

# Vertiefte Sicherheitsüberprüfung zweier Talsperren nach der überarbeiteten DIN 19700 mit besonderem Augenmerk auf die Risikoanalyse

Jörg Franke<sup>1</sup>, Walter Marx<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipl.-Ing., <sup>2</sup>Privatdozent Dr.-Ing., Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft, D-70550 Stuttgart

## KURZFASSUNG

Im Juli 2004 wurde die DIN 19700 – Stauanlagen neu aufgelegt. Dabei sind viele Teile des Regelwerkes erneuert bzw. überholt und an den derzeitigen Stand der Technik angepasst worden. Der größte Unterschied zu der Ausgabe von 1986 ist die Forderung einer Risikoanalyse.

Das Institut für Wasserbau (IWS) hatte in den vergangenen Jahren zweimal den Auftrag, eine vertiefte Sicherheitsüberprüfung unter den Randbedingungen der neuen Stauanlagennorm durchzuführen. Im Jahr 2002 wurde die Nagoldtalsperre, ein Steinschüttdamm, im Auftrag der Gewässerdirektion Freudenstadt untersucht und im Jahr 2004 die Heimbachsperrre, eine Bruchsteinmauerwerk-Schwergewichtsmauer, im Auftrag der EnBW Kraftwerke AG.

In diesem Aufsatz soll die Auslegung der DIN 19700 für diese beiden Gutachten dargestellt werden.

## 1 KONZEPTION

Teil der vertieften Sicherheitsüberprüfung und Grundlage weiterer Berechnungen ist als erstes, das aktuelle Bemessungshochwasser zu bestimmen. Darauf aufbauend ist die Hydraulik der Entlastungsorgane und Ableitungen für die maßgeblichen Bemessungsabflüsse zu überprüfen. Ein weiterer Pfeiler der Untersuchung stellt die Berechnung der Standsicherheit mithilfe von Computermodellen dar. Daneben ist eine Risikoanalyse durchzuführen.



Abbildung 1: Elemente der vertieften Sicherheitsüberprüfung

## 2 KLASSIFIKATION DER TALSPERREN

Die Nagoldtalsperre mit ihren 32 m Höhe und einem Gesamtstauraum von ca. 5 Mio. m<sup>3</sup> fällt unter die Talsperrenklasse 1 nach DIN 19700, wohingegen die Heimbachsperrre mit einer Höhe von 14,5 m und einem Gesamtstauraum von 158.000 m<sup>3</sup> formal in die Klasse 2 einzuordnen ist. Da der Abstand zum Wert von 15 m jedoch nicht sehr weit ist, war auch hier eine umfassende Betrachtung der Talsperre ratsam.



Abbildung 2: Heimbachsperrre (links) und Nagoldtalsperre (rechts)

### 3 HYDROLOGIE

In Abhängigkeit von der Talsperrenklasse sind gemäß DIN 19700 zwei Bemessungshochwasserabflüsse (BHQ) verschiedener Jährlichkeit zu bestimmen, siehe Tabelle 1.

KLASSE	BHQ <sub>1</sub>	BHQ <sub>2</sub>
1	1.000 a	10.000 a
2	500 a	5.000 a

Tabelle 1: Jährlichkeit der anzusetzenden Bemessungshochwasser

Diese Hochwasserabflüsse sind im Rahmen der beiden Gutachten mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell berechnet worden.

### 4 HYDRAULIK

Bei vertieften Sicherheitsüberprüfungen sind die hydraulischen Berechnungen (Abfuhrkapazitäten der Entlastungsanlagen) ein Hauptteil des Gutachtens und im Ansatz des IWS auch Teil der Risikoanalyse. Mit dem Überströmen eines Erd- oder Steinschüttdammes wird von einem Versagen ausgegangen und auch bei Schwergewichtsmauern sind nach [Douglas et al.] die meisten Talsperrenkatastrophen während Hochwasserereignissen aufgetreten.

Laut DIN 19700 muss das BHQ<sub>1</sub> durch die Entlastungsanlagen der Talsperre ohne Einschränkungen abgeführt werden können. Die Forderung für das BHQ<sub>2</sub> ist die Abfuhr des Hochwassers ohne globales Versagen des Bauwerkes.

