



1980-1996

Eine Talsperrenepoche / Une époque pour les barrages

**In Anerkennung des Wirkens von Dr. Rudolf Biedermann
Chef der Sektion Talsperren des Bundesamts für Wasserwirtschaft**

**En hommage à Monsieur Dr. Rudolf Biedermann
Chef de la Section barrages de l'office fédéral de l'économie des eaux**

Herausgegeben vom Schweizerischen Nationalkomitee für Grosse Talsperren
Januar 1997



**"Aucun ouvrage ne demande un soin plus attentif
que celui qui est destiné à résister à l'eau."**

Frontinus

**De Aquaeductu Urbis Romae, § 123
1er Siècle après J.-C.**



INHALT	Seite
HOMMAGE À MONSIEUR DR. RUDOLF BIEDERMANN	4
1. EINLEITUNG	5
2. SICHERHEIT FÜR STAUANLAGEN	8
3. SECURITE DES BARRAGES	15
4. SURVEILLANCE DES RETENUES	19
5. MESSANLAGEN ZUR TALSPERRENÜBERWACHUNG - KONZEPT, ZUVERLÄSSIGKEIT UND REDUNDANZ	25
6. TALSPERRENÜBERWACHUNG IN DER SCHWEIZ UNTER SPEZIELLER BERÜCKSICHTIGUNG DER FRAGE EINER AUTOMATISIERUNG	31
7. INFORMATIK IN DER TALSPERRENÜBERWACHUNG - ERFASSUNG UND VERARBEITUNG VON MESSDATEN	34
8. GEODÄTISCHE MESSUNGEN DER VERFORMUNGEN	37
9. LE RESEAU SYSMIQUE NATIONAL D'ACCELEROGRAPHES	38
10. SAFETY OF SWISS DAMS AGAINST FLOODS	41

LISTE VON VERÖFFENTLICHUNGEN / LISTE DE PUBLICATIONS



HOMMAGE À MONSIEUR DR. RUDOLF BIEDERMANN

"Je suis d'avis que la plus noble vacation et la plus juste, est de servir le public et d'être utile à beaucoup". (Michel de Montaigne - 1580)

En 1980, Monsieur Rudolf Biedermann se voit confier, à l'Office fédéral de l'économie des eaux, la charge de la sécurité des barrages.

Ayant une juste conscience de la responsabilité de l'Etat dans ce domaine - la Suisse a une des plus fortes densité de grands barrages dans le monde, par rapport à sa population - le Dr. R. Biedermann va, en peu d'années, poser le concept de la sécurité de ces ouvrages. Puis, pas à pas, avec réflexion et imagination, il affirmera et développera les volets de son triptyque: "Sécurité structurale - Surveillance - Concept d'urgence".

Ainsi seront publiées des notes essentielles sur les cas de charge et d'exploitation exceptionnels (crues et séismes), les niveaux d'organisation de la surveillance, la mesure spatiale des déformations du barrage et de ses environs, l'automatisation et le traitement informatisé de l'auscultation, la stratégie et la planification face à une menace de la sécurité.

Dans des domaines choisis, tels que le calcul dynamique des barrages, le béton et les crues, il suscitera et appuyera des recherches dans les Ecoles Polytechniques Fédérales.

Mais le Dr. Biedermann est aussi un homme d'action, d'une "vaillance" certaine dans la prise des responsabilités (vertu romaine au sens militaire) faite d'un courage ordonné par la raison. Il le montrera dans le traitement du cas difficile du barrage de Zeuzier: grande voûte endommagée par un mouvement tectonique surprenant, consécutif au percement d'une galerie de reconnaissance pour un futur tunnel autoroutier. Il en fera preuve aussi dans la préparation de textes législatifs concernant la surveillance nécessaire de petits barrages anciens.

Enfin le Dr. Biedermann est un excellent pédagogue, organisant année après année, avec l'appui des ingénieurs de sa Section, des colloques où à ses brillantes contributions s'ajouteront les exposés de nombreux spécialistes qu'il aura encouragés.

Au moment où le Dr. Biedermann quitte sa charge, le Comité national suisse des grands barrages tient à lui exprimer sa très vive reconnaissance en lui souhaitant de grandes satisfactions dans les "riches heures" des occupations et distractions qu'il saura trouver avec bonheur.

Prof. Raymond Lafitte
Président du CNSGB



1. EINLEITUNG

Die vorliegende Sammlung von Aufsätzen zu diversen Themen der Talsperrentechnik stellt eine bearbeitete Auswahl von Beiträgen dar, welche in den Jahren 1980 bis 1996 vom Beauftragten für die Sicherheit der Talsperren, Herrn Dr. Biedermann vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), verfasst wurden, oder in Gruppen unter seiner Mitwirkung entstanden sind. Sie fassen Ideen und Konzepte zusammen, welche in dieser Zeit den Betrieb und soweit noch existent den Bau der Talsperren in der Schweiz geprägt haben.

Gleichsam als roter Faden liegt allen Artikeln die Sicherheitsphilosophie (Kapitel 2, deutschsprachige Fassung und Kapitel 3, französischsprachige Version) zugrunde.

Die Artikel wurden vom Herausgeber redaktionell bearbeitet um Wiederholungen zu vermeiden. Die Beiträge wurden so ausgewählt, dass die Palette der behandelten Themen möglichst umfassend ist.

Für die Verbreitung und Instruktion der beschriebenen Ideen spielten die jährlich durchgeführten Tagungen der Arbeitsgruppe Talsperrenbeobachtung eine wesentliche Rolle. Diese Tagungen wurden von jeweils rund 150-200 Teilnehmern besucht. Anhand eines Grundsatzreferates und einiger Vorträge von erfahrenen Praktikern wurde jeweils eine Übersicht über den aktuellen Wissensstand der betroffenen Fachgebiete vermittelt.

Folgende Themen wurden im Laufe der 16 Jahre behandelt:

Jahr Année	Ort Lieu	Thema Thème	Exkursion Excursion
1981	Sion	Geodätische Deformationsmessungen Mesures géodésiques des déformations de barrages	Zeuzier
1982	Locarno	Automatisierung in der Talsperrenüberwachung L'automatisation dans la surveillance des barrages	Palagnedra
1983	Rapperswil	Talsperrenüberwachung und Unterhalt La surveillance et l'entretien des barrages	Schräh Rempen
1984	Engelberg	Umbau und Reparatur von Talsperren Transformation et assainissement des barrages	Käppelistutz Obermatt
1986	Meiringen	Erneuerung und Ergänzung von Messeinrich- tungen Renouvellement et extension des dispositifs d'auscultation	Räterichs- boden Grimsel
1987	Lugano	Überwachung der Ufer von Stauhaltungen Massenstürze und Rutschungen Surveillance des rives des retenues éboulements et glissements	Malvaglia



Jahr Année	Ort Lieu	Thema Thème	Exkursion Excursion
1988	Flims	Verhalten, Kontrolle und Unterhalt von Beton Comportement, contrôle et entretien du béton	Panix Tavanasa
1989	Lugano	Ablassorgane von Stauanlagen Anforderungen, Einsatzbereitschaft und Umwelt Organes de décharges des retenues exigences, état opérationnel et environnement	Contra Centrale Verbano
1990	Martigny	Verhalten und Überwachung des Talsperren- untergrundes Comportement et surveillance du sous-sol des barrages	Emosson Mauvoisin
1991	Stans	Informatik in der Talsperrenüberwachung L'informatique dans la surveillance des barrages	Pfaffensprung Göscheneralp
1992	Vulpera	Neue Erfahrungen mit ausserordentlichen Be- lastungen (Hochwasser, Erdbeben) Expériences nouvelles dans le domaine des charges extraordinaires (crues, tremblements de terre)	Pradella/ Martina Ova Spin Punt dal Gall
1993	Broc	Geodätische und photogrammetrische Defor- mationsmessung für die Überwachung der Stauanlagen Mesures géodésiques et photogrammétriques des déformations pour la surveillance des ouvrages de retenue	Montsalvens Rossens
1994	Disentis	Verhalten und Überwachung des Talsperren- untergrundes Comportement et surveillance du sous-sol des barrages	Sta. Maria
1995	Sion	Zustandsüberprüfung und Unterhalt der Talsper- ren Contrôle de l'état et entretien des ouvrages d'accu- mulation	Gde Dixence Centrale de Bieudron Cleuson
1996	Locarno	Staumauerbeton Béton de barrage	Luzzone

Die Zurodnung der Tagungsthemen zu den Elementen der Sicherheitsphilosophie kann wie folgt dargestellt werden (Fig. 1.1).

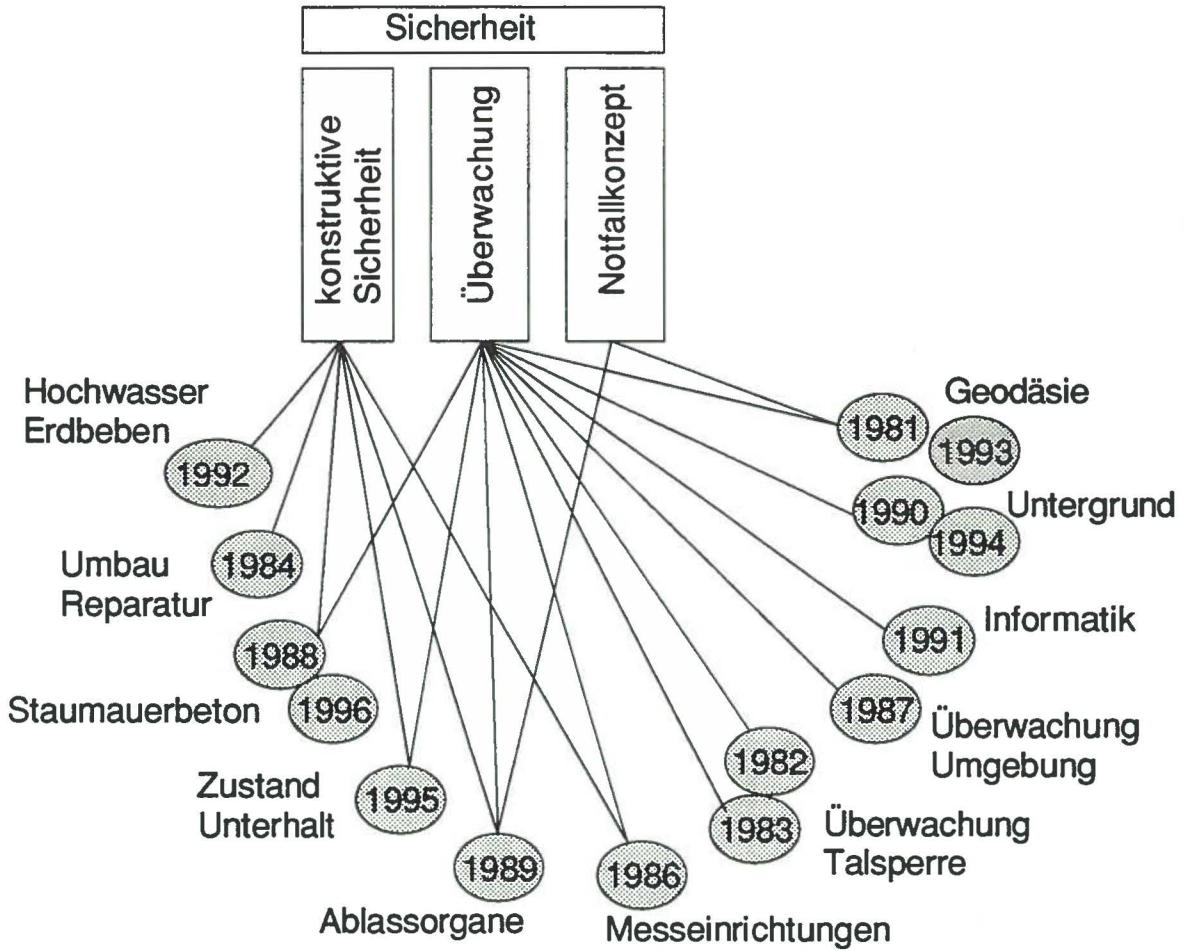


Fig. 1.1: Tagungen Arbeitsgruppe Talsperrenbeobachtung, die Themen und ihre Stellung in der Sicherheitsphilosophie



