

Statistische Sicherheit der Talsperren

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **68 (1976)**

Heft 5

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939292>

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.

Niklaus Schnitter

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit der Frage der Sicherheit von Kernkraftwerken ist neuerdings auch die Sicherheit von Talsperren in zweifacher Beziehung wieder aufgerollt worden. Einerseits kann die auf einen Talsperrenbruch folgende Flutwelle eine Gefahr für ein Kernkraftwerk darstellen (wie zum Beispiel ein Flugzeugabsturz). Andererseits wurden Talsperrenbrüche als Vergleichsmaßstab für bisher hingenommene Gefahren beigezogen (wie zum Beispiel Verkehrsunfälle) [1]. Schon vor zehn Jahren bestellte die Internationale Kommission für grosse Talsperren ein Komitee zum Studium von Talsperrenbrüchen und -unfällen, dessen umfangreicher Bericht nun als gediegenes Buch vorliegt [2]. Die nordamerikanische Sektion der genannten Kommission hat inzwischen die gesammelten Unterlagen um die in den USA von 1966 bis 1972 gemachten zusätzlichen Erfahrungen erweitert [3]. Damit verfügt die Fachwelt wohl erstmals über ein einheitliches, weltweites Erfahrungsmaterial zur Frage der Sicherheit von Talsperren, wobei aber dessen Aufarbeitung leider einiges zu wünschen übriglässt. Es erscheint angebracht, die Auswertung mindestens für die schwerwiegendsten Unfälle, das heisst die eigentlichen Talsperrenbrüche, kurz neu aufzunehmen.

2. Grunddaten

Bei der Aufarbeitung des Erfahrungsmaterials wurde ausgegangen von Annex 14 im vorerwähnten Buch der Internationalen Kommission für grosse Talsperren [2], in welchem alle Unfälle und Schäden an nach 1900 erstellten Bauwerken von über 15 m Höhe aufgelistet sind. Berücksichtigt wurden die Sperrenbrüche, die ein Auslaufen des Stausees zur Folge hatten, unter Ausschluss derjenigen während der Bauzeit. In dieser werden öfters abnormal hohe Risiken für eine beschränkte Zeitdauer eingegangen. Es zeigten sich zwölf Fehler im genannten Annex schon bei Vergleich mit den in Appendix B wiedergegebenen, genauen Unfallbeschrieben, deren Ueberprüfung die Elimination von weiteren sieben Bau- und neun anderen Unfällen erlaubte, welche fälschlicherweise als Talsperrenbrüche klassifiziert sind (Tabelle 1).

Besonders krass und wegen ihrer statistischen Relevanz störend sind die Fehler im ersten Abschnitt des Appendix B über Unfälle an Bogenstaumauern. So zeigt ein Studium der spärlichen Grundinformation [7], dass die Wegspülung der Holzkonstruktionen dreier vor 1907 erstellter, kleiner Sperren am Gallinas in New Mexico nichts mit der 1910 am gleichen Fluss, aber für einen andern Zweck und für einen andern Bauherrn gebauten Bogenstaumauer zu tun hatte (Beschrieb Nr. 12). Der unter Nr. 13 registrierte Bruch betraf nicht die 1893 erstellte Bogengewichtsmauer Lake Hemet, sondern einen, anlässlich der Stauerhöhung von 1923 hinzugefügten, 6 m hohen Seitendamm, der durch ein Hochwasser weggespült wurde. Die ebenfalls überflutete Staumauer erlitt nur einige Kolk-schäden an ihrem luftseitigen Fuss. Die unter Nr. 17 angeführte Bogenstaumauer am Vaughn Creek, welche ihr linkes Gewichtswiderlager durch Grundbruch verlor ohne selbst einzustürzen, ist mit der Lake Lanier Mauer (Nr. 14) identisch!