#### 4.1 Hydraulik bei nicht überströmbaren Bauwerken

Bei nicht überströmbaren Bauwerken ist sicher zu stellen, dass die Bemessungshochwasserabflüsse durch die Entlastungsorgane abgeführt werden können. Es darf eine Speicherbewirtschaftung unter Einbeziehung der Beckenretention angesetzt werden. Das Verfahren der Risikoanalyse für nicht überströmbare Bauwerke wird in Abschnitt 6.4.1 beschrieben.

## 4.2 Hydraulik bei überströmbaren Bauwerken

Bei überströmbaren Bauwerken wie z.B. Schwergewichtsmauern aus Beton oder Bruchsteinmauerwerk ist nachzuweisen, dass die Bemessungsabflüsse abgeführt werden können, ggf. auch ohne Zuhilfenahme weiterer Entlastungsorgane wie Betriebsauslass oder Grundablass.

## 5 STANDSICHERHEIT

Die Standsicherheitsberechnungen wurden mit aktuellen Finite-Elemente-Programmen durchgeführt. Für die Nagoldtalsperre, ein Steinschüttdamm, kam das Programm PLAXIS zum Einsatz und für die Berechnungen an der Heimbachsperrre, eine Schwergewichtsmauer, wurde ANSYS verwandt.

## 6 RISIKOANALYSE

Im Rahmen der Risikoanalyse werden das Risiko des Brechens der Talsperre und das durch ein Brechen der Talsperre induzierte Risiko für die Unterlieger ermittelt, verglichen und bewertet.

### 6.1 Talsperrenüberwachung

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Talsperrenmessdaten analysiert und kommentiert.

### 6.2 Gefährdungen

Die Talsperre und ihre einzelnen Komponenten (Baugrund, Bauwerke, Einrichtungen) können durch vielerlei Einwirkungen aus natur- und technisch bedingten Vorgängen gefährdet werden. Die Wechselwirkungen zwischen Einwirkungen und Komponenten werden in Form einer Matrix systematisch aufgeführt. Das Schema ist an [Rißler] angelehnt und wird für das jeweilige Bauwerk angepasst.

Zur Kommentierung dieser Matrix wurden beide Sperren mehrfach begangen und projektspezifische Informationen wie Talsperrenbücher, frühere Gutachten, Messdaten sowie Beobachtungen und Erfahrungen der Talsperrenwärter herangezogen.

### 6.3 Abschätzung des Risikos der Talsperre für die Unterlieger

Das Risiko  $R$  setzt sich aus dem Produkt der Eintretenswahrscheinlichkeit  $p_f$  eines Schadensfalls und dem zugehörigen Schadenspotenzial  $C_f$  zusammen.

Als Schadenspotenzial ist die Anzahl gefährdeter Menschenleben anzusehen, da das Menschenleben das höchste Gut ist, welches es vor Sachwerten zuerst zu schützen gilt. In diesem Zusammenhang wird das Schadenspotenzial  $C_f$  für das Eintreten der Gefährdung von Menschenleben zu eins gewählt. Das heißt, ein Menschenleben wird nicht monetär oder anderweitig bewertet. Folglich entspricht im Weiteren das Risiko  $R$  der Eintretenswahrscheinlichkeit  $p_f$  des Schadensfalls.

Risiken sind immer im Kontext zu sehen. Jeder Mensch geht im Alltag individuelle Risiken ein. Nach [Schneider et al.] beträgt das mittlere Todesfallrisiko eines 45-jährigen beispielsweise  $R = 3,0 \cdot 10^{-3}$ . 10.000 km Autobahn fahren stellt ein Risiko von  $R = 1,0 \cdot 10^{-4}$  dar.

Das eingehbare Gesamtrisiko an einer Talsperre wird in Fachkreisen diskutiert und variiert zwischen  $1,0 \cdot 10^{-6}$  und  $2,0 \cdot 10^{-4}$ . Ein weiterer Beitrag zum Zusammenhang zwischen der Anzahl der eventuellen Verluste von Menschenleben und dem eingehbaren Gesamtrisiko wurde z.B. an der RWTH Aachen verfasst [Rettemeier].

Frühere Hochwasserereignisse haben gezeigt, dass eine Evakuierung der unterhalb lebenden Bevölkerung im Hochwasserfall recht gut durchgeführt werden konnte. Die Bemessungshochwässer sind wesentlich höher ermittelt als historische Abflüsse, bei welchen die Talsperren keinen Schaden genommen haben. Da ein Hochwasser nicht schlagartig auftritt, kann angenommen werden, dass am Scheitelpunkt der Flutwelle die nahe der Talsperre wohnende Bevölkerung ihre Häuser schon verlassen hat; eine Vorwarnzeit somit gegeben ist. Eine Anrechnung der Vorwarnzeit auf die Anzahl der Verluste an Menschenleben haben [Meon et al.], Abbildung 3, vorgeschlagen.

