

Talsperren und Talsperrenkatastrophen

Von Min.-Rat Dr. techn. Otto Lanser, Wien.

Vortrag, gehalten am 9. März 1960.

Die Natur tut uns nur selten den Gefallen, daß sie uns ihre Gaben gerade dann, gerade dort und gerade in jenem Ausmaß zur Verfügung stellt, wie wir sie benötigen. Dies ist am ehesten noch bei der Atemluft der Fall, die uns fast überall unbeschränkt umgibt, aber keineswegs mehr beim zweitwichtigsten Lebenselement, dem Wasser. Die Ungleichmäßigkeit seiner geographischen Verteilung auf der Erdoberfläche, auf der Wüsten und Trockengebiete mit Sümpfen und mit ewig feuchten Regenwäldern abwechseln, braucht nicht besonders betont zu werden. Ebenso bekannt ist aber auch die zeitliche Ungleichförmigkeit der Niederschläge sowohl wie der Wasserstände in den Oberflächengewässern. Auch an einer und derselben Stelle eines Flusses folgen Niederwasserzeiten auf solche der Fülle; Hochwässer bringen von Zeit zu Zeit ebenso verheerende Folgen für die menschliche Wirtschaft, wie Zeiten der Dürre und Trockenheit. Die Versuche, solchen Überfluß abzuwehren, den

Mangel auszugleichen, zählen daher zu den ältesten technischen Betätigungen des Menschen überhaupt.

Die ungleichmäßige Verteilung des Wassers im Raume vermag er durch den Bau von Leitungen und Kanälen bis zu einem gewissen Grade auszugleichen, die das Wasser von Quellen, Flüssen, Seen oder Grundwasserbrunnen zu den Stätten des Verbrauches leiten; Überschwemmungen und Hochwässer bekämpft der Mensch durch Schutzdämme und -deiche, durch Flußregelungen und Uferschutzbauten. Der Wassermangel in Trockenzeiten läßt sich aber so wie jeder andere Mangel an Verbrauchsgütern nur durch rechtzeitiges Speichern zu Zeiten einer Dargebotsfülle ausgleichen.

Einige Zahlen mögen den Ungleichförmigkeitsgrad dartun, den unsere, in dieser Hinsicht eher harmlosen Gewässer aufweisen; er wird übrigens umso größer, je mehr man sich von der Mündung der Quelle nähert. Es bezeichne MNQ das aus einer längeren Jahresreihe gewonnene Mittel der Niederwasserführung, ebenso MHQ das Mittel der Hochwässer, dann ergibt sich z. B.:

Gewässer	MNQ m ³ /s	MHQ m ³ /s	Verhältnis MNQ : MHQ
Donau/Wien	730	6000	1 : 8,2
Inn/Schärding	180	3600	1 : 20
Salzach/Salzburg	49	970	1 : 20
Venter Ache	0,39	72	1 : 185

Nimmt man an Stelle der mehrjährigen Mittelwerte absolute Extremwerte, dann kommt man allerdings auch schon an diesen Gewässern zu erheblich größeren Unterschieden; für die Donau bei Wien betragen diese Zahlen etwa $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (i. J. 1895) zu rd. 10.000 m^3 (1954), also 1 : 25, was etwa das Dreifache gegenüber der Schwankung der Mittelwerte darstellt.

Zwar gilt das Gesetz, daß die Unregelmäßigkeiten des Abflusses sich desto mehr glätten, je größer ein Strom ist, ganz allgemein, weil eben in ausgedehnten Einzugsgebieten die Zufälligkeiten des Witterungs- und Niederschlagsverlaufes in einzelnen seiner Teile sich gegenseitig ausgleichen. Dennoch gibt es besonders in den ariden Zonen der Erde bedeutende Flüsse, deren Abfluß ganz außerordentlichen Schwankungen unterliegt. So führt der Hauptfluß Anatoliens, der Kyzyl Irmak, an der Stelle des großen Hirfanli-Staudammes bei einem Einzugsgebiet von 26.300 km^2 nur etwa $12 \text{ m}^3/\text{s}$ bei Niederwasser, dagegen mehrere tausend bei Hochwasser; geradezu phantastisch aber sind die Abflußschwankungen in dem ebenfalls durch ein großes Kraftwerk genutzten Rio Negro in Uruguay, dessen Niederwasser bis auf etwa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ absinken kann, während als Hochwasserspitze schon mehr als $11.000 \text{ m}^3/\text{s}$ aufgezeichnet worden sind.

Abschließend sei zu diesen hydrologischen Angaben nur noch vermerkt, daß natürlich nicht bloß die jahreszeitlichen Schwankungen und die Unterschiede zwischen Nieder- und Hochwasser, sondern

auch diejenigen in der Gesamtwasserfracht verschiedener Jahre sehr erheblich sind, wobei freilich auch wieder außereuropäische Flüsse die unseren oft weit aus übertreffen. Während etwa am Rhein bei Basel die in einem niederschlagsreichen Jahr insgesamt abgeflossene Wassermenge nur etwa doppelt so groß ist wie die eines trockenen Jahres, beläuft sich dieses Verhältnis am Nil bei Assuan auf etwa 1 : 2,8 (42 zu 119 Milliarden m³); am vorerwähnten Rio Negro erreicht es gar 1 : 27! (1,8 zu 47,8 Milliarden m³.)

Es liegt auf der Hand, daß gerade in Trockengebieten, in denen der Ernteertrag in so hohem Maße von der künstlichen Bewässerung abhängt, solche Schwankungen äußerst schädlich sind und daß der Mensch daher schon seit vielen Jahrhunderten versucht, ihnen entgegenzuwirken. Die älteste, halb sagenhafte Anlage zur Wasserspeicherung dürfte jene sein, die König Amenemhet von Ägypten III. (1849—1801 v. Chr.) zur Zeit des Mittleren Reiches errichtete. Er ließ die Schleuse anlegen, durch die der Wasserzufluß und die Wasserabgabe aus dem künstlich vergrößerten Mörissee in Ägypten geregelt werden konnte. Bei uns in Europa ist es dagegen vor allem die erst in den letzten Jahrzehnten so sehr in ihrer Bedeutung gestiegene Wasserkraftwirtschaft, die nach Abflußspeicherung verlangt, um so mehr, als die Kurve des Bedarfes geradezu gegensinnig zu der des natürlichen Wasserdargebotes verläuft; während dieses — wenigstens in den Alpen-

gewässern — im Winter seine niedersten Werte erreicht, steigen die Bedarfsspitzen zu dieser Jahreszeit am höchsten.

Die vorstehenden hydrologischen Andeutungen lassen wohl schon erkennen, daß ein mehr oder minder vollkommener Ausgleich der natürlichen Abflussschwankungen meist sehr erhebliche Speicherräume benötigt, und zwar umso größere, je stärker die Amplitude dieser Schwankungen und je größer die Abflußfülle an sich ist. Jede Speicherwirtschaft ist daher zunächst an gewisse topographische Voraussetzungen geknüpft; es müssen im Gelände natürliche Hohlformen zur Verfügung stehen, die jene Wassermengen aufzunehmen vermögen, die für den Ausgleich notwendig sind.

Solche Hohlformen bietet die Natur zunächst in den Seen und man hat in der Tat schon seit eh und je versucht, diese in den Dienst der Wasserwirtschaft zu stellen, indem man ihren Abfluß durch den Einbau von Wehren und Stauwerken zu regeln suchte. Der früher erwähnte Mörissee ist ein solches Beispiel aus dem Altertum, ein örtlich und zeitlich näher liegendes bieten die sogenannten „Seeklausen“ im Salzkammergut. Bei der beträchtlichen Oberfläche vieler seiner Seen (Attersee 46 km², Traunsee 24 km²) genügen schon ein paar Dezimeter Spiegelschwankung beim Abfluß, um erhebliche Wassermengen zurückzuhalten oder abzugeben.