Aufgrund von Angaben in der Literatur bzw. wegen des Fehlens solcher, konnten nochmals neun Fälle aus Annex 14 eliminiert werden. Drei mussten hingegen aufgrund der Detailbeschriebe (Nr. 25, 111 und 165) hinzugenommen

werden. Zusätzlich berücksichtigt wurden die Brüche der Dämme Lake Barcroft, Sheep Creek und Whitewater aus [3], ferner Pampulha [8], Nanaksagar [9], Laguna [10], Pardo [11] und W. Bouldin [12] aus der Literatur. Insgesamt ergaben sich damit 65 analysierbare Brüche an von 1900 bis 1969 gebauten Talsperren. Davon ereigneten sich 40 allein in den USA, wo aber auch die Dunkelziffer an verschwiegenen Unfällen am kleinsten sein dürfte.

Korrekturen zu Annex 14 in [2] Tabelle 1

Talsperrenname	Beschrieb		Unfalltyp ¹⁾		Begründung
	No.	Original	Richtig		
Briseis	60	11	15		Bauunfall (Ueberflutung)
Chichester	35	11	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
La Regadera	69	12	15		Bauunfall (Grundbruch)
Kaila	87	12	13		Rutsch nur wasserseits Kernmauer
Panshet	92	12	15		Bauunfall (Ueberflutung)
Selsfors	25	14	12		Grundbruch bewirkt Teileinsturz
Nizhne Svirskaya	110	12	14		Rutsch nur wasserseits Lehmkern
Alamo No. 2	111	13	12		Beckenentleerung infolge Grundbruch
Austin	—	32	33		1915 nur Schützen beschädigt laut [4]
Bayless	50	12	14		1910 nur Gleitbewegung bei Einstau
Black Rock	226	22	23		1936 blieb Damm unbeschädigt
Calaveras	122	22	23		Fehlübertragung aus Beschrieb
Cazadero	238	11	11		Eliminiert da Steinkistendamm
Colley Lake	—	12+22	14		Nur ein Schadenfall laut [3]
Dykstra	—	11	11		Baujahr und weitere Details fehlen
Elwha	28	12	15		Bauunfall (Grundbruch)
Gallinas	12	11	11		Unter 15 m Höhe; keine Bogenmauer
Goodrich	—	21	21		1860 erstellt laut [3]
Hatchtown	—	11	11		Höhe und weitere Details fehlen; 31 siehe [6]
Hatfield	—	11	11		Nur 7 m hoch laut [5]
Jackson's Bluff	151	12	12		Nur 9 m hoch laut Beschrieb
Jennings No. 16	155	12	13		Nur 1,5 m Setzung
Kenray	158	12	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
Lake Francis	—	22	23		1903 (nicht 1935) nur Risse laut [6]
Lake Hemet	13	12	13		1893 erstellt; nur luftseitige Auskolkung
Lake Waco	162	12	13		Nur starke luftseitige Auskolkung
Littlefield	232	11	15		Bauunfall (innere Erosion)
Long Tom	165	13	12		Ausspülung nach Einsturz Grundablass
Mammoth	169	11	15		Bauunfall (Ausspülung)
Mill Creek	240	12	12		1899 erstellt laut Beschrieb
Point of Rocks	186	12+22	13+23		Fehlübertragungen aus Beschrieb
Sepulveda	198	11	11		Baujahr unbekannt
Terrace Reservoir	209	12	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
Vaughn Creek	17	11	11		Identisch mit Lake Lanier (No. 14)
Wachusett N. D.	210	12	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
Wahiawa	236	12	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
W. E. Seale	213	12	13		Nur Schützen beschädigt
Wilbur	57	12	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
Woodrat Knob	216	12	13		Fehlübertragung aus Beschrieb
Wyandotte County	217	12	15		Bauunfall (Grundbruch)

¹⁾ Gemäss Code auf Seite 150 von [2]: die erste Zahl gibt die Reihenfolge der Unfälle an einer Sperre an, die zweite die Art derselben (Brüche sind mit 1 oder 2 bezeichnet, die übrigen Unfälle mit höheren Zahlen).