2. SICHERHEIT FÜR STAUANLAGEN

(Bundesamt für Wasserwirtschaft, 9. Juli 1991)

2.1 Ziel und gesetzliche Grundlage

Stauanlagen sind Bauwerke, die im Bruchfall grosse bis sehr grosse Verluste an Menschenleben und Sachwerten verursachen. Ihre Sicherheit muss deshalb besonders hoch sein. Es ist somit auch nicht verwunderlich, dass diesbezüglich eine Bundesgesetzgebung besteht (Artikel 3bis des Bundesgesetzes über die Wasserbaupolizei), die dem Bund die Oberaufsicht überträgt und von ihm verlangt, dafür zu sorgen, dass bei bestehenden und künftigen Einrichtungen zur Stauhaltung die notwendigen Massnahmen getroffen werden, um die Gefahren und Schäden tunlichst zu vermeiden, die infolge des Bestandes der Einrichtungen, ihres ungenügenden Unterhalts oder durch Kriegshandlungen entstehen könnten. Es muss also ausser den normalen Bedrohungen (Figur 2.2) auch der Fall einer militärischen Einwirkung abgedeckt werden.

Die Oberaufsicht ist gemäss Artikel 1 der zugehörigen Vollziehungsverordnung (der sogenannten Talsperrenverordnung) zwingend bei Anlagen wahrzunehmen, die

- a) mindestens 10 m Stauhöhe über Niederwasser des Gewässers bzw. über Geländehöhe aufweisen

respektive

- b) bei wenigstens 5 m Stauhöhe einen Stauraum von mehr als 50'000 m³ abschliessen.

Sie kann auch auf Anlagen ausgeweitet werden, die diese Abmessungen nicht erreichen oder von einem Wehr abgeschlossen werden, wenn dies im Interesse der öffentlichen Sicherheit angezeigt ist.

Letzteres wäre das angemessenere Unterstellungskriterium als die Festlegung unterer Grenzen, weil letztlich nicht die Grösse der Stauanlage sondern deren Gefahrenpotential massgebend ist. Dieser Ansicht ist heute auch der Bundesrat. Er hat deshalb mit Kreisschreiben vom 12. August 1987 den kantonalen Regierungen angekündigt, die Talsperrenverordnung entsprechend revidieren zu wollen. Mit dieser Revision wird sich die Zahl der unterstellten Talsperren von derzeit 201 auf mehrere hundert erhöhen.

2.2 Begriff Stauanlage

Unter Stauanlagen versteht man normalerweise Anlagen, die Wasser zurückhalten, d.h. aufstauen. Dies ist aber zu einschränkend, weil eine vergleichbare Gefährdung auch bei Anlagen bestehen kann, die Geschiebe, Lawinenschnee oder Eistrieb zurückhalten sollen. Diese weiter gefasste Auslegung ist bereits seit längerem geläufige Unterstellungspraxis.

2.3 Sicherheitskonzept

Die Gewährleistung der angestrebten hohen Sicherheit verlangt vorerst einmal, dass das Absperrbauwerk, d.h. die Talsperre für alle möglichen Last- und Betriebsfälle korrekt bemessen wird (Anforderung 1). Damit wird das Sicherheitsrisiko optimal minimiert (Figur 2.1).

Ganz ausschalten kann man es aber nicht. Es muss deshalb durch zusätzliche Massnahmen dafür gesorgt werden, dass das verbleibende Restrisiko bestmöglich beherrscht werden kann (Anforderung 2). Dies verlangt zielkonforme Kontrollen und Notfallvorkehrungen: zielkonforme Kontrollen im Hinblick auf ein frühestmögliches Erkennen einer Gefährdung, Notfallvorkehrungen im Hinblick auf eine sach- und zeitgerechte Beherrschung einer erkannten Gefährdung.

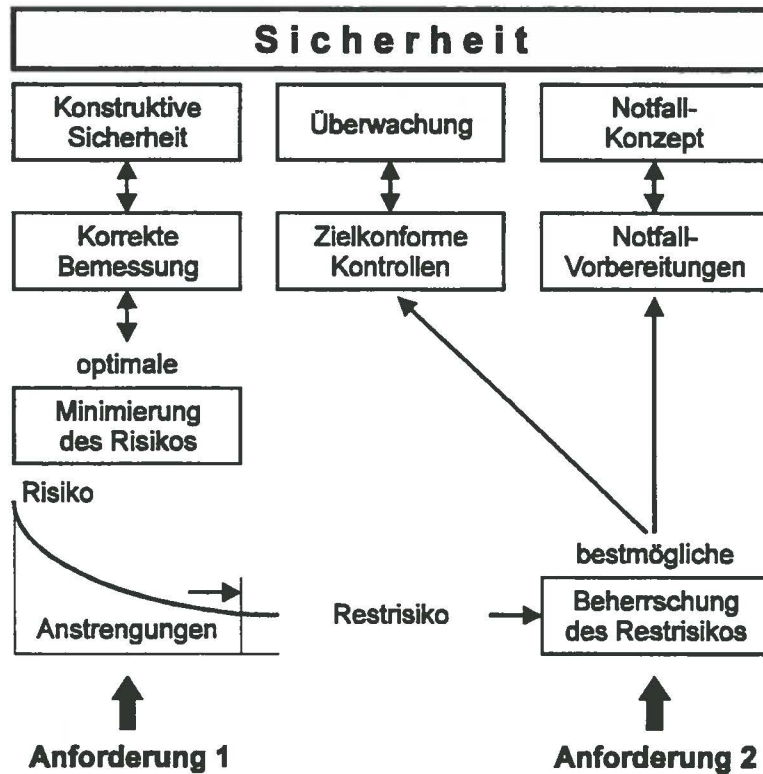


Fig. 2.1: Sicherheitskonzept für Talsperren, Concept de sécurité pour les barrages

Es zeigt sich somit, dass die Sicherheit einer Stauanlage dann bestmöglich und somit gesetzeskonform gewährleistet ist, wenn sie auf 3 Säulen abgestützt wird:

- die konstruktive Sicherheit (korrekte Bemessung)
- die Ueberwachung (zielkonforme Kontrollen)
- das Notfallkonzept (zweckmässige Notfallvorkehrungen)

2.4 Konstruktive Sicherheit

Im Betrieb ist eine Talsperre vorerst einmal ordentlichen Belastungen ausgesetzt, und zwar auch, wenn das Becken leer ist, besonders aber dann, wenn es seine Funktion erfüllt. Ausnahmsweise (aber jederzeit möglich) kann sie auch ausserordentlichen Last- und Betriebsfällen unterworfen werden.

Die sichere Beherrschung der ordentlichen Belastungen infolge Wasser-, Erd-, Schnee- oder Eisdruck, Eigengewicht und Auftrieb (respektive Porenwasserspannungen bei geschütteten



Dämmen) bereitet dem erfahrenen Ingenieur keine besonderen Probleme. Wichtig ist jedoch, dass die Sicherheitszuschläge korrekt, d.h. abgestimmt auf das Risiko und die Zuverlässigkeit der Bemessungsmethodik gewählt werden.

Schwieriger ist es, die ausserordentlichen Last- und Betriebsfälle Hochwasser, Erdbeben und rasche Absenkung (nur bei Dämmen relevant), zu beherrschen. Ganz besonders gilt dies für Hochwässer und Erdbeben, weil die Standsicherheit für die am Standort grösstmöglichen Ereignisse gewährleistet sein muss und deren Abschätzung grosse Probleme stellt. Würde auf kleinere Ereignisse bemessen, müsste bei Überschreitung des gewählten Grenzwerts mit einem Bruch gerechnet werden. Extremste Ereignisse müssen allerdings nicht schadenfrei überstanden werden. Die Schäden dürfen sogar massiv sein. Wichtig ist einzig, dass die Standsicherheit selbst bei Vollstau noch erhalten bleibt.

Demgegenüber wird Schadenfreiheit bei einem niedrigeren Ereigniswert verlangt. Bezüglich Hochwässern ist dies das 1000-jährliche Ereignis, bezüglich Erdbeben das 400-jährliche (gemäss SIA-Norm 160). Es gelten somit zwei Bemessungskriterien, wobei letztlich das ungünstigere massgebend ist.

Bei der Ausgestaltung der Hochwasserentlastungsanlage ist darauf zu achten, dass sie nicht verstopfen kann. Besonders gefährdet sind Dämme, weil ein Ueberströmen der Krone praktisch unweigerlich zum Bruch führen würde.

Vorsicht ist auch bezüglich der Bepflanzung von Dämmen geboten. Das Wurzelwerk von Bäumen und Sträuchern bildet Schwachstellen, weil Wurzeln Sickerwege fördern können. Soll ein Damm mit mehr als Gras bepflanzt werden, sind zweckmässige Schutzmassnahmen erforderlich (Ueberprofil, Einbau von Elementen, die für Wurzeln undurchdringlich sind).

2.5 Ueberwachung

Die Ueberwachung hat sicherzustellen, dass frühzeitig ein Schaden, ein konstruktiver Mangel oder eine Bedrohung der Sicherheit, d.h. ein ausserordentliches Ereignis erkannt werden kann, um zeit- und sachgerecht handeln zu können (Unterhalt, Umbau, Massnahmen zur Beherrschung der Bedrohung - Figur 2.2). Je frühzeitiger insbesondere ein ausserordentliches Ereignis erkannt werden kann, umso geringer wird die vorübergehende Sicherheitseinbusse sein.