Eine weit wirkungsvollere Speicherung kann na-

türlich dann erzielt werden, wenn man, was freilich nur an hoch gelegenen Seen möglich ist, das Seebecken durch einen Stollen unter seinem natürlichen Spiegel anzapft und man damit den ganzen Höhengspielraum zwischen der ursprünglichen Spiegellage und dem Stolleneinlauf als Speicherraum gewinnt. Das wohl bedeutendste Beispiel eines solchen angezapften Natursees bildet der Achensee, der durch einen 4,5 km langen Stollen vom Inntal aus 11 m unter seinem natürlichen Spiegel angebohrt wurde; bei seiner Oberfläche von rund 7,5 km² wurde damit ein Speicherraum von fast 80 Mio m³ erschlossen, die über eine Rohfallhöhe von rund 400 m abgearbeitet werden können.

Wo Rücksichten auf die Besiedlung und die landwirtschaftliche Nutzung der Ufer dies nicht verbieten, dort liegt es nahe, noch einen Schritt weiterzugehen und einen natürlichen See nicht nur abzusenken, sondern auch über seine ursprüngliche Lage hinauf aufzustauen, um mehr Höhengspiel und damit mehr Speicherraum zu gewinnen. Hierzu bedarf es nun freilich eines Absperrbauwerkes an der Stelle, wo die tiefste Stelle der Seewanne sich befindet und daher der natürliche Abfluß liegt. Eine ganze Reihe alpiner Speicherkraftwerke bedient sich dieses Speichertyps, zu dem etwa der Spullersee, der Lünensee, die Seen der Reißeckgruppe u. dgl. gehören.

Schließlich lassen sich aber Absperrbauwerke, im eigentlichsten Sinne des Wortes Talsperren, unter Umständen auch dort errichten, wo kein See besteht

oder wenigstens in der geologischen Gegenwart keiner mehr besteht, woferne nur ein geeignetes trogartiges Tal sich zu einer solchen künstlichen Seewanne eignet und woferne es sich an einer geeigneten Engstelle absperren läßt. „Die alpinen Stauräume halten sich meist an Hohlformen, die schon von Natur aus als Seebecken fungiert haben. Seen und Seebecken nun sind in den Alpen wie in allen anderen ehemals vergletschert gewesenen Gebirgen in der Mehrzahl der Fälle irgendwie glazialer Natur. Der entscheidende Formbestandteil, auf den es dabei ankommt, die Seeschwelle, ist glazial, durch die Tätigkeit der Gletscher entstanden: entweder durch Ausschürfung des Felsgrundes, dann sind es Felsschwellen; andererseits durch glaziale Schuttablagerung, Moränenwälle und -Haufwerke, zu denen der vorgehende oder durch längere Zeit stationär gebliebene Gletscher an seiner Stirn den Schutt angehäuft hat. Sehr häufig verbinden sich Fels und Schutt zu einer Schwelle, die im Kern oder Grund aus Fels, oberflächlich aus Schutt besteht“ (1).

Naturgemäß bevorzugt die Technik des Talsperrenbaues solche Taltröge, die durch eine Felsschwelle von der anschließenden Steilstufe getrennt sind, da sich auf einer solchen meist wesentlich günstigere geologische und statische Voraussetzungen für das Aufsetzen eines künstlichen Stauwerkes bieten. Moränenwälle und glaziale Haufwerke bieten dagegen meist erhebliche Schwierigkeiten, da entweder die Tragfähigkeit nicht

hinreicht oder die Dichtung des Untergrundes unter einem auf sie aufgesetzten Damm großen Schwierigkeiten begegnet.

Weite Gebiete der Erde, auch erhebliche Teile des heutigen Österreich — z. B. das Mühl- und Waldviertel — waren aber nie vergletschert und verdanken daher ihren heutigen Formenschatz nicht dem Eise; hier bieten die Flußtäler oft eine Möglichkeit zur Anlage künstlicher Seen, wenn sich in ihnen eine zum Bau einer Talsperre geeignete Engstelle findet. In unserem Lande bilden die Kampstauseen ein gutes Beispiel für diesen Typus. Er unterscheidet sich übrigens schon durch seinen fjordartigen, vielfach gewundenen und reich verästelten Grundriß von den mehr sackartigen Formen der durch die Gletschertätigkeit gebildeten Speichertröge in den Hochalpen.

In außereuropäischen Tafelländern, aber auch z. B. in Spanien, gibt es noch einen dritten Typus von Speicherseen, nämlich den großer, aber verhältnismäßig flacher Wannen; durch Stauwerke von oft gar nicht sehr bedeutender Höhe lassen sich hier Areale einstauen, die das Ausmaß der größten mitteleuropäischen Seen erreichen. Noch einmal sei hiezu der schon öfter genannte Rio Negro in Uruguay als Beispiel angeführt, bei dem es möglich war, durch eine Talsperre mit bloß 27 m Stauhöhe einen See von 1140 km² Oberfläche, also der doppelten Ausdehnung des Bodensees, zu bilden. Sein kubischer Inhalt beträgt feierlich bloß rund 9 Milliarden m³ gegenüber rund

40 Milliarden des Bodensees; von diesem Stauraum können etwa 6,6 Mi. am³ für die Energiegewinnung und Speicherung ausgenützt werden.

Es wäre verlockend, eine solche formenkundliche Betrachtung der zur Anlage von Speichern geeigneten Hohlformen des Geländes und ihrer erdgeschichtlichen Entstehung weiter auszuspinnen, doch überstiege dies den Rahmen dieser Ausführungen. Hingegen ist es nun wohl an der Zeit, die Bauformen der Absperrwerke selbst, eben der Talsperren, kurz darzustellen und aufzugliedern.

Im Gegensatze zum englischen Wort „dam“, das etymologisch zwar unserem Worte „Damm“ entspricht, jedoch alle Arten von Talsperren bezeichnet, müssen wir die genauere Unterscheidungsfähigkeit der deutschen Sprache beachten und die „Mauern“ von den eigentlichen „Dämmen“ auseinanderhalten. Die letzteren sind, so wie eben auch Eisenbahn- oder Straßendämme, aus Lockermassen, Schotter, Steinen, Felsbrocken u. dgl., geschüttete Körper mit einem trapezförmigen Querschnitt und flachen Böschungen. Da solche geschüttete Körper mehr oder weniger wasserdurchlässig sind, bedürfen die Dämme einer eigenen Dichtung, die heute meist in der Form eines aus fast undurchlässigen Bodenarten (Lehm etc.) gestampften Kernes, seltener als Beton-Diaphragma ausgeführt wird. Auch bituminöse Dichtungen an der Wasserseite werden manchmal verwendet.

Im Gegensatz zu den Dämmen hat man es bei

den Mauern mit kompakten Körpern eben aus Mauerwerk oder heute fast immer Beton mit dementsprechend steilen Flanken zu tun. Unter ihnen wieder herrschen zwei in ihrer statischen Wirkung grundsätzlich verschiedene Bauformen vor: die sogenannten Gewichtsmauern, die, wie der Name sagt, dem Wasserdruck durch ihr Gewicht Widerstand leisten; präziser ausgedrückt handelt es sich bei diesen um Mauerwerkskörper, deren „Standmoment“ größer ist als das vom Wasserdruck ausgeübte „Kippmoment“, das die Mauer umzustürzen trachtet. Ihr Querschnitt ist daher der eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Basis auf dem Felsfundament aufruhet, dessen senkrechte Kante die Wasserseite der Mauer bildet, während die schräge Luftseite mit etwa 55° Steilheit gegenüber der Waagrechten ansteigt. Der Grundriß solcher Gewichtsmauern ist im allgemeinen eine Gerade, doch können auch andere, sogar ausbiegende Grundrißformen vorkommen.