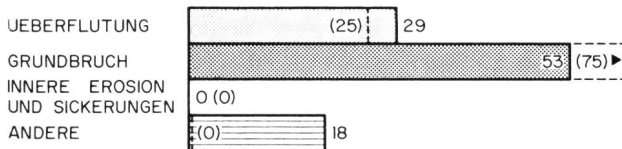
3. Auswertung

3.1 Bruchursachen (Bild 1)

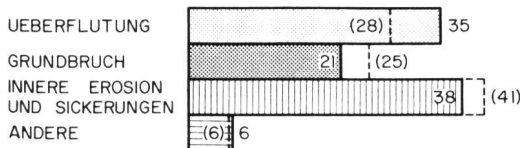
Generell, das heisst für alle Talsperrentypen zusammen, ergibt sich die bekannte Tatsache, dass die wichtigsten Bruchursachen Ueberflutung (meist bei Hochwasser), Grundbruch (in Erde oder Fels) sowie innere Erosion (das englische «piping») und Sickerungen sind, die je etwa einen Drittel aller Talsperrenbrüche verursachen. Betrachtet man die Staumauern für sich allein, so entfallen die innere Erosion und Sickerungen als Bruchursache, doch werden sie durch den um so höheren Anteil an Grundbrüchen aufgewogen. Interessanterweise sind Ueberflutungen als Bruchursache bei Staumauern und Dämmen etwa gleich häufig. Keine grossen Unterschiede ergeben sich bei gesonderter Betrachtung der Talsperrenbrüche in den USA allein. Erstaunen mag vielleicht, dass unter den Bruchursachen nicht die durch die Sicherheitsuntersuchungen für Kernkraftwerke stark in den Vordergrund gerückten Erdbebenwirkungen erscheinen. Tatsächlich ist bis heute an Talsperrenbrüchen aus diesem Grund nur der Fall des 8 m hohen Sheffield Dammes in Kalifornien bekannt, während an über 15 m hohen Sperren nur Beschädigungen durch Erdbeben aufgetreten sind [13].

STAUMAUERN

(USA ALLEIN)



DAEMME



ALLE TYPEN

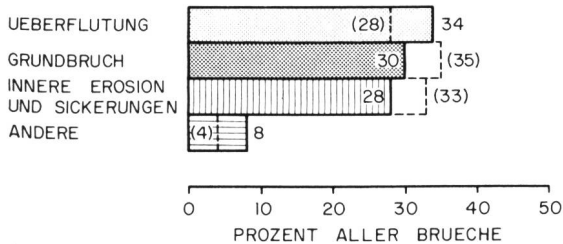


Bild 1. Auswertung der Bruchursachen bei Talsperrenbrüchen.

3.2 Bruchalter (Bild 2)

Im Gegensatz zu einer weitverbreiteten Meinung nimmt die Bruchanfälligkeit von Talsperren mit zunehmendem Alter ab und nicht zu. So traten Grundbrüche relativ rasch nach Einstau und Inbetriebnahme der Sperren auf, während Brüche infolge Ueberflutung sowie innerer Erosion und Sickerungen sich auch noch bei älteren Bauwerken einstellten. Denkt man an die hydrologischen Mechanismen, so erscheint dies bei den Ueberflutungen als durchaus normal. Auffallend, aber ebenfalls aus dem Mechanismus der inneren Erosion und Sickerungen zu erklären, ist die lange Zeitspanne, die bis zu deren Wirksamwerden verstreichen kann. Den Rekord hält wohl der Erddamm Laguna in Mexico, der erst 57 Jahre nach Inbetriebnahme infolge innerer Erosion brach [10].