Die Zielerfüllung erfordert einerseits regelmässige Zustands- und Verhaltenskontrollen und andererseits periodische Sicherheitsüberprüfungen (Figur 2.3). Dabei ist nicht nur die Talsperre zu kontrollieren, sondern auch deren Untergrund und Umgebung, weil Talsperre und Untergrund eine Einheit bilden und eine Bedrohung der Sicherheit auch von der Umgebung her möglich ist (Hangrutschung oder Massesturz in den Stausee, ausserordentliche Geländevertiefung z.B. als Folge einer Veränderung der Grundwasserverhältnisse). Neue talseitige Quellen oder eine erhöhte Quellschüttung können analog wie erhöhte Auftriebsdrücke auf eine Gefahr in der Foundation aufmerksam machen.

Bedrohung Schutz- Massnahme	Bedrohung					
	Verhaltens- Anomalie	Hangrutschung Massesturz	Hochwasser	Erdbeben	Sabotage	Militärische Einwirkung
Sanierungs- arbeiten	●	(ev.)				
Partielle Absenkung		●				○
Totale Absenkung	(2)					
Vorsorgliche Evakuierung	(3)	(2)	●			
Evakuierung im Nachhinein		(2)		●	●	●

Fig. 2.2: Mögliche Bedrohungen und verfügbare Schutzmassnahmen im Bedrohungsfall, menaces possibles et mesures de protection disponibles en cas de menace

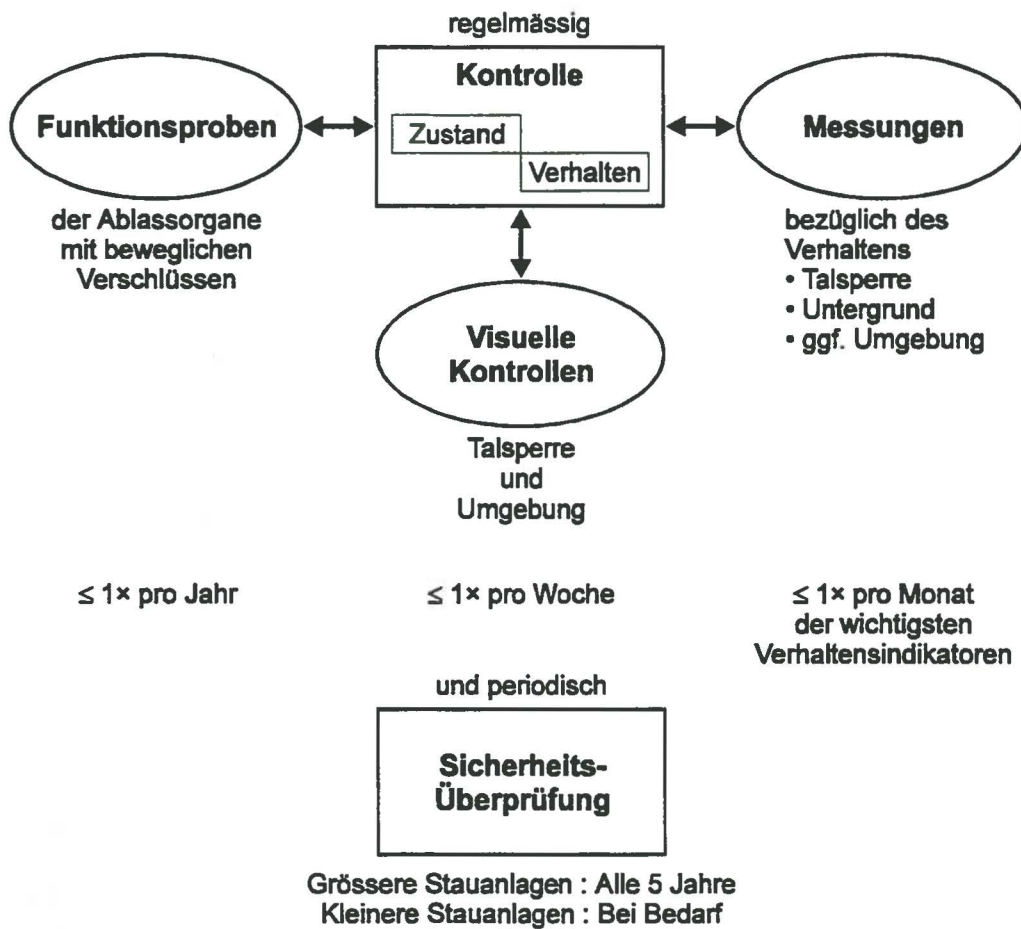


Fig. 2.3: Überwachungskonzept, Surveillance des barrages

Viele, aber lange nicht alle Anzeichen einer Gefährdung können durch Messungen erfasst werden. Es braucht deshalb ergänzend visuelle Kontrollen. Schliesslich muss die Funktionsfähigkeit der Ablassorgane mit beweglichen Verschlüssen regelmässig überprüft werden (sogenannte Funktionsproben), weil sowohl die Beherrschung von Hochwässern als auch eine vorsorgliche Absenkung (Figur 2.2) den gesicherten Einsatz dieser Organe erfordern.

Bezüglich der messtechnischen Überwachung werden Systeme angestrebt, die die Verformung längs Linien und dreidimensional, die Durchsickerung sektoriell und den Auftrieb resp. die Porenwasserdrücke räumlich zu erfassen erlauben (Figur 2.4).

Erfahrungsgemäss genügt es, wenn die visuellen Kontrollen wöchentlich, die wichtigsten Messungen monatlich, die Funktionsprobe wenigstens einmal jährlich und die Sicherheitsüberprüfung alle 5 Jahre vorgenommen werden. Damit kann das gesetzte Ziel erreicht werden, wenn zusätzlich dafür gesorgt ist, dass die Kontrollergebnisse unverzüglich und sachkundig beurteilt werden.

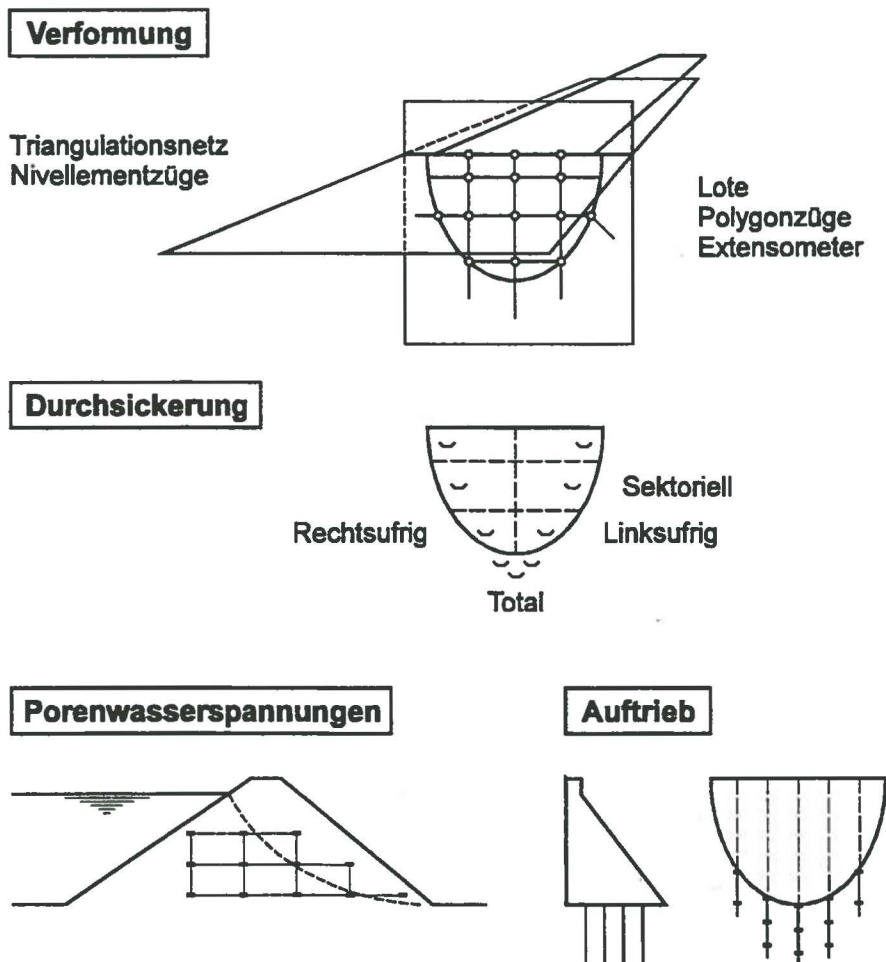


Fig. 2.4: Messkonzept, Concept de mesures

Um all diese Aufgaben zielkonform erfüllen zu können, braucht es eine Überwachungsorganisation, und zwar eine Organisation, die den Eigentumsverhältnissen, der begrenzten Anzahl Talsperrenspezialisten und schliesslich dem Umstand Rechnung trägt, dass Menschen nicht fehlerfrei sind und etwas übersehen können. Sie ist deshalb grundsätzlich vierstufig gegliedert:



1. Stufe: Werkeigentümer mit seinen Talsperrenwärtern
2. Stufe: (im Talsperrenbau) erfahrener Bauingenieur
3. Stufe: Experten (Bauingenieur und Geologe)
4. Stufe: Fachstelle der Oberaufsichtsbehörde

Bei kleineren Stauanlagen wird aus Gründen der Verhältnismässigkeit auf die 3. Stufe verzichtet.

Besondere Vorkehrungen sind für den Hochwasser- und den Erdbebenfall getroffen. Im Hochwasserfall hat der Werkeigentümer die Talsperre ab einem festgelegten Zustand bezüglich Wasserstand und dessen Steiggeschwindigkeit zu bemannen und laufend zu überwachen. Im Erdbebenfall werden die betroffenen Werkeigentümer von der Fachstelle der Oberaufsichtsbehörde zur Vornahme einer ausserordentlichen Kontrolle aufgefordert, wobei ihnen gleichzeitig der Umfang der Kontrolle mitgeteilt wird. Die hierzu notwendigen Informationen erhält sie routinemässig vom Schweizerischen Erdbebendienst, wenn die Erdbebenstärke am Standort von Talsperren einen festgelegten Schwellenwert überschreitet (Magnitude 3).

2.6 Notfallkonzept

Für den Fall, dass eine Bedrohung der Sicherheit erkannt wird, ist es wichtig, dass nicht improvisiert werden muss, sondern alle Vorbereitungen getroffen sind, um die Gefahr sach- und zeitgerecht beherrschen zu können. Sie umfassen einerseits eine Strategie und andererseits planerische, materielle und organisatorische Vorbereitungen.

Die Strategie unterscheidet drei Gefahrenstufen und ordnet ihnen Massnahmen zu (Figur 2.5). Von zentraler Bedeutung ist somit die Lagebeurteilung, weil sie darüber Auskunft zu geben hat, in welcher Gefahrenstufe man sich befindet. Sie ist folglich ab dem Erkennen einer Gefahr sicherzustellen, und zwar durch einen Talsperrenspezialisten. Eine Ausnahme macht der Hochwasserfall, weil der Spezialist wegen des raschen Ereignisablaufs nicht rechtzeitig beigezogen werden kann. Für diesen Fall sind Kriterien ausgearbeitet, die die Gefahrenstufen in Abhängigkeit des Wasserstands und dessen Steiggeschwindigkeit festlegen und vom Talsperrenwärter angewendet werden können.