Das statische Prinzip, das sich die andere Hauptform der Mauern zunutze macht, ist das eines liegenden Gewölbes. Ähnlich wie eine Bogenbrücke die senkrechten Lasten des Eigengewichts und des Verkehrs aufnimmt und auf die Widerlager überträgt, stemmt sich hier ein liegender Bogen dem Wasserdruck entgegen und leitet ihn auf die Felsflanken ab, die als Gewölbewiderlager dienen. Nach der geometrischen Gestaltung unterscheidet man wieder Zylindermauern, d. s. solche, bei denen das Gewölbe

nur einfach gekrümmt ist, also vertikale Gerade als Erzeugende besitzt, und Kuppelmauern, bei denen es sich um räumlich gekrümmte Gewölbeschalen handelt. Der Krümmungsradius der einzelnen Gewölbelamellen, die man sich aus einer solchen Schale in verschiedenen Höhen herausgeschnitten denken kann, wechselt dementsprechend, während der Öffnungswinkel, d. i. der Winkel, den die vom Krümmungsmittelpunkt zu den Widerlagern gezogenen Schenkel miteinander einschließen, über die ganze Höhe der Mauer annähernd gleich bleibt.

Die Gründe, die jeweils zur Anwendung der einen oder der anderen dieser Bauformen führen, liegen in der geometrischen Gestalt und den geologischen Gegebenheiten der Abschlußstelle. Mauern sind fast starre Körper hoher Festigkeit, denen daher — besonders bei Bogensperren — auch große Kräfte zugemutet werden. Die Aufnahme dieser Kräfte erfordert aber unnachgiebige Fundamente und Widerlager von gleichfalls hoher Festigkeit, also gesunden Fels. Dämme hingegen sind gegen Setzungen des Untergrundes wenig empfindlich und können daher auch auf Lockermassen, wie etwa jene Moränen, Block- und Haufwerke aufgesetzt werden, von denen früher bei der Besprechung der alpinen Speicherformen die Rede war. Freilich erfordert dafür gerade bei Dämmen oft die Dichtung dieser mehr oder weniger durchlässigen Untergrund-Bodenarten große Aufwendungen und bringt Schwierigkeiten mit sich, die erst durch

die jüngste Entwicklung dieses Zweiges der Technik in den meisten Fällen beherrscht werden können. Auch kompakter Fels ist jedoch nicht völlig wasserundurchlässig und deshalb sind auch bei Mauern Dichtungsmaßnahmen fast immer erforderlich, die die Kluftsysteme im Felsen mit Zementinjektionen verstopfen.

Im übrigen wirkt das Eigengewicht natürlich auch bei Gewölbemauern bis zu einem gewissen Grade immer mit. Die vertikalen Mauerstreifen, die man sich aus dem Sperrenkörper herausgeschnitten denken kann, leisten als biegungssteif mit dem Untergrund verbundene Kragträger oder Konsolen durch ihr Standmoment dem Wasserdruck einen gewissen Widerstand, der begreiflicherweise umso größer ist, je dicker die Mauer und damit diese Konsolen sind. Die österreichischen Gewölbemauern ziehen diese Eigengewichtswirkung bewußt zu einem erheblichen Anteil mit heran; er steigt bei entsprechender, den Gewichtsmauern sich nähernder Formgebung so stark an, daß man dann von „Gewölbe-Gewichtsmauern“ sprechen muß. Im Auslande, vorab in Frankreich, sind allerdings Bogensperren von solcher Schlankheit des Querschnitts errichtet worden, daß die Eigengewichtswirkung nahezu keine Rolle mehr spielt und der gesamte Widerstand allein auf der Gewölbewirkung beruht. Mag die Aufnahme der Lasten durch solche Bauwerke der Theorie nach auch ebenso sicher erfolgen können wie bei anderen Bauformen, so ist es

doch augenfällig, daß sie an die Festigkeit und Unverschieblichkeit der Widerlager besonders hohe Anforderungen stellen, daß aber auch die Sicherheitsreserven, die bei den Kombinationen von Gewölbe- und Gewichtsmauern tatsächlich höher sind, als es die Rechnung ausweist, bei ihnen früher erschöpft sind.

Die vorstehenden Andeutungen über die Aufgaben und Möglichkeiten des Talsperrenbaues zeigen vielleicht schon, daß es sich bei diesen um Bauwerke schwierigster Art von oft gewaltigen Abmessungen handelt, die den planenden und ausführenden Ingenieur mit einer überaus großen Verantwortung belasten. Den Anlaß zu den gegenständlichen Ausführungen und den Grund, weshalb das behandelte Thema vielleicht auf die Teilnahme auch weiterer Kreise rechnen darf, bildet ja das furchtbare Unglück des Bruches der Talsperre von Fréjus-Malpasset in Südfrankreich. Es bildet eine unabweisbare Pflicht für alle, die sich mit diesem verantwortungsvollen Fachgebiet beschäftigen, die Ursachen aufzuklären und zu untersuchen, die hin und wieder zum Einsturz und zur Zerstörung solcher Bauwerke geführt haben, da daraus wichtige Erkenntnisse für ihren Bau, die Erhaltung und den Betrieb gezogen werden können.

Schon unter den zahlreichen Sperrenbauwerken, die besonders in den ariden und halbariden Gebieten Spaniens und des Vorderen Orients zum Teil vor Jahrhunderten errichtet worden sind, haben sich ab

und zu Zerstörungen ereignet, zumal es sich um statisch meist unausgereifte Bauformen handelte, bei denen die Einsicht in das Kräftespiel und in die statischen Anforderungen noch fehlten. Wir werden uns daher mit solchen, zeitlich weit zurückliegenden Ereignissen im allgemeinen nicht zu beschäftigen brauchen, da sich nützliche Lehren und Erkenntnisse für die technische Gegenwart daraus kaum gewinnen lassen.

Nur des Interesses halber sei daher etwa der Bruch der 1785 bis 1791 unweit der Stadt Lorca in Spanien erbauten alten Puentes-Sperre erwähnt. Es handelte sich um eine rund 50 m über Geländesohle reichende Gewichtsmauer mit einem annähernd trapezförmigen Querschnitt von 46 m Dicke an der Sohle. Seine Abmessungen hätten an sich wohl genügt, wenn nicht der mittlere und höchste Teil der Sperre, der auf eine mit Schottern erfüllte Erosionsrinne von etwa 20 m Breite zu stehen kam, anstatt auf dem dort unerreichbaren Fels — unerreichbar wenigstens mit den damaligen Mitteln der Wasserhaltung — auf einem Pfahlrost gegründet worden wäre. Der Sperrenkörper scheint im Innern großteils aus Ziegelmauerwerk bestanden zu haben, das bloß an den Außenflächen mit bearbeiteten Werksteinen verblendet war.

„Dieses Fundament hielt sich in den ersten Jahren, während welcher Zeit die Niederschläge nicht hinreichten, das Becken zu füllen. Als sich aber am 30. April 1802 der Wasserspiegel bis zu 47 m erhob,

wurden die Kiesmassen des ehemaligen Flußbettes samt Pfahlrost und Sturzbett wie ein Pfropfen herausgedrückt und durch die Gewalt der Wassermassen eine torartige Bresche aus dem unteren Teil der Mauer herausgerissen. Die 52 Mio m³ des Beckeninhalts liefen binnen einer Stunde ab“ (2).

Die Bewohner der Stadt Lorca konnten nicht mehr gewarnt werden, da der Bote von der Flutwelle eingeholt worden ist und in die Berge flüchtete; so kamen nach zeitgenössischen Berichten 680 Menschen ums Leben und wurden über 800 Häuser zerstört.