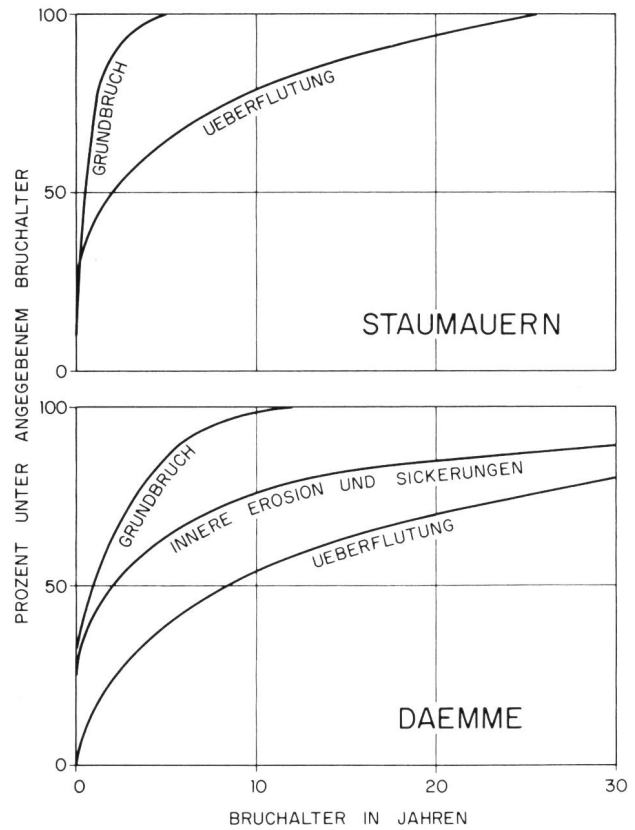


Bild 2. Auswertung der Talsperrenbrüche nach dem Bruchalter.

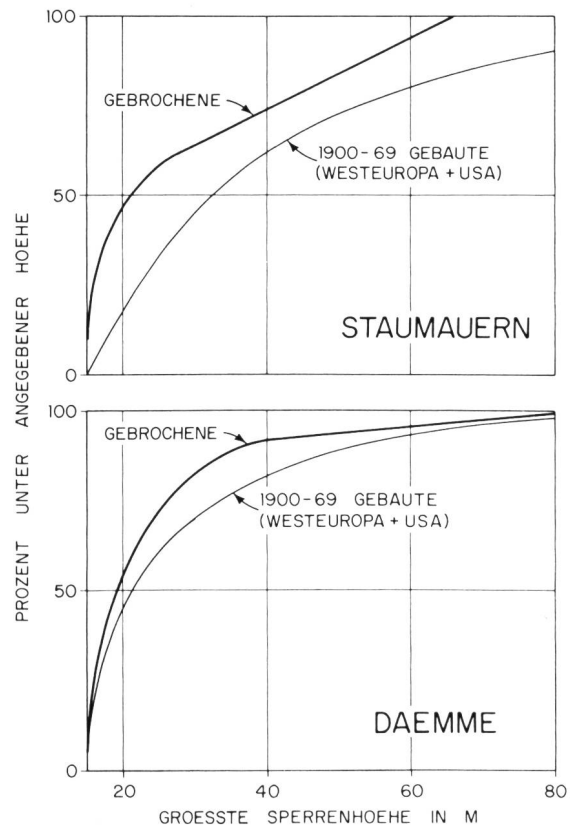
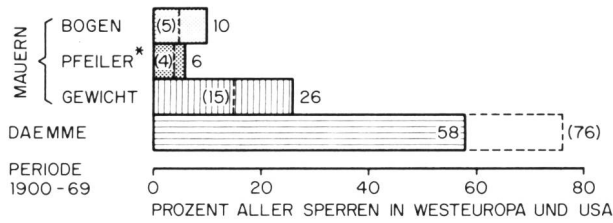


Bild 3. Auswertung der Talsperrenbrüche nach Sperrenhöhen.