Die planerischen, materiellen und organisatorischen Vorbereitungen umfassen einerseits alle Grundlagen, die der Talsperrenspezialist für die Lagebeurteilung benötigt, und andererseits das Wasseralarmsystem, mit dessen Hilfe die Evakuierung ausgelöst wird. Normalerweise ist für die Alarmierung in Ortschaften die Verwendung von Sirenen eingeplant (Figur 2.6). Bei kleinen Stauhaltungen und demzufolge kleinen Ueberflutungsgebieten kann die Evakuierung gegebenenfalls auch mittels mobiler Alarmierungsequipen sichergestellt werden, wie dies ausserhalb von Ortschaften ohnehin nötig ist.

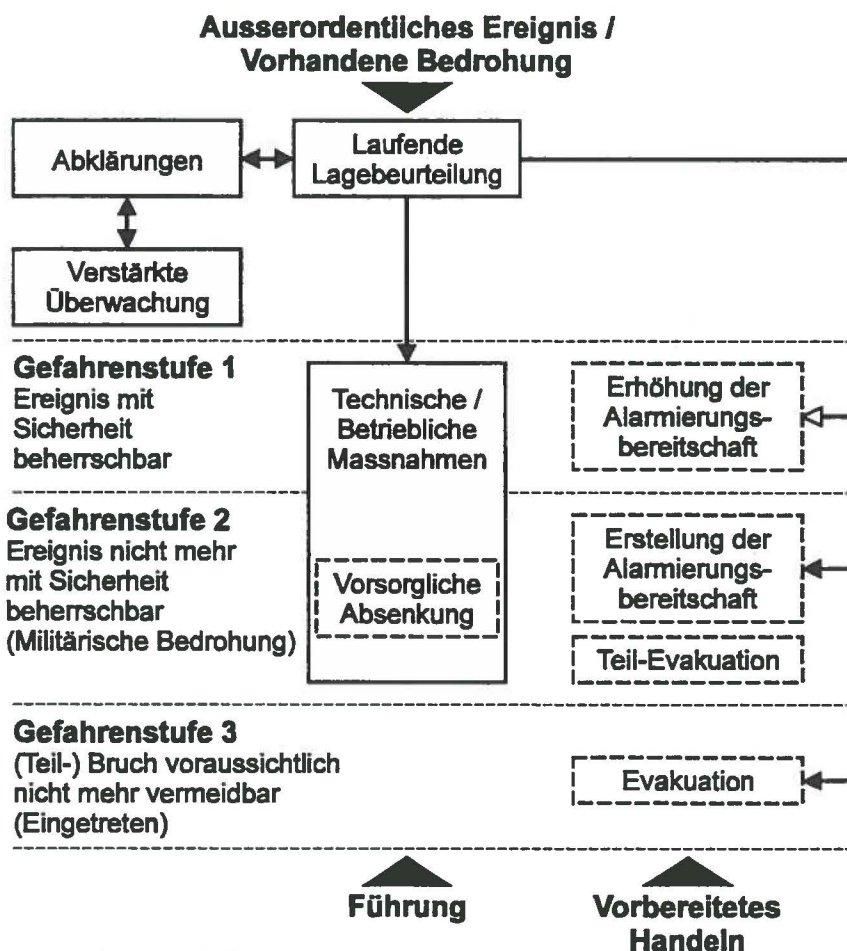


Fig. 2.5 Notfallstrategie, stratégie d'urgence

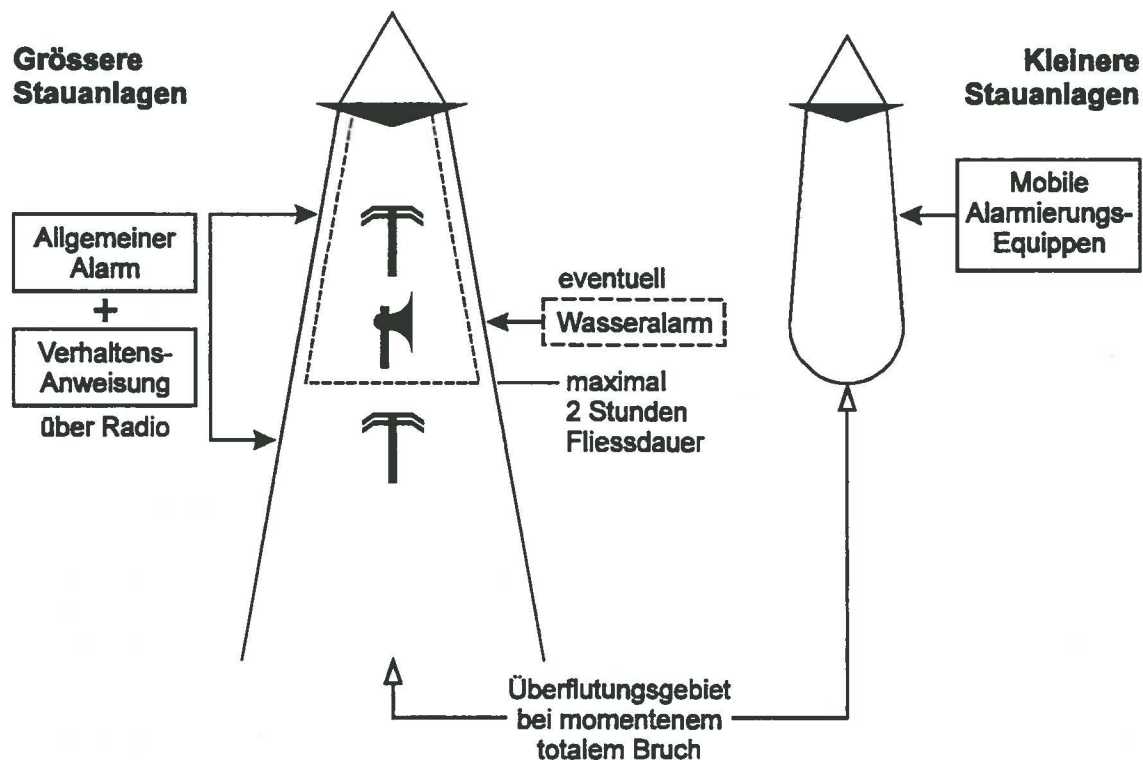


Fig. 2.6 Wasseralarm, Alarme d'eau



3. SECURITE DES BARRAGES

Office fédéral de l'économie des eaux, 9 juillet 1991

3.1 Objectif et bases légales

Les barrages sont des ouvrages qui peuvent entraîner en cas de rupture de lourdes, voire de très lourdes, pertes en vie humaines et matérielles. De ce fait, leur sécurité doit être très élevée. Il n'est dès lors pas étonnant qu'il existe dans ce domaine une législation fédérale (Article 3bis de la loi fédérale sur la police des eaux), qui confère à la Confédération le rôle d'autorité de haute surveillance et qui exige qu'elle veille à ce que, pour les ouvrages de retenues actuels ou futurs, les mesures nécessaires soient prises pour prévenir le plus possible les dangers et les dommages qui pourraient résulter de leur mode de construction, de leur entretien insuffisant ou de faits de guerre. Ainsi, à l'instar des dangers normaux (Fig. 2.2), les faits de guerre doivent également être pris en considération.

Selon l'article 1 du règlement d'exécution qui lui est rattaché (c'est-à-dire le règlement concernant les barrages), l'autorité de haute surveillance doit impérativement soumettre

- a) les barrages dont la hauteur de retenue au-dessus du niveau d'étiage du cours d'eau ou du niveau du thalweg est de 10 m au moins, ou
- b) si cette hauteur est de 5 m au moins, ceux dont la retenue est supérieure à 50'000 m³.

Des ouvrages n'atteignant pas ces dimensions et des barrages en rivière peuvent également être soumis au règlement lorsque la sécurité publique est en jeu.

Ce dernier mode d'appréciation serait le critère de soumission le plus adéquat, car ce n'est pas la grandeur d'une retenue, mais son danger potentiel qui est déterminant. Cette façon de voir est aussi celle du Conseil fédéral. Il a dans ce sens informé les autorités cantonales par lettre circulaire du 12 août 1987 que le règlement concernant les barrages serait révisé. Avec cette révision, le nombre de barrages soumis, actuellement de 201, sera de l'ordre de plusieurs centaines.

3.2 Notion de barrage

Lorsque l'on parle de barrage, on pense normalement à un ouvrage devant permettre de stocker de l'eau ou à surélever le plan d'eau d'une rivière. Cette définition est nettement trop restrictive, car le même danger peut aussi provenir d'ouvrages de retenue des sédiments, de protection contre les avalanches ou le charriage de glaces. Cette autre interprétation fait depuis longtemps partie intégrante de la pratique de soumission.

3.3 Concept de sécurité

Pour garantir le degré de sécurité élevé voulu, il est en tout premier lieu nécessaire que l'ouvrage de retenue, c'est-à-dire le barrage, soit correctement dimensionné pour tous les cas de charges et d'exploitation (Condition 1) en vue de minimaliser de façon optimale le risque (Fig. 2.1). L'élimination totale du risque n'étant pas du tout possible, c'est pourquoi des mesures complémentaires doivent être envisagées afin de maîtriser le mieux possible le risque résiduel (Condition 2). Ceci exige d'une part des contrôles adaptés et d'autre part des préparatifs pour le cas d'urgence: des contrôles adaptés dans le but de mettre en évidence



une menace le plus rapidement possible, des préparatifs pour le cas d'urgence afin de pouvoir agir de manière prompte et appropriée face à une menace reconnue.

Par conséquent, la sécurité d'un barrage peut être garantie de la façon la meilleure et en accord avec la législation si elle s'appuie sur 3 piliers:

- la sécurité structurale (dimensionnement correct)
- la surveillance (contrôles adaptés)
- un concept d'urgence (préparatifs appropriés pour cas d'urgence)

3.4 Sécurité structurale

Un barrage en exploitation est tout d'abord soumis à des charges normales, même à lac vide, mais surtout lorsqu'il remplit sa fonction. Parfois, il peut être soumis à des charges et des cas d'exploitation exceptionnels.

La maîtrise sûre des charges normales dues à la poussée de l'eau, à la neige ou à la glace, au poids propre et aux sous-pressions (ou, dans le cas des digues, aux pressions intersticielles) ne présente pas de problèmes particuliers à l'ingénieur expérimenté. Il est pourtant important que la marge de sécurité soit correctement choisie, c'est-à-dire en accord avec le risque et la fiabilité de la méthode de dimensionnement.