Von diesen älteren Katastrophen muß aber eine ausführlicher erwähnt werden, teils weil sie die weit-aus höchste Anzahl an Opfern — nämlich etwa 4000 Menschenleben — unter allen bekannten Ereignissen dieser Art gefordert hat, teils weil sich aus ihr doch schon mancherlei auch für die Gegenwart gültige Schlußfolgerungen ziehen lassen: Es ist dies der Bruch des Johnstown-Dammes im Tale des South-Fork-Rivers, eines Zubringers des Conemaugh-Flusses in Pennsylvanien, der sich am 31. Mai 1889 ereignet hat. Der Damm selbst war aber schon 1840 bis 1852 vom Staate Pennsylvanien errichtet worden und diente ursprünglich der Speisung des im Conemaughtales bis zur Stadt Johnstown führenden, staatlichen Schiff-fahrtskanales. Die reichen Kohlenvorkommen hatten hier schon früh eine bedeutende Eisen- und Stahl-industrie ins Leben gerufen, zu deren Verkehrsbe-dienung der erwähnte Kanal, aber auch schon in der

ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die Pennsylvania-Eisenbahn gebaut worden sind. 1858 wurde, wahrscheinlich wegen der besseren Leistungsfähigkeit der Eisenbahn, der Kanalbetrieb eingestellt und die Talsperre blieb daraufhin unglaublicherweise bis zum Jahre 1880 ohne Wartung und Erhaltung.

Der Damm selbst war seinerzeit sehr solid aus in Schichten eingebrachtem und gestampftem, sandig-tonigem Material errichtet worden. Er ist auch keineswegs etwa durch Rutschung der Dammböschungen oder deshalb zugrundegegangen, weil er dem Wasserdrukke nicht standgehalten hätte. Er besaß sogar eine so große Festigkeit, daß die beim Seeausbruche aus dem Dammkörper erodierte, schluchtartige Rinne beiderseits von fast senkrechten Wänden begrenzt war. Die einzige Ursache für den Bruch lag in der Überströmung der Krone durch den nach ausgedehnten Wolkenbrüchen angeschwollenen Zubringer, dessen Hochwasser durch die vernachlässigten Entlastungsanlagen nicht abgeführt werden konnte. Dennoch widerstand die luftseitige Böschung dem Wasserüberfall noch mehrere Stunden; dann erst grub er quer über die Krone vorerst eine schmale Rinne aus. Die sich damit fortwährend steigernde, konzentrierte Erosionskraft erweiterte in etwa einer halben Stunde diese Rinne zu einer gegen die Luftseite zu sich trichterartig öffnenden, gewaltigen Bresche und kolkte auch die Talsohle noch mehr als 6 m unter ihre ursprüngliche Oberfläche aus.

„Über den Verlauf und den Zeitpunkt des Bruches der Talsperre liegen genaue Nachrichten vor, da sich das Unglück am Tage (gegen 3 Uhr nachmittag) ereignete und der mit der Unterhaltung der Stauanlage betraute Ingenieur dort beschäftigt war, um den drohenden Bruch durch Notarbeiten abzuwenden. Auf diese Weise ist festgestellt, daß das ganze Stau-becken von etwa 20 Mio m³ Inhalt in 45 Minuten leer-gelaufen ist und die Spitze der Flutwelle die Strecke bis Johnstown (23,6 km) in 17 Minuten durchlaufen hat, woraus sich die gewaltige Geschwindigkeit von 22 m/s ergibt. Nach Berichten von Augenzeugen soll die Wassermasse auf dem vorher schon hoch ange-schwellenen Strome wie eine Wand von 10 bis 12 m Höhe mit donnerartigem Getöse das Tal durchbraust und alles fortgerissen haben, was ihr den Weg ver-sperrte. Große Strecken der Eisenbahn, alle in der Talsohle gelegenen Werke und Ortschaften sind von den Fluten weggefeßt worden . . .“ (3).

Von der Gewalt der Flutwelle gibt auch die Tat-sache eine Vorstellung, daß sämtliche 18 Lokomotiven, die in einem runden massiven Lokomotivschuppen etwas oberhalb der Stadt Johnstown untergebracht waren, nach völliger Zerstörung des Schuppens bis zu mehreren 100 m Entfernung weggetragen wurden. Lokomotivtender waren noch in fast 5 km Ent-fernung von ihrem Standort gefunden worden.

Über die Bauart des Dammes und seine Abmes-sungen ist noch nachzutragen, daß seine Gesamthöhe

über der Talsohle 22 m, seine Kronenlänge 284 m, und seine Kronenbreite 6,1 m betragen hat. Der Untergrund war an sich für die Errichtung eines Staudammes günstig, da er aus dichtem, nur von einer dünnen Alluvialschicht bedeckten Schieferfels bestand.

Ein weiteres Ereignis dieser Art mit schwerwiegenden Folgen war der Bruch der Talsperre von Bouzey in der Nähe von Épinal in Frankreich im Jahre 1895. Der durch diese Mauer gebildete Stausee von rd. 7 Mio m³ Inhalt hatte zur Speisung der Scheitelhaltung des Canals de l'Est gedient, der hier die flache Wasserscheide zwischen der Mosel und Saône und damit die europäische Hauptwasserscheide in bloß 361 m Seehöhe überschreitet. Die an der Krone 4,00 m breite und bis zur Fundamentsohle rd. 22,0 m hohe, aus Bruchsteinen errichtete Staumauer von 430 m Kronenlänge war 1879 bis 1882 errichtet worden, mußte aber schon 1888 und 1889 infolge schwerer Gebrechen weitgehend rekonstruiert werden. Am 27. April 1895 um 5 Uhr früh wurden die Bewohner der unterhalb des Stauweihers gelegenen Häuser durch ein Getöse aus dem Schlafe gerissen; ehe sie sich noch von der Ursache überzeugen konnten, wurden sie schon von der Flutwelle erfaßt, der über 100 Menschenleben und auf einer rd. 20 km langen Strecke Gebäude, Eisenbahnanlagen und sonstige Sachwerte im Betrage von rd. 15 Mio Goldfranken zum Opfer gefallen sind. Die Mauer war scheinbar plötzlich auf eine Länge von rd. 170 m geborsten.

Die Fundierung der Sperre war von Anfang an mangelhaft. Den Untergrund bildete unter einer etwa 3,5 m starken Alluvialschichte eine dünne Schieferzone, dann weicher, klüftiger Buntsandstein, der von Tonlagen durchsetzt ist; erst in etwa 9 m Tiefe stand fester, wenn auch klüftiger Buntsandstein an.

Die erwähnten, ziemlich umfangreichen Wiederherstellungen und Ausbesserungen hatten vor allem im Einbau eines tiefer in den Fels einbindenden Spornes am luftseitigen Mauerfuß bestanden; diese Arbeiten, die ein Abgleiten des Bauwerks auf der Fundamentsohle verhindern sollten, haben sich zwar gut bewährt, aber die Mauer war auch in ihrem aufgehenden Teile zu schwach bemessen. Als daher nach starken Niederschlägen der Seespiegel rasch auf die volle Höhe anstieg, ist sie etwas über Geländehöhe in einer waagrechten Bruchfläche gekippt oder abgeschert worden. Vermutlich erst während des Ausbruches haben dann die überströmenden Wassermassen noch einen mittleren, schmalen Mauerteil bis zum Fundament hinab durchgerissen und zerstört (4).

Das große kalifornische Erdbeben des Jahres 1906, dem in der Stadt San Francisco zwar glücklicherweise nicht viele Menschenleben, wohl aber Sachwerte von fast einer halben Milliarde Dollar zum Opfer fielen, rief dennoch an den damals schon bestandenen Talsperren keine größeren Schäden und Katastrophen hervor, obwohl einige von ihnen auf Verwerfungsspalten standen, deren Ränder um Beträge von mehr

als 1 m gegeneinander bewegt wurden. Es handelte sich bei diesen Sperren aber ausschließlich um Dämme, die sich also gegen solche Untergrundbewegungen als außerordentlich unempfindlich erwiesen.

In den Jahren von etwa 1890 bis zum ersten Weltkrieg haben sich aber in den Vereinigten Staaten eine ganze Anzahl von Sperrenbrüchen mit teils kleineren, teils aber auch beträchtlichen Schadenswirkungen ereignet. Eine nähere Betrachtung dieser Unglücksfälle bietet jedoch im allgemeinen kaum viel Aufschlußreiches, da die Ursachen immer wieder dieselben sind: Zerstörung von Erddämmen durch Überströmung infolge ungenügender Bemessung oder mangelhafter Erhaltung der Entlastungseinrichtungen; Grundbrüche wegen unzureichender Gründung auf schlechtem Boden bei gemauerten Sperren oder überhaupt grundsätzlich verfehlte Entwürfe und Konstruktionen.