GEBAUTE SPERREN

(USA ALLEIN)



GEBROCHENE SPERREN

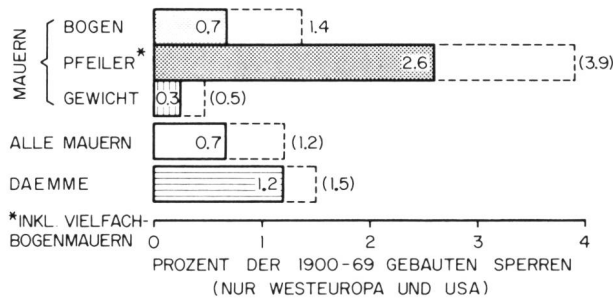
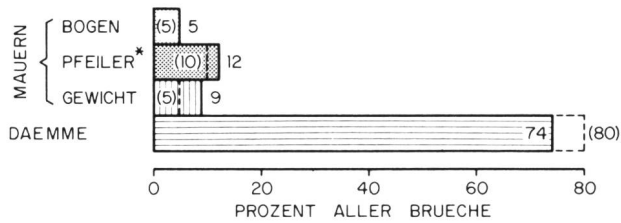


Bild 4. Auswertung der Talsperrenbrüche nach Konstruktionstypen.

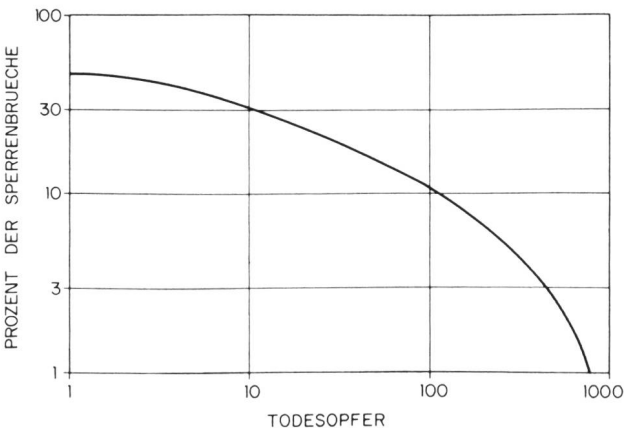
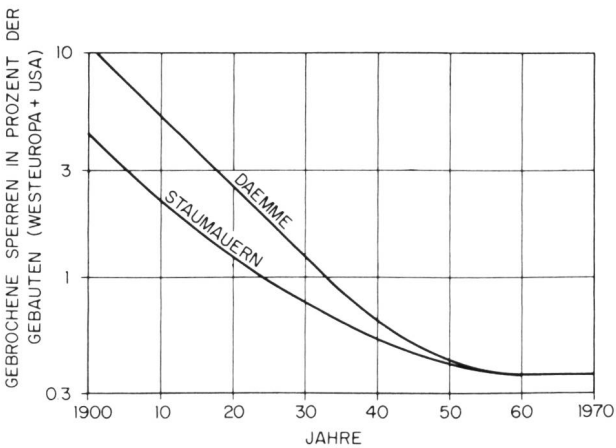


Bild 5. Auswertung der Talsperrenbrüche nach Risiken.

3.3 Sperrenhöhen (Bild 3)

Die Klassierung der gebrochenen Sperren nach ihrer grössten Höhe zeigt, dass die Hälfte derselben nur 15 bis 20 m hoch waren, das heisst, dass vor allem kleinere Bauwerke bruchanfällig sind. Dies zum Teil sicher deshalb, weil sie angesichts ihrer beschränkten Bedeutung nicht immer mit der erforderlichen Sorgfalt projektiert oder gebaut wurden. Allerdings weichen die Höhen-Verteilungskurven der gebrochenen und aller gebauten Sperren¹⁾ nicht stark voneinander ab. Bei den Dämmen ergeben die gebrochenen sogar ein recht repräsentatives Muster aller gebauten.