Par contre, il est plus difficile d'appréhender les cas de charges et d'exploitation exceptionnels, c'est-à-dire la crue, le tremblement de terre et l'abaissement rapide (important seulement pour les digues). C'est tout particulièrement valable pour les cas de crue et de tremblement de terre, car la sécurité doit être garantie au site de l'ouvrage pour les plus grands événements possibles dont l'évaluation n'est pas facile. Si le dimensionnement se basait sur des événements de moindre importance, on devrait s'attendre à des ruptures en cas de dépassement des valeurs limites choisies. Dans les cas extrêmes, des dégâts peuvent être tolérés. Ils peuvent être même importants, pour autant que la stabilité de l'ouvrage à lac plein ne soit pas mise en question. D'autre part, pour les événements de moindre importance, on ne tolère aucun dégât. En ce qui concerne les crues, il s'agit de la crue millénaire, en ce qui concerne les tremblements de terre du séisme de 400 ans de récurrence (selon la norme SIA 160). Il y a donc 2 critères de dimensionnement, dont le plus critique est finalement déterminant.

Lors de la conception des organes d'évacuation des crues, on doit prendre garde au problème du risque d'obstruction. Les digues sont particulièrement sensibles, car un déversement par dessus le couronnement conduit irrémédiablement à une rupture.

Une attention particulière est à apporter à la végétation sur les digues. Les racines des arbres et des buissons forment des zones de faiblesse, car les racines peuvent créer des chemins de percolation préférentiels. Si l'on prévoit plus qu'un engazonnement, il est indispensable de prendre des mesures de protection (sur-profil, mise en place d'éléments inattaquables par les racines).

3.5 Surveillance

La surveillance doit garantir qu'un dégât, un défaut ou une menace de la sécurité, c'est-à-dire un événement extraordinaire, puisse être détecté le plus tôt possible et, par conséquent, que



les mesures appropriées puissent être prises en temps utiles (entretien, transformation, mesures pour maîtriser une menace - Fig. 2.2). Plus rapidement un événement extraordinaire est mis en évidence, plus faible sera la réduction de la sécurité.

Pour atteindre ce but, il faut d'une part des contrôles réguliers de l'état et du comportement du barrage et d'autre part des examens périodiques de la sécurité (Fig. 2.3). On contrôlera non seulement le barrage, mais aussi ses fondations et ses environs, car le barrage et ses fondations constituent un tout et, par ailleurs, une menace peut aussi survenir dans les environs (glissement de terrain ou de masse dans la retenue, déformations exceptionnelles du terrain, par exemple suite à la modification des conditions hydrogéologiques). L'apparition de nouvelles sources à l'aval, l'augmentation des débits des venues d'eau, comme un accroissement des sous-pressions peuvent indiquer un danger au niveau des fondations.

De nombreux indices de menace, mais pas tous, peuvent être détectés par des mesures. Il est donc nécessaire de recourir aussi à des contrôles visuels. Enfin, l'aptitude au service des organes mobiles de décharge doit aussi faire l'objet de contrôles (dits essais de fonctionnement), car tant la maîtrise des crues que l'abaissement préventif d'une retenue exigent une mise en fonction sûre de ces organes.

En ce qui concerne la technique des mesures, les dispositifs doivent être conçus de telle façon qu'ils permettent de mesurer des déformations le long de lignes et de façon tridimensionnelle, les venues d'eau sectoriellement et les sous-pressions ou les pressions interstitielles de manière spatiale (Fig. 2.4).

Selon l'expérience, il est suffisant de procéder à des contrôles visuels une fois par semaine, aux mesures des paramètres essentiels une fois par mois, à des essais de fonctionnement au moins une fois par année et à l'examen de la sécurité tous les 5 ans. De cette façon, le but fixé peut être atteint, si par ailleurs l'on procède à une analyse adéquate des résultats sans retard.

Pour pouvoir remplir toutes ces tâches, une organisation de surveillance doit être mise sur pied en s'adaptant à la structure des sociétés des propriétaires, au nombre restreint de spécialistes en barrages et finalement en tenant compte du fait que les hommes ne sont pas infaillibles et que quelque chose peut leur échapper. Fondamentalement, elle comprend 4 niveaux:

- 1er niveau: le propriétaire et ses gardiens de barrage
- 2e niveau: un ingénieur expérimenté (dans le domaine des barrages)
- 3e niveau: les experts (ingénieur civil et géologue)
- 4e niveau: le service de l'autorité de haute surveillance -

Pour des raisons d'importance relative, on renonce au 3e niveau dans le cas des petites retenues.

Des dispositions particulières sont prises pour les cas de crue et de tremblement de terre. Dans le cas de crue, le propriétaire doit à partir d'un certain niveau et d'une vitesse de montée du plan d'eau prévoir la présence de son personnel au barrage et assurer une surveillance permanente. Dans le cas de tremblement de terre, les propriétaires concernés sont avertis par le service de l'autorité de haute surveillance qui leur demande de procéder à un contrôle



extraordinaire et lui indique en même temps le programme des mesures à effectuer. Il appartient au Service sismologique suisse d'informer quand un tremblement de terre dépasse au droit du site du barrage une valeur limite (magnitude 3).

3.6 Concept d'urgence

Dans le cas où une menace de la sécurité est mise en évidence, l'improvisation n'est pas de mise; il est donc important que toutes les mesures soient prises pour maîtriser de manière prompte et appropriée le danger. Elles comprennent d'une part une stratégie et d'autre part des préparatifs au niveau de la planification, du matériel et de l'organisation.

La stratégie distingue 3 niveaux de danger avec des mesures correspondantes (Fig. 2.5). L'analyse de la situation revêt donc une importance particulière, car elle fournit les renseignements qui permettent de définir le niveau de danger dans lequel on se trouve. Par conséquent, dès qu'un danger est reconnu, l'analyse doit être assurée par un spécialiste en barrage. Le cas de crue fait exception, car en raison de la vitesse du développement de l'événement, le spécialiste n'a pas la possibilité d'intervenir rapidement. Pour ce cas, des critères sont établis qui définissent les différents niveaux de danger en fonction du niveau du plan d'eau et de sa vitesse de montée; ces critères peuvent être appliqués par le gardien du barrage.

Les préparatifs au niveau de la planification, du matériel et de l'organisation comprennent d'une part tous les éléments permettant aux spécialistes d'analyser la situation, et d'autre part le système alarme-eau pour faciliter le cas échéant l'évacuation. Normalement, il est prévu d'avertir la population au moyen de sirènes (Fig. 2.6). Pour les petits aménagements, c'est-à-dire pour les zones d'inondations de faible étendue, l'alarme peut également être assurée par des équipes mobiles, équipes qui sont de toute façon nécessaires pour l'évacuation en dehors des localités.

4. SURVEILLANCE DES RETENUES

CNSGB, Mesures de déformations géodésiques pour la surveillance des ouvrages de retenue, wel 9/1993, p. 184-195, français und deutschsprachig

4.1 Généralités

La surveillance fait partie du concept de sécurité.

Comme des menaces peuvent avoir des origines distinctes, on a recours à différentes méthodes pour mettre en évidence tout danger potentiel. Elles font appel tant aux **contrôles visuels** qu'aux **essais de fonctionnement des vannes**, aux **mesures des paramètres de comportement**, ainsi qu'à **l'examen de la sécurité structurale**. La fréquence des mesures doit aussi être fixée de manière adéquate et va, le cas échéant, de la mesure quotidienne (saisie des paramètres de comportement les plus importants) jusqu'à une cadence de 5 ans (examen de la sécurité).

Si, lors de la surveillance, une menace devait être mise en évidence, il s'agit de mettre en oeuvre le plus rapidement possible les mesures adéquates pour maîtriser l'événement. Pour cela, la cause doit être connue, car il n'est pas possible d'agir de manière prompte et appropriée sans en avoir une bonne connaissance. Il est aussi important de savoir face auquel des 3 niveaux distincts de danger on se trouve (figure 4.1), car des menaces de degré plus élevé exigent des mesures particulières, comme l'abaissement partiel ou total de la retenue, la mise en place de l'état d'alerte du système alarme-eau ou - comme tout dernier recours - l'évacuation de la population menacée.

Si un comportement anormal est constaté, il est essentiel de disposer de résultats de mesure en vue de rechercher l'origine de la menace d'une part et de procéder à l'analyse permanente de la situation d'autre part; ces éléments doivent être disponibles en plus grand nombre que ceux nécessaires pour la seule détection d'une anomalie. Par conséquent, le dispositif d'auscultation doit être conçu de manière adéquate. D'une part, il doit englober tout système de mesure qui permette de saisir les paramètres représentatifs du comportement de façon simple mais toutefois fiable. D'autre part, suffisamment de données complémentaires doivent pouvoir être rassemblées afin que le comportement du barrage, de ses appuis et de ses environs puissent être analysés de manière détaillée.

Pour le suivi régulier des déformations d'un barrage, il est suffisant de connaître les déplacements radiaux en un ou plusieurs points au niveau du couronnement. Par contre, lors de l'analyse d'un comportement anormal, il est de plus utile de connaître une ou plusieurs déformées. Ceci implique de placer les stations de mesure à plusieurs niveaux. Si un éventuel déplacement (radial, tangentiel), un basculement ou un tassement du barrage, de même que des déformations dans ses environs devaient être mis en évidence, il est essentiel de disposer d'un dispositif de mesure spatial, tel qu'il est représenté dans la partie supérieure de la figure 2.4.

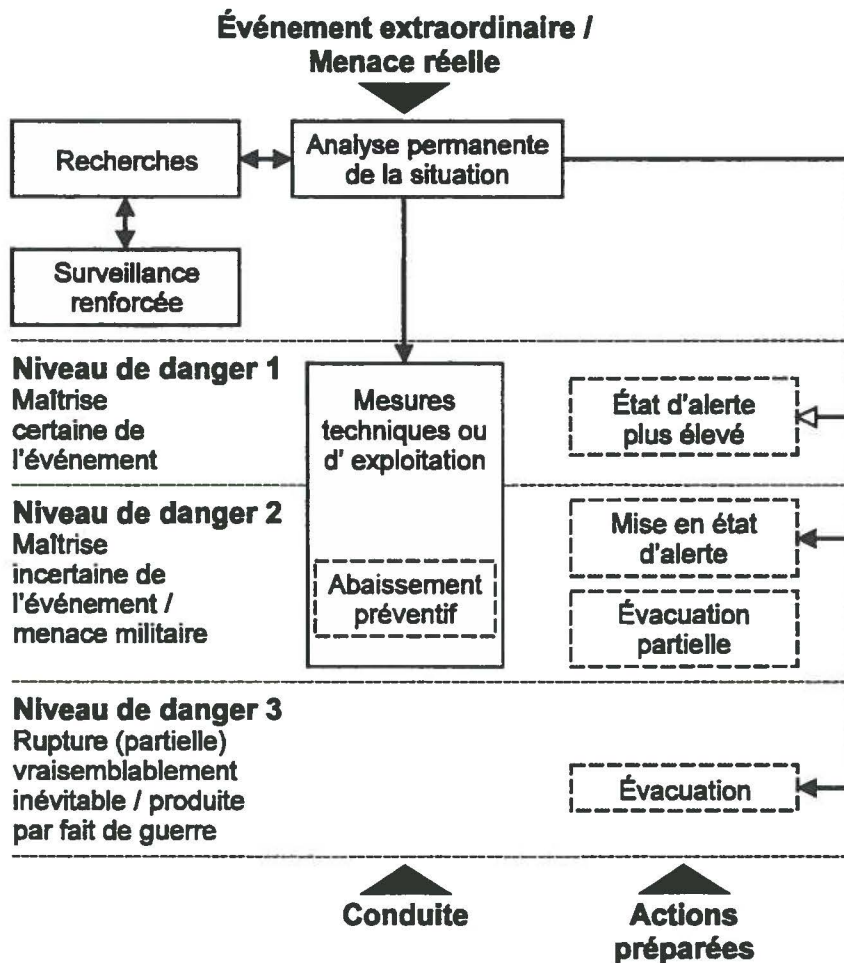


Fig. 4.1 Niveaux de dangers et leur traitement lors du déclenchement d'un événement extraordinaire, Gefahrenstufen und ihre Behandlung bei Eintritt eines ausserordentlichen Ereignisses

La même philosophie est valable pour la percolation. Pour la surveillance permanente de son évolution, la connaissance du débit total des infiltrations, englobant aussi toutes les eaux éventuelles de drainage, est suffisante. Si l'on devait constater une variation inhabituelle de ce total, les eaux de drainage doivent pouvoir être mesurées de façon individuelle et les infiltrations de façon sectorielle. De cette seule manière, il est possible de localiser la modification du débit.