Den Tod von mehreren hundert Menschen und die Zerstörung vieler Baulichkeiten und Anlagen verursachte der Bruch der Gleno-Sperre in Oberitalien am 1. Dezember 1923. Der Gleno ist ein Bach in den Bergamasker Alpen, der schließlich in den Oglio mündet, der den Iseosee durchströmt. Das Einzugsgebiet dieses Baches bis zu der auf 1550 m Seehöhe gelegenen Sperrenstelle ist nur klein und demgemäß war auch der Beckeninhalt mit 6 Mio m³ verhältnismäßig bescheiden. Trotzdem richteten natürlich die Wassermassen, als der Staukörper fast plötzlich nachgab und

der See in weniger als einer Viertelstunde ausrann, furchtbare Verheerungen an, zumal ihnen bis zu dem etwa 20 km entfernten Dorfe Darfo im Val Camonica eine Fallhöhe von 1300 m zur Verfügung stand, auf der sie ihre Vernichtungsarbeit leisten konnten.

Das Bauwerk war als Gewölbereihen-Mauer von 250 m Gesamtlänge gestaltet worden. Die unter 51° gegen die Horizontale geneigten Gewölbe aus bewehrtem Beton von je 6 m Spannweite stützten sich auf im Aufriß trapezförmige Pfeiler, deren Stärke von 2,00 auf 3,44 m nach unten zunahm. Dieser in aufgelöster Bauweise gestaltete Sperrenteil hatte eine maximale Höhe von 27 m; nur in einem mittleren, etwa 80 m langen Abschnitt, der eine Erosionsschlucht überbrückte, erreichte die Gesamthöhe der Sperre rd. 50 m; hier saßen die in ebenfalls 27 m Höhe durchgeführten Pfeiler auf einem, diese Rinne ausfüllenden massiven Mauerwerkskörper (tampone) auf.

Vom statischen Standpunkte aus wäre an und für sich gegen diese grundsätzliche Anordnung des Bauwerks nicht viel einzuwenden gewesen, umsomehr aber gegen die Art und Weise, wie die tatsächliche Ausführung erfolgt ist. Der die Schlucht absperrende Mauerkörper war nicht, wie dies selbstverständlich scheint, in Beton oder wenigstens mit Portlandzementmörtel hergestellt, sondern aus Mauerwerk in Kalkmörtel, dem man nicht einmal hydraulische Zuschlagstoffe, also etwa die in Italien sonst viel verwendete Puzzolanerde beigegeben hatte. Da mit dem

Anstau schon während des Baues begonnen worden war, hatte der Kalk noch nicht Zeit gehabt, abzubinden und war wohl durch das Wasser, das durch viele Undichtheiten durch die Sperre drang, größtenteils ausgewaschen worden. Es fehlte dadurch fast jegliche Verbindung der Mauer mit dem Felsuntergrund, der zudem ganz unbegreiflicherweise im natürlichen Zustand belassen worden war. Dieser Sperrenuntergrund besteht aus an sich für die Gründung einer Sperre sehr geeignetem, hartem und festem Serpentinfels. Die vom Gletschereis glattgeschliffene Oberfläche dieses Felsbuckels, die noch dazu teilweise talauswärts fällt, hatte aber keinerlei Abtreppe erfahren, die etwa eine Verzahnung mit dem Bauwerk ermöglicht hätte; sie war nicht einmal aufgeraut worden; noch nach der Zerstörung waren die prächtigen Gletscherschliffe zu beobachten, auf denen nur einzelne Mörtelfetzen klebten. „Der größte Teil der Felsoberfläche war so glatt und sauber, als wenn er überhaupt nie vom Mörtel berührt worden wäre . . . Der heutige Zustand der Felsoberfläche weist darauf hin, daß die Sperre überhaupt schon vor dem Unglück nicht auf dem Untergrund haftete (5).“

Die Zerstörung des Bauwerkes hat von den die Gewölbe tragenden Pfeilern ihren Ausgang genommen, wie aus der Aussage des Sperrenwärters hervorging, der auf einem Dienstgang durch herabfallende Steinbrocken erschreckt, noch rechtzeitig flüchten konnte. Die ziemlich schlanken Pfeiler sind auch ohne gegen-

seitige Aussteifungen ausgeführt, wie solche bei Gewölbereihenmauern sonst meist in einer Art von Schwibbogen üblich sind. Schließlich muß der Beton, aus dem der obere Sperrenteil oberhalb des Tampons ausgeführt war, überhaupt von sehr schlechter Qualität gewesen sein; die Bewehrungseisen wurden aus den abgescherten Gewölben glatt herausgerissen, sodaß man das fast völlige Fehlen einer Haftung der Eisen im Beton annehmen muß. Die Gewölbe waren vielfach undicht, wie zahlreiche Eiszapfen am stehengebliebenen Teil bewiesen und wie ein förmlicher Bach erkennen läßt, der schon vor der Zerstörung auf der rechten Seite talseits über die Felsen rann und offenbar durch das Sperrenfundament durchgeströmt ist.

Im Jahre 1928 war wieder Kalifornien Schauplatz eines Talsperrenbruches von furchtbaren Folgen. „Am 12. März ds. J., kurz vor Mitternacht, brach die St. Francis-Talsperre der Wasserversorgung der Stadt Los Angeles. Das volle Staubecken von 47 Mio m³ Inhalt entleerte sich innert weniger Stunden. Ungefähr 500 Menschenleben gingen verloren und der Materialschaden wurde auf 15—20 Mio Dollar geschätzt.“ (Vgl. (6); dieser Quelle ist das Folgende vielfach wörtlich entnommen.) „Die Talsperre war 1924/25 an einer Engstelle des an sich ziemlich unbedeutenden San Francisquito-Tales rd. 60 km nördlich von Los Angeles erbaut worden und diente der Speicherung des Trinkwassers, das über eine 400 km lange Leitung aus der Sierra Nevada der Stadt zugeleitet wird. Das eigene

Einzugsgebiet des Stausees ist klein; es war auch keine Kraftanlage mit der Mauer verbunden.

„Die Sperre bestand in der Hauptsache aus zwei Teilen: einer im Grundriß nach einem Radius von 500 Fuß (152,5 m) gebogenen Gewichtsmauer von rd. 230 m Länge und einer am rechten Ufer anschließenden, rd. 170 m langen Flügelmauer von mäßiger Höhe; die größte Höhe der Mauer im ersten Teil betrug 62,5 m, ihre Stärke an der Sohle 51,5 m.“

Die Talsperre war aus Gußbeton hergestellt; Sand und Kies stammten aus einer Grube, die in geringer Entfernung talabwärts der Baustelle eröffnet worden war. Dieses Material wurde in seiner natürlichen Zusammensetzung verwendet. Für den Beton wurde ausschließlich Portland-Zement verwendet im Verhältnis von etwa 220 kg auf den Kubikmeter Sand und Kies . . . Der ganze Mauerkörper ist monolithisch, d. h. es wurden keine vertikalen Dehnungsfugen vorgesehen. Ungefähr 1 Jahr nach Fertigstellung der Mauer zeigten sich, wie vorausgesehen, alle 10—20 m vertikale Schwindrisse, die sich in ungefähr senkrechten radialen Ebenen über nahezu die ganze Höhe der Mauer erstreckten. In einigen dieser Risse zeigten sich Wasserdurchsickerungen, doch wurde angenommen, daß die Risse den statischen Zustand der Mauer nicht wesentlich beeinflussen würden.“

„Die geologischen Verhältnisse an der Baustelle sind ziemlich kompliziert. An der linken (östlichen) Talseite und im Talboden besteht der Fels aus Schiefer.