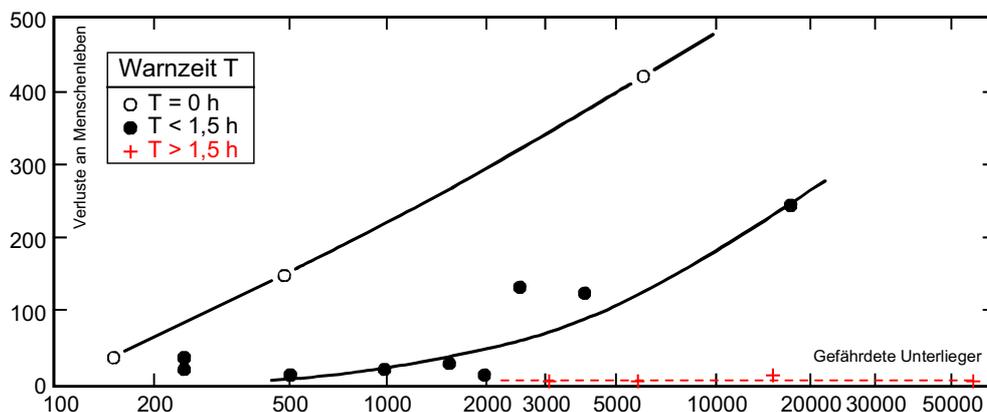


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen der Anzahl der gefährdeten Unterlieger, der Vorwarnzeit und den sich ergebenden Verlusten an Menschenleben [Meon et al.]

Die Kombination der Diagramme von Rettemeier und Meon et al., Abbildung 3, ergibt sowohl für die Nagoldtalsperre als auch die Heimbachsperrre unter Einbeziehung aller lokalen Faktoren ein vertretbares Restrisiko von  $R = 1,0 \cdot 10^{-4}$ .

## 6.4 Restrisiko

Das Restrisiko wurde an Nagoldtalsperre und Heimbachsperrre auf unterschiedliche Weise ermittelt, wobei die Überströmbarkeit ein wichtiges Kriterium für die Wahl der Methode ist.

### 6.4.1 Restrisiko bei nicht überströmbaren Talsperren

Zur Abfuhr von Hochwasser stehen bei Talsperren meist mehrere Auslass-Systeme zur Verfügung: an der Nagoldtalsperre beispielsweise die Hochwasserentlastung, der Grundablass und der Notgrundablass.

Es besteht die Möglichkeit eines konstruktiven Versagens von hydraulischen Anlagenteilen, wofür an der TU Dresden [Pohl] Wahrscheinlichkeiten ermittelt wurden. Im Rahmen einer Generalüberholung der Auslass-Systeme ist allerdings für jedes einzelne System oder jede einzelne Systemkomponente ein Ausfall, Verschluss der Entlastung, vorstellbar. Die Revision ist also maßgeblich, da für diesen Fall realistische Versagenswahrscheinlichkeiten vorliegen, die deutlich höher sind, als die Wahrscheinlichkeit des konstruktiven Versagens. So stellen beispielsweise drei Monate Ausfall eine Wahrscheinlichkeit von  $P = 2,5 \cdot 10^{-1} = 0,25$  dar.

Aufbauend auf diese Wahrscheinlichkeiten kann nun eine Versagenspfad-Analyse durchgeführt werden. Parameter sind der Beckenwasserstand,  $BHQ_1$  oder  $BHQ_2$  sowie die Revisionsdauer der jeweiligen Entlastungsorgane.

Das vertretbare Restrisiko für die Nagoldtalsperre kann eingehalten werden, wenn die Revisionsdauer auf 3 Monate begrenzt wird. Bei einer weiteren Verkürzung der Revisionsdauer erhöht sich die Sicherheit.

#### **6.4.2 Restrisiko bei Schwergewichtsmauern**

Da die Heimbachsperrre überströmt werden kann, ist ein Ausfall der Entlastungsanlagen nicht als ein Versagen auslösendes Ereignis direkt zu kennzeichnen.