L'observation des pressions interstitielles ne s'inscrit pas dans ce schéma. Comme ces pressions dépendent fortement des conditions locales, il n'y a pas de paramètre représentatif. En conséquence, toutes les mesures doivent être effectuées dans le cadre de la surveillance permanente.

Le dispositif d'auscultation d'un barrage doit donc être conçu comme l'indique schématiquement la figure 2.4. Les sources à l'aval donnent aussi des informations importantes. Elles doivent par conséquent être englobées dans le concept de mesure de même que les valeurs relatives aux charges. Enfin, les pentes, les zones rocheuses et les langues de glaciers instables, qui pourraient glisser dans la retenue, doivent également être surveillées par des moyens adéquats.

Si, au niveau du dispositif d'auscultation, l'on doit faire une nette distinction entre l'installation prévue pour la surveillance permanente et celle nécessaire pour l'explication de l'origine d'une anomalie constatée, cela ne signifie pas que cette dernière ne doit pas être utilisée tant que le barrage se comporte normalement. Une telle attitude serait erronée pour deux raisons. Premièrement, dans le cas d'un comportement anormal constaté (ou supposé), il faut pouvoir faire des recoupements avec le comportement normal qui prévalait antérieurement. Ceci fixe la périodicité de toutes les mesures disponibles (soit au moins 1 fois tous les 5 ans). Deuxièmement, il serait regrettable d'ignorer l'ensemble des données qui peuvent être saisies. Elles permettent une analyse plus détaillée du comportement, à effectuer périodiquement, c'est-à-dire pour le moins à l'occasion de chaque expertise quinquennale.

4.2 Surveillance des déformations du barrage, de ses fondations et ces environs

Comme la géodésie permet de déterminer la position et l'altitude de points et ceci dans un système de coordonnées défini, elle peut donc être employée pour la surveillance des déformations d'ouvrages ou de zones de terrains. En particulier, grâce à son aide, il est possible de mettre en place des dispositifs de mesure à deux ou trois dimensions, qui augmentent fortement l'efficacité de la surveillance, en apportant de plus des redondances bienvenues. On est donc bien inspiré d'utiliser les possibilités offertes par la géodésie. Parfois, ceci devient même indispensable, surtout lorsque l'installation d'un système de mesure mécanique ne peut pas être mis en place ou entraîne des frais considérables, comme par exemple dans le cas de digues ou de barrages en béton sans galeries ni puits. Toutefois, atteindre une précision acceptable implique des frais élevés et une grande expérience. Les mesures de précision ne peuvent pas (en règle générale) être exécutées par le personnel du propriétaire. Elles sont par conséquent difficiles à intégrer aux mesures qui doivent être régulièrement exécutées, comme celles prévues dans le cadre de la surveillance permanente. Toutefois, s'il n'existe pas d'autres possibilités, il est indispensable d'accepter ce corollaire et d'effectuer les mesures importantes au moins une fois par mois quel qu'en soit leur coût.

La conception optimale pour le suivi des déformations est réalisée si le dispositif de mesure est composé d'un réseau dans le plan du barrage (réseau interne) et d'un réseau plus ou moins horizontal au niveau du couronnement (réseau extérieur), des points étant communs aux deux réseaux. Si la position et l'altitude des points communs sont déterminées à partir des points fixes appartenant au réseau extérieur, on dispose ainsi d'un système spatial. Par conséquent, on obtient des valeurs absolues des positions et de l'altitude des points du barrage tant que les points fixes restent stables. Ceci permet de déterminer non seulement les déformations, mais aussi le déplacement et la rotation du barrage, de même que les modifications altimétriques absolues. Enfin, le dispositif de mesure extérieur permet de contrôler si les environs sont stables ou s'ils subissent de quelconques déformations.

La solution la plus élégante pour le système interne consiste en des lignes de mesure perpendiculaires, définies par des pendules dans le sens vertical et par de polygonales dans le plan horizontal. C'est dû au fait que les pendules sont particulièrement bien adaptés à une surveillance permanente. En outre, les mesures sont fiables et peuvent être exécutées par le personnel du propriétaire. De plus, la mesure ne devient inexécutable qu'au moment où le barrage ne peut plus être atteint même par hélicoptère. Le cas échéant, on peut également recourir à une saisie et transmission automatiques des données. Si quelques lignes de mesure sont prolongées en profondeur dans le soubassement et les appuis, c'est-à-dire dans des zones où les déformations sont insignifiantes, le système interne donne des valeurs quasi-absolues. Dans la mesure du possible, cette disposition est à envisager car ni les mesures de triangulation, ni le nivellement ne peuvent être effectués en hiver avec sûreté. Aujourd'hui, pratiquement tous les grands ouvrages en béton sont équipés de cette façon.



Dans le cas où les déformations des blocs, non équipés de pendules, d'un barrage-poids (d'une certaine longueur) doivent être régulièrement suivies, la polygonale peut être remplacée dans la galerie supérieure par un alignement par fil (et complété par un nivellement). La mesure des points dans le barrage (au moins un par bloc) peut dans ces conditions être effectuée par le personnel du propriétaire de manière aussi fréquente que la mesure des pendules.

La solution avec pendule et polygonale (ou alignement par fil) n'est envisageable que pour les barrages équipés de galeries et de puits, c'est-à-dire en règle générale de grands ouvrages en béton. En l'absence de galeries et de puits, comme c'est le cas pour les digues et pour la plupart des petits ouvrages en béton, le concept doit être modifié, en ce sens que les points de la grille du système interne doivent être placés sur le parement aval et seront mesurés à partir du réseau extérieur. Cette façon de faire est valable, en ce qui concerne le suivi du comportement des déformations de la structure et des environs. Par contre, on n'obtiendra pas d'informations relatives au comportement du soubassement. De plus, la mesure hivernale du réseau interne n'est pas très favorable. C'est justement pour ce type de système que le recours aux mesures par satellites (GPS) pourrait éventuellement rendre service. Enfin, la surveillance permanente est rendue plus difficile, car il n'existe pas d'instrument de mesure comparable au pendule. L'alignement par fil constitue la seule exception; il peut être placé dans le parapet d'un barrage-poids rectiligne, comme par exemple au barrage de Rempen des Forces Motrices de Wägital. Dans tous les autres cas, la période comprise entre deux mesures géodésiques complètes doit être couverte soit par des mesures optiques d'alignement, soit par des simples mesures d'angles. Depuis peu, on dispose d'appareils de précision pour la mesure d'inclinaison qui peuvent être placés le long de lignes à l'aval ou à l'amont. L'interprétation des résultats obtenus est parfois difficile.

Les alignements optiques ne sont pas très fiables. Une recherche faite en 1990 par l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie de l'EPFZ au barrage de Sella dans le massif du Gotthard a montré qu'un fort gradient thermique entre l'aval et l'amont provoque un effet de réfraction qui entraîne, dans les cas extrêmes, une erreur de direction jusqu'à 30 cc, ce qui signifie un écart de 14 mm à une distance de 300 m. Une amélioration de la fiabilité peut être atteinte si l'on procède à des mesures par conditions météorologiques favorables (temps nuageux) ou à des heures propices, la nuit n'étant pas le meilleur moment. La détermination trigonométrique (mesures d'angles et/ ou de distances) faite à partir de 2 points extérieurs au barrage peut être un meilleur moyen. Elle implique toutefois une certaine expérience dans le maniement des instruments topographiques.

Etant donné la précision réduite des alignements optiques d'une part et des mesures d'inclinaison d'autre part, il est recommandé dans le cas de barrages sans galeries ni puits de rapprocher les mesures géodésiques complètes, c'est-à-dire de les exécuter au moins une fois, voire mieux, plusieurs fois par année.

4.3 Surveillance des zones de terrains critiques

Pour les retenues, les zones de terrain critiques sont les pentes et parois instables des flancs qui, en cas de glissement ou détachement, provoqueraient une vague substantielle dans le bassin ou pourraient endommager l'ouvrage de retenue ou ses organes de service (évacuateur de crue, prise d'eau, vidange de fond) au point que leur fonctionnement correct ne pourrait plus être garanti. Elles sont délimitées par des spécialistes de la construction des barrages, c'est-à-dire par des ingénieurs civils en collaboration avec des géologues sur la base d'une part de signes d'instabilité existante ou possible, et d'autre part du danger potentiel. Dans de telles zones, il s'agit en général de surveiller les déformations, les



déplacements et les venues d'eau. Des contrôles visuels et des mesures sont utilisés à cette fin, les deux étant de même importance, comme cela se fait pour la surveillance des barrages.

Des améliorations de la stabilité peuvent, dans la mesure des possibilités de réalisation, être obtenues par drainage, déblai partiel, soutènement ou ancrage et, dans les environs immédiats de la retenue, par une limitation des variations du plan d'eau et en particulier de la vitesse d'abaissement. Un danger accru peut être contrecarré par une augmentation de la revanche, par un abaissement préventif ou par une vidange du bassin.

Le comportement normal de la déformation des ouvrages de retenue est essentiellement élastique, c'est-à-dire que les déplacements se répètent périodiquement au rythme des variations du plan d'eau et de la température, dans une plage de valeurs qui reste la même. Par contre, le comportement "normal" d'une zone de terrain est caractérisé par sa tranquillité "absolue", ou par les déformations résiduelles provoquées par un glissement de vitesse plus ou moins constante. Souvent, des variations dues à des accélérations ou ralentissements saisonniers provenant de variations de la nappe phréatique ou de la saturation du terrain s'additionnent. Au contraire des barrages où le comportement normal est essentiellement connu à l'avance de par sa construction et par des calculs, le comportement normal de zones de terrain critiques ne peut être déterminé qu'après plusieurs années d'observation. La plupart du temps, il faut également déterminer le volume, la surface et l'épaisseur de la zone en mouvement, ainsi que le mécanisme du mouvement à l'intérieur de la masse et en particulier s'il y a glissement sur un ou plusieurs plans ou s'il n'y a pas de plans de glissement prédominants.