Der westliche Berghang besteht aus einer vulkanischen Ablagerung, die im trockenen Zustande ziemlich hart ist, aber unter dem Einfluß von Wasser z. T. weicher wird. Die Kontaktzone zwischen dem Schiefer und der vulkanischen Ablagerung liegt etwa in halber Höhe des westlichen (rechten) Berghanges. Eine Verwerfung durchschneidet die Baustelle am Fuße dieses westlichen Berghanges.“

Zum Zeitpunkt der Katastrophe war das Stau-becken bis auf etwa 1 m unter der Mauerkrone gefüllt. Ungefähr ein Jahr früher war schon einmal nahezu dieselbe Füllung erreicht worden, ohne daß sich damals schädliche Wirkungen gezeigt hätten. Der Bruch der Sperre ereignete sich, wie erwähnt, knapp vor Mitternacht. „Beide Flügel der Mauer sind eingestürzt. Seltsamerweise blieb ein etwa 25 m langes Mauerstück ungefähr in der Mitte der Sperre in voller Höhe stehen.“ Vermutlich ist der westliche Flügel zuerst gebrochen und hat das dort ausströmende Wasser dann auch den östlichen unterwühlt, bis er ebenfalls nachgegeben hat. Die Bruchstücke der Mauer lagen über den Talboden verstreut, einzelne Stücke wurden kilometerweit fortgeschwemmt.

Sowohl die Stadt Los Angeles wie das Gericht haben gleich nach der Katastrophe Kommissionen aus Fachleuten eingesetzt, um die Ursachen des Einsturzes zu erkunden. Diese konnten feststellen, daß der statische Entwurf und die Qualität der Ausführung an sich keinen Anlaß zu Beanstandungen gaben.

„Die St. Francis-Staumauer war mangelhaft infolge der sehr minderwertigen Beschaffenheit des Felsfundamentes und infolge der Tatsache, daß der Entwurf der Mauer auf diese Fundamentverhältnisse nicht Rücksicht genommen hatte.“

Nach dem Bruch der Gleno-Talsperre war Europa durch fast zwei Jahrzehnte hindurch trotz der sich steigernden Sperrenbautätigkeit von ähnlichen Ereignissen verschont geblieben; die großen Talsperrenkatastrophen, die sich dann ereigneten, waren aber nicht die Folge baulicher Unzulänglichkeiten und technischer Mängel, sondern beabsichtigte Zerstörungen im Zuge kriegerrischer Handlungen.

Die bekannte Wasserkraftanlage Dnjeprstroj, ungefähr 150 km von der Mündung des Dnjepr in das Asow'sche Meer entfernt, war 1931 in Betrieb gekommen. Das gewaltige Stauwerk ist ein Mittelding zwischen Staumauer und Wehr: Auf der Krone einer im Grundriß schwach gekrümmten Gewichtsmauer von rd. 40 m Höhe und 800 m Länge sind insgesamt 47 Stoney-Schützen von 9,70 m Verschlußhöhe und je 13 m Lichtweite angeordnet. Es kann damit das HHQ von rd. 23.500 m³/s über die Sperre abgeleitet werden. Grundablässe besaß die Sperre ursprünglich nicht. Die Niederwasserführung des Stromes beträgt nur etwa 350 m³/s; das Schwankungsbereich des Abflusses ist also weitaus größer als das der Donau bei Wien.

Den verschiedenen Wasserführungen entsprechend schwankt auch das Nutzgefälle zwischen rd. 28 und

37 m; die hohe Ausbauleistung von 560.000 kW wird bei einem Turbinendurchfluß von 2.200 m³/s (also dem von Ybbs-Persenbeug entsprechend) und bei 36 m Fallhöhe erreicht. Sie steht nur während etwa 84 Tagen des Jahres zur Verfügung. Das 230 m lange Maschinenhaus mit 9 Maschinensätzen liegt am rechten Ufer, die Schleusentreppe am linken; sie enthält 3 Kammern mit je 12 bis 13 m Abstieghöhe.

Die angeführte Quelle führt im weiteren noch aus (7): „In der Mauer verlaufen zwei durchgehende Kontrollgänge, von denen der untere etwa 28 m unter der Überfallschwelle, der obere 12 m unter der Mauerkrone seinen Flur hat. Der obere Kontrollgang ist nach Art des Ausbaues und der Größe für die Durchfahrt von Lastkraftwagen ohne Schwierigkeiten geeignet. Die Mauer steht auf gewachsenem Fels, der auch die Sohle des Tosbeckens bildet und abgesehen von der sprungschanzenartigen Ausbildung des Mauerfußes keine weiteren Sicherungen erfordert.

Im Verlaufe des Rückzuges der Sowjetarmeen im September 1941 waren die sowjetischen Militärstellen gezwungen, das Bauwerk schnell zu zerstören, zumal es ja auch in dreifacher Hinsicht (Dienstbrücke, Straßenbrücke und Straßentunnel) eine Verkehrsverbindung der beiden Dnjepr-Ufer darstellte. Während das Bauwerk noch mit flüchtenden Soldaten besetzt war, wurden etwa 30 Lastwagen mit je etwa 3 t Dynamit in den Straßentunnel gefahren und dort zur Explosion gebracht.

Die Sprengung hob den oberen Teil der Mauer über der Sohle des Straßentunnels ab, worauf sich ein Katarakt von etwa 20 m Überfallhöhe und 200 m Breite ins Unterwasser ergoß. Der Abfluß von 30 bis 35.000 m³/s war damit um 50% größer als das HHQ. 200 t schwere Betonbruchstücke wurden später 200 m unterhalb des Stauwerkes aufgefunden . . . Das Oberwasser fiel schnell ab, bis schließlich nur noch der normale Zufluß von etwa 2.000 m³/s über die Bruchstelle abfloß, worauf auch das Unterwasser wieder den normalen Stand annahm. Das Einlaufbauwerk, das Maschinenhaus und die Schleusentreppe blieben vollkommen unbeschädigt. Die Maschinensätze waren allerdings demontiert oder unbrauchbar gemacht worden.“

Die Wiederherstellung des Bauwerkes, die von den deutschen Dienststellen sogleich ins Auge gefaßt worden war, begegnete großen, insbesondere kriegsbedingten Schwierigkeiten. Nach Prüfung einer Reihe von Vorschlägen entschloß man sich, 10 Grundablaßstollen von je 5 × 5 m Querschnitt bergmännisch auf einem möglichst tiefen Horizont durch den Sperrkörper zu treiben, um den Oberwasserspiegel zu senken und die Sprenglücke von der Überströmung freizumachen. Als dies im Juni 1942 gelungen war, konnte nach Absprengung weiterer beschädigter Mauerteile und Pfeiler die Wiederbetonierung begonnen und bis Ende des Jahres abgeschlossen werden, sodaß im Januar 1943 der erste Maschinensatz wieder in Betrieb

ging. Die Wiederherstellung hatte somit nur 10 Monate beansprucht.