Zur Ermittlung des Restrisikos bei Schwergewichtsmauern ist hier ein Verfahren aus Australien heran gezogen worden [Douglas et al.]. An der University of New South Wales wurden Talsperrenversagen an Schwergewichtsmauern aus Beton oder Bruchsteinmauerwerk aus der ganzen Welt untersucht und schematisiert. In die Auswertung mit eingeflossen sind Versagensfälle, Unfälle und größere Instandsetzungen an insgesamt 4.663 Talsperren. Das Verfahren ermöglicht es erstmals, eine Wahrscheinlichkeit des Talsperrenversagens unter Einbeziehung weiterer Faktoren, wie z.B. der Gründungssituation, zu ermitteln.

Die individuellen Risiken durch Gleiten ( $P_S$ ), hydraulischen Grundbruch ( $P_P$ ) oder Mauerversagen ( $P_B$ ) können anhand ihrer spezifischen Wahrscheinlichkeiten in Kombination mit lokalen, talsperrentypischen und betrieblichen Faktoren berechnet und daraufhin zum globalen Versagensrisiko, siehe Formel (1), addiert werden.

$$P = f_{red} \cdot (P_S + P_P + P_B) \quad (1)$$

Das Restrisiko muss nach der Ermittlung mit dem vertretbaren Restrisiko verglichen werden.

Bei der Analyse der Heimbachsperrre konnte die Forderung des vertretbaren Restrisikos um einen mittleren einstelligen Faktor übertroffen werden.

## **7 ZUSAMMENFASSUNG**

In diesem Artikel wurde das Konzept des IWS für vertiefte Sicherheitsüberprüfungen nach den Forderungen der DIN 19700 (neu) an Talsperren vorgestellt. Insbesondere werden zwei Ansätze zur Bestimmung des Restrisikos für ein nicht überströmbares Bauwerk sowie ein überströmbares Bauwerk präsentiert.

Das Versagensrisiko bei Steinschütt- oder Erddämmen kann durch die Wahrscheinlichkeit der Nicht-Verfügbarkeit von Entlastungsorganen beispielsweise während deren Revision bestimmt werden. Die Ermittlung des Restrisikos bei Schwergewichtsmauern ist mittels eines Verfahrens möglich, welches die historischen Versagensfälle, Unfälle und größere Instandsetzungen von über 4.500 Talsperren in Abhängigkeit von weiteren talsperrentypischen und lokalen Faktoren einbezieht.

Die vertieften Sicherheitsüberprüfungen an Nagold- und Heimbachsperrre attestieren den Bauwerken einen guten Zustand in hydraulischer und statischer Hinsicht sowie unter Risikogesichtspunkten. Von den Talsperren geht nur ein vernachlässigbar kleines Risiko für die Unterlieger aus.

## LITERATUR

DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., 1970: Stauanlagen, Normenausschuss Wasserwesen, Beuth Verlag, Juli 2004.

Douglas, K., Spannagle, M. & Fell, R.: Analysis of Concrete and Masonry Dam Incidents, University of New South Wales, Sydney, Australia, UNICIV Report No. R-373, 1998.

Giesecke, J., Bárdossy, A., Marx, W., Ehret, U., Kohler, B. & Brommundt, J.: Vertiefte Sicherheitsüberprüfung der Nagoldtalsperre, Technischer Bericht Nr. 10/2002, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, September 2002, unveröffentlicht.

Meon, G. & Plate, E. J.: Risikoabschätzung von Stauanlagen, Wasserwirtschaft, Jahrgang 76, Heft 6, 1986.

Pohl, R.: Ausfallhäufigkeit von Verschlüssen an Stauanlagen. Wasserwirtschaft, Jahrgang 91, Heft 6, Seite 321 – 327, 2001.

Rettemeier, K.: Versagen von Stauanlagen – Anforderungen an die Einschätzung und Bewertung des Risikos, Aachen, 2001.

Rißler, P.: Die Hochwasserbemessung als Teil eines in sich schlüssigen Sicherheitskonzepts für Talsperren. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jahrgang 47, Heft 11, Seite 1689 - 1699, 2000.

Schneider, J. & Schlatter, H. P.: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, B.G. Teubner / vdf Verlag der Fachvereine, Stuttgart / Zürich, 1996.

Wieprecht, S., Giesecke, J., Bárdossy, A., Brommundt, J., Franke, J., Kohler, B., Marx, W. & Zöllner, F.: Vertiefte Sicherheitsüberprüfung der Heimbachsperrre, Technischer Bericht Nr. 13/2003, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, November 2004, unveröffentlicht.