3.4 Konstruktionstypen (Bild 4)

Gut Dreiviertel der gebrochenen Bauwerke waren Dämme, die aber auch den grössten Teil aller gebauten Sperren¹⁾ ausmachen. Bei den Brüchen unterproportional vertreten sind im Gegensatz zu ihrem theoretischen Sicherheitskredit die Gewichtsmauern, während die Pfeilermauern (einschliesslich Vielfachbogen) überraschend schlecht abschneiden. Noch prägnanter kommt dies zum Ausdruck, wenn die gebrochenen Sperren in Prozent der vom gleichen Typ gebauten dargestellt werden. Allerdings ist zu beachten, dass die Anzahl der gebrochenen Bauwerke pro Typ bei den Mauern recht klein ist. So sind es bei den Bogenmauern ganze drei Sperren, von denen der schon erwähnte Lake Lanier/Vaughn Creek-Unfall (Nr. 14/17) mit einigem Recht auch den Gewichtsmauern hätte zugerechnet werden können. Wegen der beschränkten Anzahl Fälle ist es auch nicht möglich, die verschiedenen Mauertypen noch einzeln nach den Bruchursachen zu analysieren. Für die Dämme erfolgte dies bereits vorstehend unter 3.1. Wie dort werden auch hier die Ergebnisse durch eine gesonderte Betrachtung der Talsperrenbrüche in den USA allein nicht wesentlich verändert.

3.5 Risiken (Bild 5)

Die vorstehend genannten Anteile der gebrochenen an allen gebauten Sperren stellen Mittelwerte über die sieben Dezennien 1900 bis 1969 dar. Errechnet man für die in jedem derselben gebauten Sperren den Anteil der später gebrochenen gesondert, so erhält man eine stark abfallende Kurve, welche den technischen Fortschritt widerspiegelt (Bild 5 oben). Brach nämlich von den anfangs des Jahrhunderts gebauten Sperren jede fünfundsanzigste Mauer und gar jeder zehnte Damm, so ist es von den seit 1950 erstellten Bauwerken nur noch rund eines auf zweihundertfünfzig, wobei sich die Bruchhäufigkeit der modernen Dämme derjenigen der Staumauern angeglichen hat.

Zur Beurteilung der Schwere der Talsperrenbrüche kann die Anzahl der Todesopfer beigezogen werden, welche sie verursacht haben. Entsprechende Angaben liegen in rund zwei Fünfteln der Fälle vor, doch darf angenommen werden, dass sich darunter alle folgenschweren Unfälle befinden, so dass diese auf die Gesamtzahl der Brüche bezogen werden können. Andererseits waren bei der Hälfte der Fälle, für welche Angaben vorliegen, keine Todesopfer zu beklagen. Mit diesen Elementen ergibt sich die in Bild 5 unten aufgetragene Häufigkeitsverteilung der Todesopfer pro Talsperrenbruch. Daraus lässt sich das jährliche Risiko, zum Beispiel in den USA ermitteln, wenn man zusätz-

¹⁾ Neuauswertung der neuesten Ausgabe des Weltregisters der Talsperren [14] unter strikter Beschränkung auf die über 15 m hohen Bauwerke.

lich berücksichtigt, dass daselbst in neuerer Zeit (zum Beispiel den letzten drei Dezennien) im Mittel ein Talsperrenbruch alle drei Jahre auftrat. Der Vergleich mit den für die USA gemachten Angaben in [1] zeigt, dass dort die Frequenz der leichteren Unfälle etwa richtig geschätzt, die Anzahl Todesopfer der seltenen, folgenschweren Talsperrenbrüche aber um mindestens eine Zehnerpotenz zu hoch veranschlagt wurde. Dies ist eine Folge der Abstützung auf nur acht, zur Hälfte aus dem letzten Jahrhundert stammende Präzedenzfälle einerseits und auf eine hanebüchene theoretische Untersuchung [15] andererseits.