Die Zeitspanne, in der das rekonstruierte Werk seinen Dienst erfüllen konnte, war aber noch kürzer; „schon 9 Monate später wurde die Mauer von den zurückgehenden deutschen Truppen erneut gesprengt. In Ermangelung anderer Sprengmittel sollen Fliegerbomben im unteren Tunnel zur Detonation gebracht worden sein. Es kam zu keinem Bruch, aber wahrscheinlich zu Rißbildungen im unteren Teil, die die Rekonstruktion sicher sehr erschwerten. Soweit bekannt ist, hat die Sowjetunion den zweiten Wiederaufbau erfolgreich beendet, mit welchen Mitteln, ist unbekannt.“

Im Zuge des für Deutschland sich immer ungünstiger gestaltenden Kriegsgeschehens war es inzwischen auch im deutschen Binnenland zu äußerst folgenschweren Talsperrenzerstörungen gekommen. In der Nacht vom 16. zum 17. Mai 1943 hat ein Sonderkommando der Royal Air Force die drei in der Luftlinie ziemlich nahe benachbarten Talsperren an der Möhne, Sorpe und Eder im Tiefangriff mit schweren Bomben besonderer Bauart belegt. Die beiden ersteren Sperren liegen im Einzugsgebiet der Ruhr, die letztere in dem der Weser oberhalb von Kassel. Bei der Möhne- und Edertalsperre handelte es sich um Gewichtssperren, die in den Jahren 1908—1913 bzw. 1911—1914 in Bruchsteinmauerwerk in Kalk-Traß-Mörtel erbaut worden waren, bei der Sorpetalsperre um einen 1922 bis

1933 errichteten, 60 m hohen Damm mit Beton-Dichtungskern. Der Edersee diente teils als Hochwasserrückhaltebecken, vornehmlich aber zur Verbesserung der Niederwasserführung der Fulda und Weser und zur Speisung der anschließenden Abschnitte des Mittellandkanales. Es waren aber auch Kraftwerke an der Sperre und in ihrem Unterwasser errichtet worden. Der Edersee war mit rd. 200 Mio m³ Wasserinhalt der größte Stausee Deutschlands.

Die verheerendste Wirkung hatte der Angriff auf die Möhnetalsperre, deren 134 Mio m³ fassender Speicherraum voll gefüllt war. Aus der im Grundriß gekrümmten Mauer von 650 m Kronenlänge und 40 m Gesamthöhe über Gründungsfuge — wobei die maximale Stauhöhe 32 m betrug — wurde durch eine in etwa 10 m Tiefe unter dem Wasserspiegel unmittelbar an der Sperre detonierende Bombe eine halbkreisförmige Bresche von rd. 76 Öffnungsweite an der Sperrenkrone und 22 m Tiefe herausgerissen. „Durch diese liefen innerhalb von 12 Stunden 116 Mio m³ Wasser aus. Die anfängliche Abflußmenge wurde nachträglich zu 8800 m³/s ermittelt. In dem engen Möhnetal ergab sich damit eine Flutwelle von 10 m Höhe, die weit über dem höchsten bekannten Hochwasser des Jahres 1890 lag und große Verheerungen anrichtete. Etwa 1200 Menschen kamen ums Leben; bis in eine Entfernung von 50 km von der Sperre waren sämtliche Brücken zerstört . . . Bei der Einmündung der Ruhr in den Rhein (148,5 km von der Möhnetalsperre entfernt) stieg der

Pegel beim Durchgang des Scheitels der Hochwasserwelle — $25\frac{1}{2}$ Stunden nach der Katastrophe — noch um rd. 4 m an. Dies bedeutete eine Erhöhung der Wasserführung des Rheins um $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ (8).“

Fast gleichartig, wenn auch in den Auswirkungen etwas weniger verheerend, verlief der Angriff auf die Edertalsperre. Auch hier detonierte eine Spezialbombe unmittelbar an der Sperre in etwa 20 m Wassertiefe, also unter guter Verdämmung durch die Auflast des inkompressiblen Wasserkörpers, und riß ein halbeirundes Loch von etwa 60 m oberer Breite und 22 m Tiefe in die Mauer. „Außerdem wurde das Gefüge des Mauerwerks um die Sprenglücke herum gelockert und weithin in das stehengebliebene Mauerwerk meist waagrecht verlaufende Risse gesprengt. Von dem 202 Mio m^3 betragenden Wasserinhalt der vollgefüllten Sperre waren rd. 160 Mio frei geworden und stürzten durch die Sprenglücke mit großer Gewalt in das Sturzbett vor der Mauer ab. Durch die ungeheuer Gewalt der tief herabstürzenden Wassermassen in Verbindung mit der mahlenden Wirkung der herunterprasselnden gewaltigen Mauerbrocken wurde vor der Sprenglücke in den felsigen Untergrund ein Kolk von etwa 10 m größter Tiefe und 80 m Durchmesser gewühlt und an dieser Stelle der Fuß der Mauer fregelegt bzw. unterwühlt.“ Insgesamt sind aus der Sperre, die an der Sohle der Sprenglücke eine Dicke von fast 18 m hatte, rd. 12.000 m^3 Mauerwerk herausgebrochen worden (9).

Gimpflicher war die Wirkung des Angriffs auf den Erddamm der Sorpesperre, der zur selben Stunde wie der auf die Möhnesperre unternommen worden ist, offenbar in der Absicht, durch die gleichzeitige Zerstörung der beiden großen Speicher die Wirkung zu vervielfachen. Trotz zweier Volltreffer, die 12 m tiefe Sprengtrichter aufgeworfen hatten, ist dieser Damm aber nicht so weit beschädigt worden, daß es zu einem Auslaufen des Speichersees gekommen wäre. Auch spätere Angriffe auf die Sorpe-Talsperre, die insgesamt 11 Treffer erhielt, vermochten nicht, den Damm zu zerstören. Über die Möglichkeiten einer Zerstörung von Dämmen und über die Vorgänge, die sich dabei abspielen, sind schon vor dem zweiten Weltkrieg anlässlich eines an der Elbe oberhalb Dresdens geplanten Speicherbeckens Modellversuche angestellt worden; sie zeigten, daß ein Damm unrettbar verloren ist, wenn Wasser aus dem Becken infolge einer durchgehenden Verletzung zur Luftseite hin fließen kann, auch wenn es sich zunächst nur um ein dünnes Rinnsal handelt. Das Wasser beginnt dann seine Erosionstätigkeit und nagt einen immer tiefer werdenden, verhältnismäßig schmalen Schlitz in den Damm. Der Vorgang hört nicht auf, ehe nicht der gesamte Wasserinhalt des Beckens ausgelaufen ist. Dieser einmal eingeleitete Erosionsvorgang führt unaufhaltsam zum Dammbruch und kann nicht mehr, es wäre denn in der allerersten Phase, abgestoppt werden. Die Erkenntnis von der Verletzlichkeit der

Dämme durch überrinnendes Wasser gilt aber natürlich nicht nur für Bombenangriffe, sondern auch für naturbedingte Hochwasserkatastrophen. Die Ereignisse, die seinerzeit zum Bruch des Johnstown-Dammes geführt haben, bestätigen die Ergebnisse der Modellversuche vollauf und zwingen dazu, gerade bei Dämmen der ausreichenden Bemessung und ständigen Funktionstüchtigkeit der Hochwasserentlastungsanlagen ein besonderes Augenmerk zu schenken.

Zu Anfang des Jahres 1959 hatte sich in Nordspanien eine schwere Talsperrenkatastrophe ereignet, der das Dorf Ribadelago und mit ihm gegen 400 Menschenleben zum Opfer gefallen sind. Man hat über die Ursachen ihres Einsturzes nie, auch in der Fachpresse nicht, Genaueres vernommen; erst nach dem Unglück von Fréjus haben die spanischen Zeitungen verlautbart, daß Anklage gegen die Schuldigen erhoben worden sei. Worin ihre Schuld bestanden hat und welches die technischen Gebrechen waren, die verursacht oder nicht verhütet zu haben ihnen angelastet wird, ist aber auch jetzt noch nicht bekannt.

Es sei auf eine Arbeit von Enrique Becerril „Commentaires sur quelques Barrages modernes en Espagne“ in den gesammelten Berichten zum V. Internationalen Talsperrenkongreß verwiesen (10), in der der Autor mehrere spanische Talsperren ganz ähnlicher Bauart in Bild und Schnitt bringt; insbesondere scheint die Talsperre von Puente Alta (Provinz Segovia) mit der zerstörten bei Ribadelago, die den

Namen Vega da Tera führte, in ihren Abmessungen große Ähnlichkeit gehabt zu haben. Es ist nach diesen Angaben immerhin möglich, ein gewisses Bild über das Ereignis zu gewinnen.

