden abgesehen, bemisst man die Platte etwa mittels der Biegemomente $q(l/2)^2/16$ (kNm/m), wobei q (kN/m²) die gesamte Vertikallast je Grundrissflächeneinheit und $l/2$ (m) eine halbe Faltenbreite bezeichnen.

Membranwirkung: Man vernachlässigt die längs der Firste wirkenden Schubkräfte, durch die sich die Falten gegen-

seitig beeinflussen. Für eine Voruntersuchung ist dies allenfalls gerechtfertigt. Das Dach wirkt hiermit als Serie in der Hallenquerrichtung verlaufender einfacher Balken, die die Last zu den Stützen abtragen (Bild 1b). Mit Q' ist die auf eine Falte und hiermit einen Balken anfallende, mit Q die gesamte Dachlast bezeichnet (Bild 2a). Der Grösstwert des Biegemoments eines Balkens entsteht inmitten der Spannweite und beträgt $Q'B/8$. Die Überprüfung der gewählten Abmessungen kann mittels der im Stahlbetonbau üblichen Bemessungsverfahren für Rechteckquerschnitte erfolgen.

Im Falle sehr grosser Spannweiten und/oder verhältnismässig kleiner Faltenhöhen kann man durch Anwendung parabolischer Spannglieder, bei einem Parabelstich f und einer Spannkraft $1,15 \cdot G'B/(8f)$ je Falte, die ständige Last, G' je Falte, durch Umlenkkräfte ausgleichen. Die Faltenquerschnitte sind dann, wenn keine Nutzlast vorhanden ist, lediglich auf mittigen Druck beansprucht.

Die Auflagerkräfte, $Q'/2$, der Balken werden von den Stützen aufgenommen und in die Grundkörper geleitet.

Einfluss einer Horizontallast in der Hallenquerrichtung

Man stellt sich vor, dass die Last durch gleichmässig auf das Volumen der gefalteten Dachplatte verteilte Massenkkräfte zustande kommt. Solche Kräfte ergeben sich etwa bei Erdbeben bei einer Bodenerregung in der Hallenquerrichtung. In Bild 1c ist die Last