4. Schlussfolgerungen

Die Analyse der Brüche an seit 1900 erstellten Talsperren von mehr als 15 m Höhe zeigt eine zum technischen Fortschritt parallel laufende Verminderung der Bruchhäufigkeit und eine Angleichung derselben für moderne Stau-mauern und Dämme. Zudem nimmt die Bruchanfälligkeit je nach Bruchursache mit zunehmendem Alter der Sperre mehr oder minder rasch ab. Wendet man diese Erkenntnisse auf die heute in der Schweiz vorhandenen 99 Stau-mauern und 25 Dämme an²⁾, so zeigt sich, dass rund 30 Sperren aus Altersgründen kaum mehr gefährdet sind. Für alle übrigen zusammen stellt sich die Wahrscheinlichkeit, dass eine von ihnen je bricht, zurzeit auf rund 5 % (Mittel pro Sperre 0,06 %). Das Risiko eines folgenschweren Unfalls mit zum Beispiel 100 Todesopfern beträgt insgesamt gar nur 0,5 %. In Zukunft und einen ordnungsgemässen Betrieb und Unterhalt vorausgesetzt, wird für die heute bestehenden Talsperren dieses Risiko immer kleiner, so dass aller Voraussicht nach die Schweiz auch künftig von bedeutenderen Talsperrenbrüchen verschont bleiben wird.

²⁾ Zum Beispiel läuft ein 30 Jahre alter Damm nach Bild 2 keine Gefahr mehr, infolge Grundbruch (nach Bild 1 23 % der Fälle) zu brechen, während die Bruchwahrscheinlichkeiten für innere Erosion (40 % der Fälle) noch 11 % und für Ueberflutung (37 % der Fälle) noch 20 %, insgesamt also $100 (0,40 \times 0,11) + 100 (0,37 \times 0,20) = 12 %$ betragen. Mit der Bruchhäufigkeit der 1946 gebauten Dämme (Bild 5) von 0,5 % ergibt dies ein Gesamtrisiko für diese eine Sperre von 0,06 %.

Literaturhinweise

- [1] U. S. Atomic Energy Commission: Reactor Safety Study (Rasmussen Report). Washington 1974, p. 215—216 (zusammengefasst z. B. in «Neue Zürcher Zeitung» vom 2. April 1975, S. 51).
- [2] Lessons from Dam Incidents / Leçons tirées des accidents de barrage. Commission internationale des grands barrages, Paris 1974 (besprochen von E. Gruner in «Schweizerische Bauzeitung» 1975, Heft 5, S. 174).
- [3] Lessons from Dam Incidents, USA. American Society of Civil Engineers, New York 1975.
- [4] Reconstruction of Old Dam at Austin, Texas. «Engineering News Record» March 2, 1939, p. 72.
- [5] J. D. Justin: Earth Dam Projects. J. Wiley & Sons Inc., New York 1932, fig. 14, p. 21.
- [6] J. L. Sherard: Influence of Soil Properties and Construction Methods on the Performance of Homogeneous Earth Dams. U. S. Bureau of Reclamation, Denver 1953, p. 39 and 133.
- [7] Flood Waters Hit Las Vegas as Three Small Dams Fail. «Engineering News Record», August 8, 1957, p. 28.
- [8] M. Vargas et al.: A ruptura da barragem da Pampulha. Instituto de pesquisas tecnologicas, São Paulo 1955.
- [9] Nanaksagar Dam Breach. «Water Power» 1968, p. 48.
- [10] R. J. Marsal and W. Pohlentz: The Failure of Laguna Dam. «Performance of Earth and Earth-Supported Structures». American Society of Civil Engineers, New York 1972. Vol I, p. 489—505.
- [11] Flash Flood Overtops, Destroys Argentina's Pardo Dam. «Engineering News Record», January 15, 1970, p. 20.
- [12] 120-ft-high Dam Fails, Cause Unknown. «Engineering News Record», February 20, 1975, p. 12.
- [13] A Review of Earthquake Resistant Design of Dams / Une révision du calcul sismique des barrages. Commission internationale des grands barrages, Paris 1975. Appendix 2, p. 60—87.
- [14] World Register of Dams / Registre mondial des barrages. Commission internationale des grands barrages, Paris 1973.
- [15] P. Ayyaswamy et al.: Estimates of the Risks Associated with Dam Failures. University of California, Los Angeles 1974.