Les déformations à surveiller dans les zones de terrain critiques peuvent être nettement plus importantes que celles du barrage lui-même. Dans ce cas, la précision de mesure peut être réduite de manière correspondante.

Les déformations de la surface peuvent sans aucun doute être déterminées de la manière la plus fiable à l'aide des mesures de déformations. Un réseau de mesures en forme de grille orthogonale qui s'appuie sur des points fixes de tous les côtés - similairement au réseau de mesures extérieur des barrages - est une solution optimale. Il est cependant rare de pouvoir réaliser ce réseau idéal. Souvent il n'existe des zones stables que d'un côté, ou bien les mesures font apparaître qu'elles sont instables. De plus, les conditions de visée peuvent être limitées, en particulier dans des zones boisées. Les emplacements des points, stations et piliers de mesure ne peuvent de plus être choisis qu'après avoir pris en compte les actions destructrices d'éboulements de pierres, glissements de plaques de neige, avalanches, etc. ainsi que les dangers encourus par le personnel de mesure. De telles difficultés peuvent être maîtrisées de différentes manières. Lorsqu'on dispose de trop peu de points fixes ou de visées, la mesure par satellites (GPS) offre une alternative. La protection du personnel peut être assurée en reportant la totalité des mesures dans des périodes pas ou peu dangereuses. La surveillance est alors assurée à l'aide de mesures intermédiaires réduites ou simplifiées par lesquelles uniquement les déplacements relatifs de points représentatifs sont déterminés. Il est de toute façon nécessaire d'incorporer de telles mesures dans tout plan de mesure, afin d'assurer la surveillance lors de situations extraordinaires, lorsque des mesures plus fréquentes sont nécessaires. Par exemple les types de mesure suivants peuvent être alors engagés, seuls ou combinés: mesures de distances et d'angles, observations GPS.

L'épaisseur de la masse en mouvement et la profondeur du plan de glissement peuvent être déterminées par forages, de même que les profils de déformation et de vitesse. Pour cela, on mesure la déflexion des axes du forage et les changements de longueurs de courts segments de mesure consécutifs à l'aide de micromètres coulissants, de clinomètres coulissants ou de déflectomètres. Les plans de glissement sont reconnaissables dans les profils de déformation



par des pics, des sauts ou des escaliers. Afin de pouvoir déterminer si des déformations se produisent en-dessous de la fin du forage ou si des plans de glissement profond peuvent exister, c'est-à-dire afin de pouvoir déterminer de manière fiable la totalité de la masse en mouvement, les forages doivent être intégrés dans le réseau de mensuration en surface et leur position mesurée par rapport aux points fixes du réseau. Les déplacements profonds qui ne sont pas déterminés à l'aide des mesures sur forages sont déduits de la différence des déplacements des points de liaison des deux systèmes obtenus de manière indépendante. Lorsque des tunnels, des galeries ou des puits traversent la masse en glissement, ils peuvent être utilisés avantageusement pour l'évaluation des déformations par mesure d'alignement, d'angles ou par polygonales. Autant que possible, de telles mesures ainsi que les forages doivent être intégrés dans le réseau de mensuration extérieur.

Les méthodes de mesure mentionnées ci-dessus sont également utilisées pour la surveillance de parties critiques de glaciers. De plus, les changements de forme de masses de glace risquant de se détacher sont en partie contrôlés par photogrammétrie. Les mesures de déformation par photogrammétrie sont aussi peu à peu mises en oeuvre pour la surveillance de masses rocheuses instables. Les photos qui en résultent contiennent des informations supplémentaires pour l'appréciation de la sécurité. L'état de zones de terrains peut être documenté de manière particulièrement efficace à l'aide de photos aériennes périodiques. Au cas où un danger est identifié, des restitutions photogrammétriques ultérieures peuvent être effectuées.

Du fait que ce n'est que par la répétition des mesures qu'on peut déterminer de manière fiable si le système de mesures est approprié, en particulier en ce qui concerne le choix des points fixes, une deuxième série de mesures devrait suivre une première au plus tard après un an. Pour la surveillance proprement dite, c'est-à-dire dès que l'origine et le mécanisme de l'instabilité sont suffisamment connus, les mesures doivent être répétées au moins tous les cinq ans. Des systèmes de mesures simplifiés sont recommandés pour des mesures plus fréquentes à l'aide desquelles des variations saisonnières ou des accélérations extraordinaires des mouvements doivent être saisies. On peut envisager d'implémenter des mesures simplifiées automatiques dans le cas de mouvements extraordinaires ou dans des terrains inaccessibles.



5. MESSANLAGEN ZUR TALSPERRENÜBERWACHUNG - KONZEPT, ZUVERLÄSSIGKEIT, REDUNDANZ

SNGT- Publikation mit gleichem Titel, Teil 1, 1989, en allemand et en français

5.1 Einleitung

Eine Talsperre ist äusseren Belastungen ausgesetzt. Sie bewirken Verformungen und Durchsickerungen des Bauwerks und seines Untergrunds, die in bestimmter Weise von den Belastungen abhängig sind. Die Belastungen einer Talsperre und ihr Verhalten müssen deshalb so überwacht werden, dass ein anfällig anomales Verhalten frühzeitig erkannt werden kann, damit rechtzeitig die notwendigen Massnahmen zur Abwendung der aufgetretenen Gefährdung ergriffen werden können. Dazu braucht es sowohl Messungen als auch visuelle Kontrollen. Jede Talsperre muss deshalb über eine angemessene Messanlage, d.h. über eine Messanlage verfügen, die auf die Zielsetzung, den Sperrtyp, die besonderen Standortgegebenheiten und die Grösse der Anlage abgestimmt ist. Weil sich sowohl die Erfahrung bezüglich Talsperren als auch die Messtechnik laufend verbessern, müssen die Messanlagen auch periodisch auf ihre Eignung hin überprüft und nötigenfalls ergänzt oder erneuert werden. Bei der Ausgestaltung respektive Überprüfung einer Messanlage muss berücksichtigt werden, dass

- das Bauwerk und sein Untergrund eine Einheit bilden und beide in ein Umgelände eingebettet sind, das ebenfalls einen Einfluss ausüben kann,
- Abweichungen vom Normalverhalten sich sowohl relativ rasch als auch langsam entwickeln können und
- im Falle einer festgestellten Anomalie die Messdaten auch ausreichen sollten, die Ursache zu ermitteln.

Dies verlangt, dass die Messanlage so konzipiert wird, dass sie sowohl das Kurz- als auch das Langzeitverhalten geeignet zu erfassen erlaubt und überdies ein ausreichend differenziertes Bild über das Verhalten des Bauwerks, seines Untergrunds und der Umgebung vermitteln kann. Zur Erfassung des Kurzzeitverhaltens genügen relativ wenige Messwerte, falls diese so gewählt werden, dass sie repräsentativ Auskunft darüber geben, ob das Verhalten des Bauwerks und seines Untergrunds grundsätzlich normal ist oder nicht. Diese Hauptindikatoren müssen zwangsläufig relativ häufig kontrolliert werden, und es sollten hierfür Messgeräte/Messmethoden eingesetzt werden, die bezüglich Messung und Auswertung möglichst einfach, d.h. wenig aufwendig sind. Zur Erfassung des Langzeitverhaltens und zur Beurteilung einer allfälligen Anomalie muss das Verhalten differenzierter gemessen werden. Weil weniger oft gemessen werden muss, können auch Messverfahren eingesetzt werden, die bezüglich Messung und/oder Auswertung aufwendiger sind oder nur von Spezialisten ausgeführt werden können.

Die Messdaten müssen jederzeit mit der gewünschten Zuverlässigkeit zur Verfügung stehen. Jeder Ausfall und jede Fehlerhaftigkeit kann die Überwachung vorübergehend beeinträchtigen oder zu einer Verunsicherung führen. Selbst wenn schadhafte Einrichtungen oder Instrumente rasch ersetzt werden können, besteht die Gefahr, dass der Nullpunkt dadurch verändert wird. Die Homogenität der Datenreihe ist damit gestört und die Analyse des Langzeitverhaltens zumindest erschwert. Es sind deshalb dauerhafte und robuste Einrichtungen und Instrumente einzusetzen. Eine allfällige Einbusse an Messgenauigkeit ist in der Regel weniger schwerwiegend als ein Ausfall. Mitentscheidend für die gewünschte Langlebigkeit und



Zuverlässigkeit ist, dass die Einrichtungen und Instrumente sorgfältig gewartet und periodisch (oder regelmässig) bezüglich ihrer Genauigkeit überprüft werden.

Der erfassbare Messbereich muss gross genug sein, damit auch ausserordentliche Belastungszustände und anomale Verhaltenswerte (möglichst) uneingeschränkt erfasst werden können. Es sind gerade diese Zustände, die die Sicherheit einer Talsperre anfällig beeinträchtigen und nötigenfalls angemessene Massnahmen erfordern.

Die Präzision der Messdaten muss nicht höher sein, als die realen Möglichkeiten der Auswertung und Beurteilung dies noch rechtfertigen. Dabei gilt es insbesondere zu beachten, dass manche Gesetzmässigkeiten, die das Talsperrenverhalten bestimmen, nur näherungsweise bekannt sind und Einflüsse wirksam sind, die (vorläufig) nicht quantifizierbar sind (wie die saisonalen Klimaeinflüsse auf das Untergrundverhalten).

Weil auch einfache, robuste Einrichtungen und Instrumente fehlerhaft sein oder ausfallen können, sollte die Messanlage unbedingt so konzipiert werden, dass sie ausreichende Redundanzen besitzt. Unter Redundanz wird dabei nicht nur die (unabhängige) Verdoppelung einer Messeinrichtung verstanden, sondern auch die Möglichkeit, einen Messwert mit Hilfe anderer Messeinrichtungen überprüfen oder rekonstruieren zu können (wie z. B. Pendel-Polygonzug, Alignement-Triangulation, Setzpegel-Nivellement). Soweit möglich, ist letzterem der Vorzug einzuräumen, weil die redundante Messeinrichtung auch andere Informationen liefert, also bivalent ist.

5.2 Äussere Belastungen

Die Verformung einer Talsperre wird teilweise durch den Wasserstand bestimmt. Bei Staumauern sind zusätzlich die Temperaturverhältnisse, bei Staudämmen das Gewicht des Dammkörpers mitbestimmend. Auch Erdrücke können massgebend sein. Die Durchsickerung wird bei beiden Sperrtypen primär durch den Wasserstand und sekundär durch Regen und/oder Schneeschmelze bestimmt. Für die Verhaltensbeurteilung müssen demzufolge der Wasserstand, repräsentative Temperaturen und die Niederschläge bekannt sein, d. h. in angemessenen Zeitabständen gemessen werden.