Die Sperre Vega da Tera bildete einen Speicher von 8 Mio m³ Inhalt mit einem Stauziel auf ungefähr 1600 m Seehöhe. Das zerstörte Dorf Ribadelago lag rd. 8 km flußabwärts und fast 600 m tiefer. Die Flutwelle benötigte 20 Minuten, um diese Strecke zurückzulegen und dauerte in der Hauptsache nur etwa 10 Minuten. Der größte Abfluß wurde nachträglich zu etwa 11.000 m³/s, das entspricht einem säkularen Donauhochwasser bei Wien, geschätzt.

Die Sperre ist eine aus Bruchsteinmauerwerk hergestellte Pfeilerkopfmauer mit im Grundriß T-förmigen Pfeilerköpfen; die Dichtung scheint im wesentlichen durch eine in den Querbalken dieser Pfeilerköpfe angeordnete Betonschürze erfolgt zu sein. Der Untergrund besteht aus angeblich vollkommen gesundem Gneis. Die Fundamente der Mauerpfeiler sind noch vorhanden, sodaß eine Gleitung auf der Aufstandsfläche ausgeschlossen erscheint. Die größte Höhe der Sperre betrug ungefähr 37 m, ihre Kronenlänge 100 m. Die Hochwasserentlastung war nahe der Mitte der Sperrenlänge an der Stelle ihrer größten Höhe in Form eines in die Sperrenkrone eingelassenen Überfalles angeordnet, in dessen Bereich die Mauer in vollem Betonquerschnitt, also nicht in Pfeiler aufgelöst, ausgeführt war. Die an diese Überfallsektion

gegen den linken Talhang anschließenden Pfeiler sind gebrochen.

Ausführungsfehler im Mauerwerk wurden von spanischer Seite vollkommen ausgeschlossen. Dennoch erscheint dies die wahrscheinlichste Ursache zu sein, da es gerade bei diesem Mauertyp mit den verhältnismäßig kleinen Abmessungen der Pfeiler in besonderem Maße auf die Qualität des Mauerwerks ankommt; einzelne, vielleicht gar nicht sehr große Stellen mangelhaft ausgeführter Mauerung haben einen entscheidenden Einfluß auf die Standsicherheit des ganzen Bauwerks, da selbstverständlich der Bruch eines Pfeilers den der anderen nach sich zieht.

*

Der Verfasser des Talsperrenbandes im Handbuch der Ingenieurwissenschaften (11), der bekannte Wasserbauingenieur E. Mattern, schreibt am Anfange eines Kapitels, das über die Zerstörung von Talsperren handelt, folgendes:

„Die Zerstörung einer Sperrmauer oder eines Dammes ist ein so außergewöhnlicher und gegen jede Regel eintretender Fall, daß seine Behandlung in einer Schrift über den Talsperrenbau kaum eine Stätte finden sollte. Der Konstrukteur muß unter allen Umständen mit der vollen Sicherheit seines Bauwerks rechnen und darf die Möglichkeit eines Unfalls gar nicht zu Worte kommen lassen . . . Sache des ausführenden Ingenieurs ist es, bei der Umsetzung der

Pläne in die Wirklichkeit darüber zu wachen, daß die Voraussetzungen über die Festigkeit der Baustoffe im Bau erfüllt werden. Wenn hier die Untergrundverhältnisse genügend geprüft und die Sorgfalt der Mauerwerksausführung gewährleistet ist, dann kann der bauleitende Ingenieur für die nach menschlichem Ermessen unmögliche Zerstörung mit Leib und Leben getrost eintreten.“

Ein auch nur flüchtiger Überblick über die Geschichte der Talsperrenkatastrophen muß diesen Worten, obwohl sie schon vor fast 50 Jahren geschrieben worden sind, eigentlich immer noch rechtgeben. Dann wenn sich trotzdem Zerstörungen von Talsperren ereignet haben, dann läßt sich als Ursache dafür fast immer eine manchmal geradezu sträfliche und unbegreifliche Außerachtlassung grundlegender Regeln der Bautechnik, fast nie aber ein Versagen der Theorie feststellen. Höchstens bei den ältesten Talsperren, also z. B. bei der hier nur flüchtig erwähnten Puentes-Sperre wird man zugeben müssen, daß damals die technischen Kenntnisse und Möglichkeiten an sich der Aufgabe noch nicht gewachsen waren. In neuerer Zeit ist aber ein Versagen kaum mit einem noch zu wenig entwickelten Stand der Technik zu entschuldigen gewesen, sondern entweder auf Unfähigkeit der Erbauer, auf eine übel angebrachte Sparsamkeit, auf Vernachlässigung der Erhaltung und Kontrolle, nicht selten schließlich auf die Habgier und Gewinnsucht gewissenloser Bauunternehmer zurückzuführen ge-

wesen, auf Umstände also, die häufig auch durch das Fehlen oder Versagen einer behördlichen Aufsicht begünstigt oder überhaupt erst ermöglicht wurden.

Auch wenn man dem früher erwähnten Verfasser des Handbuches der Ingenieurwissenschaften daher beipflichten und aus dem Überblick über Talsperrenkatastrophen der Vergangenheit den Schluß ziehen will, daß solche Bauwerke tatsächlich mit vollkommener Sicherheit ausgeführt werden können, so besteht eine solche doch keinesfalls gegen beabsichtigte Zerstörungen und Kriegseinwirkungen. Hier gilt vielmehr das Wort, das Schiller in seinem Wilhelm Tell dem alten Stauffacher in den Mund legt:

„Was Hände bauten, können Hände stürzen.“

Während der Dichter dieses Wort aber in hoffnungsvollem Sinne verstanden wissen wollte, in der Gewißheit nämlich, daß kein noch so festes Zwing-Uri der Freiheitsliebe eines Volkes dauernd widerstehen könne, hat es für uns Ingenieure einen viel schmerzlicheren Sinn: Wir müssen erkennen, daß in der Geschichte neben dem Willen und der Kraft zu schöpferischen Gestaltungen immer wieder auch die Nachtseite des menschlichen Wesens, sein Zerstörungstrieb und Vernichtungswille durchbricht und daß daher Sicherheit gegen die zerstörerischen Kräfte, die in der menschlichen Brust selbst ihren Sitz haben, nicht von technischen Maßnahmen und vom technischen Fortschritt, sondern nur von einem moralischen Fortschritt der Menschheit erwartet werden kann.

Schrifttum:

- (1) R. v. Klebelsberg, Geologie alpiner Stauräume, Die Wasserwirtschaft, 1955, S. 202.
- (2) P. Ziegler, Der Talsperrenbau, II. Bd., Berlin 1927.
- (3) Anonym, Bruch der Talsperre oberhalb Johnstown in Pennsylvanien, Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1889.
- (4) A. v. Weber-Ebenhof, Der Bruch der Staumauer von Bouzey . . . etc., Österr. Monatsschrift f. d. öffentl. Baudienst 1895.
- (5) A. Stucky, Der Talsperrenbruch im Val Gleno, Schweiz. Bztg., 83. Bd. (1924/1), S. 63ff.
- (6) F. A. Noetzli, Der Bruch der St. Francis-Staumauer in Kalifornien, Schweiz. Bztg., Bd. 91 (1928/1), S. 193ff.
- (7) F. Hartung, Der Wiederaufbau des 1941 zerstörten Stauwerkes Dnjeproströj, Schweiz. Bztg., 1954, S. 239.
- (8) O. Kirschner, Zerstörung und Schutz von Talsperren und Dämmen, Schweiz. Bztg., 1949, S. 277ff.
- (9) Seemann, Die Kriegsbeschädigungen der Edertalsperrenmauer, „Die Wasserwirtschaft“ (Stuttgart), Jg. 1950, S. 1ff.
- (10) Enrique Becerril, Comptes rendus du 5^{eme} Congrès International des Grands Barrages, Bd. IV, S. 1283, Bericht C 35.
- (11) E. Mattern, Die Talsperren, III. Teil d. Handbuchs der Ingenieurwissenschaften, S. 591, Berlin u. Leipzig 1913.