Adresse des Verfassers: Niklaus Schnitter, dipl. Ing. ETHZ, Direktor, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden.

Von der Energiekonzeption zur Energiepolitik

DK 620.9

Emil Zehnder

«Ausreichende, sichere, billige Energie» sind die Grundforderungen an alle konzessionierten Unternehmungen für die Elektrizitäts- und Gasversorgung der Schweiz. Die gleichen Ziele gelten auch für die bewilligungspflichtigen Unternehmen. Das in den letzten 50 Jahren perfektionierte System von Zusammenarbeit und Konkurrenz hat dazu geführt, dass die erwähnten Ziele von den nichtkonzessionspflichtigen Brenn- und Treibstofflieferanten des freien Marktes übernommen worden sind, und sogar die regelmässigen Zulieferanten des In- und Auslandes sich daran halten. Statistiken, Prognosen, kurz-, mittel- und langfristiger Planung, ja sogar der Forschung von Staat und Privaten lag und liegt heute noch die Konzeption der Versorgungspflicht bei ungesteuertem Konsum zu Grunde. Sie hat sich nicht nur in Friedenszeiten bewährt: die Eingriffe des Bundes waren selten (Förderung der Akkumulierkraftwerke, Eingriffe von Bundesrat Spühler gegen Oelkraftwerke zugunsten von Atomkraftwerken). Auch in kritischen Zeiten (Krieg, beide Oelkrisen) wurde sie nicht beanstandet.

Der «Umweltschutz» als Oberbegriff besteht zwar erst seit kurzer Zeit; Umweltschutz wurde bei Produktion, Transport und Lagerung schon immer, jedoch nur entsprechend den jeweiligen Ansichten berücksichtigt, dann und so weit, als die Versorgungspflicht nicht in Frage gestellt wurde. Heute

dämmert es langsam vielen, dass die Auflage der Versorgungspflicht nicht genügt, sondern durch die Konzeption des Konsumverhaltens zur Gesamtenergiekonzeption zu ergänzen ist. Deren Realisierung wird Sache einer Gesamtenergiepolitik sein.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse der Informationstagung «Von der Energiekonzeption zur Energiepolitik» vom 26. und 27. März 1976 ist eine sehr empfehlenswerte Schrift¹⁾ für alle, die sich für diese Fragen interessieren. Die Vorträge basierten weitgehend auf den Unterlagen, die der schweizerischen Kommission für die Gesamtenergiekonzeption übermittelt worden sind. Eine Auswahl des Gesagten war in der Tagespresse nachzulesen. Wir beschränken uns auf die Hinweise, auf deren Basis Bund und Kantone heute schon aktiv geworden sind, und in Zukunft nach Ansicht eines Juristen (Dr. H. K. Müller-Stahel, Winterthur) und eines Praktikers (dipl. Ing. H. Peter, Liestal) noch aktiver werden sollten und könnten.

Ein Energieartikel der Bundesverfassung ist nach Müller-Stahel als Vorschlag rasch formuliert, es vergehen aber

¹⁾ «Von der Energiekonzeption zur Energiepolitik», Referate der Tagung vom 26. und 27. März 1976 im Kasino Zürichhorn, Zürich. Schweiz. Gesellschaft für Umweltschutz, Schlossbergstrasse 22, 8702 Zollikon. Preis 20 Franken.