Das Messen des **Wasserstandes** erfolgt heute praktisch ausnahmslos mittels Druckwaagen. Eine Redundanz ist unbedingt anzustreben. Sie kann beispielsweise mittels manometrischer Druckmessung an einer vorhandenen oder neu zu erstellenden Verbindungsleitung zum Stausee verwirklicht werden. Der Messbereich sollte wenigstens bis auf die Höhe der Krone reichen, weil die Kenntnis ausserordentlicher Wasserstände für die laufende Beurteilung von Hochwassersituationen und nachher für die Ermittlung der aufgetretenen Hochwasserzuflüsse benötigt wird.

Temperaturmessungen sind erforderlich, um einerseits den Temperatureinfluss auf das Verformungsverhalten einer Staumauer mitberücksichtigen und andererseits beurteilen zu können, ob der Niederschlag in Form von Regen oder Schnee gefallen ist oder vorhandener Schnee einem Schmelzprozess unterworfen ist. Für letzteres genügt es, die Lufttemperatur am Standort der Talsperre zu kennen. Wo tägliche Temperaturablesungen nicht sichergestellt sind, empfiehlt sich die Installation eines Thermographen oder wenigstens eines normalen Thermometers mit Maximal/Minimal-Anzeige. Eine Redundanz ist nicht zwingend erforderlich, weil im Pannenfall vorübergehend auf anderweitige Temperaturmessungen zurückgegriffen werden kann. Zur bestmöglichen Beurteilung des Temperatureinflusses auf das Verformungsverhalten von Staumauern müssen die Betontemperaturen an einer ausreichenden Anzahl Messstellen innerhalb des Staumauerkörpers bekannt sein. Für die Messung stehen entweder einbetonierte Temperatursonden oder normale Thermometer zur

Verfügung, die in offene Bohrlöcher eingeführt sind. Die erforderliche Redundanz wird dadurch erreicht, dass mehr Sonden als benötigt eingebaut oder verwendet werden.

Die **Niederschlagsmessung** sollte bei keinem Staudamm, vorteilhafterweise auch bei keiner Staumauer fehlen. Es genügt, die Tagesniederschläge zu kennen. Die Niederschlagsmessung muss nicht zwingend bei der Talsperre, aber auch nicht zu weit entfernt erfolgen, damit sie ausreichend repräsentativ ist. Wo tägliche Messungen nicht sichergestellt sind, empfiehlt sich gegebenenfalls die Installation eines Pluviographen. Eine Redundanz ist nicht erforderlich, weil vorübergehend auf weiter entfernte Niederschlagsmessungen zurückgegriffen werden kann.

Die Messung von **Erddrücken** zur Ermittlung der Gesamtbelastung kritischer Bauteile kann in gewissen Fällen bei Staudämmen oder Geschieberückhaltesperren zweckmässig sein. Die Auswertung der Messdaten ist problematisch.

5.3 Verformung

Die Verformung einer Talsperre ist vom Sperrtyp, den Untergrundverhältnissen und den äusseren Belastungen abhängig. Wegen der unterschiedlichen Baumaterialien verhalten sich Staumauern und Staudämme völlig verschieden. Staumauern verformen sich unter dem Einfluss des Wasserdrucks und der Temperatur im wesentlichen elastisch. Bleibende Verformungen können als Folge der Anpassung des Untergrunds an die neue Auflast, Alterung des Betons und Ermüdung des Fundationsfelsens auftreten. Solange sie ein kritisches Mass nicht übersteigen, sind sie ungefährlich. Völlig anders verhalten sich Staudämme. Ihre Verformung ist vorwiegend bleibender Natur. Unter dem Einfluss des Gewichts von Dammkörper und gestautem Wasser geht die Setzung des Schüttmaterials (und des Untergrunds, sofern dieser aus Lockergesteinen besteht) auch nach dem Bauende über Jahrzehnte weiter, wenn auch mit abnehmender Tendenz. Zusätzlich bewirkt der Wasserdruck vorwiegend bleibende Horizontalverschiebungen des Dammkörpers, und zwar hauptsächlich senkrecht zur Dammachse. Eigentliche elastische Verformungsanteile sind nicht bedeutend und auch nicht charakteristisch für das Bauwerksverhalten.

Wegen des unterschiedlichen Normalverhaltens von Staumauern und Staudämmen ist auch die Aufgabe der Überwachung verschieden. Bei Staumauern handelt es sich im wesentlichen darum, die Entwicklung der elastischen und der bleibenden Verformungen zu erfassen. Hierzu muss die effektive d. h. gemessene Verformung mit dem berechneten oder anders ermittelten Normalverhalten verglichen werden. Bei Staudämmen gilt es demgegenüber den Trend der bleibenden Verformung aufmerksam zu verfolgen, um allfällige Abweichungen vom Normaltrend erkennen zu können. Auch die Grössenordnung der zu erfassenden Verformungswerte ist unterschiedlich. Bei Staumauern liegt sie im Millimeter- oder Zentimeterbereich, bei Staudämmen im Zentimeter- oder Dezimeterbereich.

Die Verformung einer Talsperre und ihres Untergrundes kann erfasst werden, wenn die räumliche Verschiebung ausgewählter Punkte gegenüber Bezugspunkten gemessen wird. Liegen die Bezugspunkte innerhalb der Talsperre, können nur Relativbewegungen erfasst werden, liegen sie ausserhalb (in der Umgebung oder im Untergrund), und zwar weiter entfernt als der Einfluss der Talsperre wirkt, können absolute Verschiebungen gemessen werden. Für die laufende Überwachung des Verformungsverhaltens genügen Relativbewegungen. Zur Verfolgung bleibender Verformungen werden Absolutwerte benötigt. Ein Messsystem allein innerhalb des Talsperrenkörpers genügt deshalb nicht. Bei Staumauern wäre es ideal, wenn Bezugspunkte in der unbeeinflussten Tiefe des Fundationsfelsens vorhanden wären, weil mit einfachen Messeinrichtungen direkt absolute Verformungswerte erhalten würden (und auch häufig gemessen werden könnten). Es werden



aber in jedem Fall auch Bezugspunkte in der unbeeinflussten Umgebung benötigt, weil damit auch das Verhalten der Umgebung erfasst werden kann. Dies verlangt, dass das Messsystem in der Talsperrenebene durch ein möglichst grossräumiges Triangulationsnetz (und Nivellementszüge) ergänzt und mit jenem verbunden wird. Eine zielkonforme Verformungsüberwachung erfordert also eine räumliche, d.h. dreidimensionale Messanlage.

Die Kontrolle des Verformungsverhaltens der Talsperre und ihres Untergrunds kann am besten verwirklicht werden, wenn die Verschiebungsmessungen für Punkte erfolgen, die längs horizontaler und vertikaler Linien angeordnet sind (Messen längs Linien) und diese Messlinien möglichst weit in den Untergrund verlängert werden (Einbezug des Untergrunds). Werden die Verschiebungen der Schnittpunkte in einem derartigen orthogonalen Messnetz längs der horizontalen und vertikalen Linien mit verschiedenen Messmethoden gemessen, ist die nötige Redundanz erreicht.

Sind in einer Talsperre Kontrollgänge und Schächte vorhanden, können für die Verschiebungsmessung in der vertikalen Richtung Lote (Gewichts- oder Schwimmlote) und in der horizontalen Richtung Polygonzüge installiert, also bewährte Messmethoden eingesetzt werden (= innere Messanlage). Fehlen Kontrollgänge und Schächte (insbesondere bei Dämmen, oft auch bei dünnen Bogenmauern und kleinen Gewichtsmauern), kann das gleiche Ziel mit einem orthogonalen Raster von Messpunkten auf der luftseitigen Oberfläche des Bauwerks erreicht werden, die von Fixpunkten ausserhalb der Talsperre mittels Winkelmessungen (eventuell ergänzt mit optischer Distanzmessung) eingemessen werden (= äussere Messanlage). Die Anwendung geodätischer Deformationsmessungen hat allerdings den Nachteil, dass die Messungen aufwendig sind, nur von Spezialisten ausgeführt werden können und somit nicht in kürzeren Zeitabständen vorgenommen werden können. Für die laufende Überwachung (Überwachung des Kurzzeitverhaltens) muss deshalb die Lage ausgewählter Punkte (normalerweise Kronenpunkte, ausnahmsweise auch Punkte längs einer vertikalen Linie) mit einfachen Winkelmessungen oder mit einem die Messanlage ergänzenden Alignment überwacht werden. Die Setzung von Staudämmen kann einfach und zuverlässig mit einem Nivellement über die Krone erfasst werden. Eine Redundanz ist nicht erforderlich, weil Nivellemente nötigenfalls ohne Problem wiederholt werden können. Wichtig ist jedoch, dass sie genügend weit in die Umgebung hinaus verlängert werden. Für die Messung differenzierter Verformungen im Damminnern kommen Setzpegel, Schlauchwaagen und Extensometer zur Anwendung.

Zur Verlängerung der Messlinien in den Untergrund können Schwimmpendel, Extensometer (womöglich Mehrstangenextensometer in 2, besser 3 verschiedenen Richtungen zwecks Erfassung der räumlichen Verschiebung), in speziellen Fällen auch Gleitmikrometer (gegebenenfalls mit eingebautem Inklinometer, damit ausser Längen- auch Neigungsänderungen erfasst werden können) eingesetzt werden. Falls Sondier- oder Drainagegestollen vorhanden sind, können Polygonzüge in die Widerlager verlängert werden. Auf eine eigentliche Redundanz kann verzichtet werden, wenn die Überwachung des Untergrunds nicht zu spärlich dotiert ist.

5.4 Durchsickerung

Als Folge des gestauten Wassers resultieren im Talsperrenkörper und im Untergrund Durchsickerungen; im Untergrund auch dann, wenn ein Dichtungsschleier vorhanden ist. Bei Staumauern sind die in das Bauwerk eindringenden Sickerwassermengen klein und bedingt durch Undichtigkeiten im Beton, in den Blockfugen sowie längs der Kontaktfläche Beton-Fels. Eine Vergrösserung der Sickerwassermenge gegenüber dem Normalverhalten ist in jedem Fall ein Anzeichen für eine potentielle Gefährdung des Bauwerks. Die Sickerströmung im Untergrund bewirkt Auftriebskräfte. Sie sind bei Staumauern aufmerksam zu verfolgen, weil

eine Vergrößerung des Auftriebs die Standsicherheit des Bauwerks vermindert. In Staudämmen resultiert wie im Untergrund eine Sickerströmung, weil die verwendeten Baustoffe (einschliesslich jener eines allfälligen Dichtungskerns) mehr oder weniger wasserdurchlässig sind. Die Durchsickerung und die Unterströmung des Dammes bestimmen die Grösse der Porenwasserspannungen und des Auftriebs, die für die Gesamtstabilität des Bauwerks von hoher Bedeutung sind. Die Durchsickerungen müssen deshalb aufmerksam überwacht werden, weil jede Abweichung vom Normalverhalten auf Vorgänge im Damm oder im Untergrund hinweist, die für die Sicherheit des Bauwerks gefährlich werden könnten.

Eine Globalauskunft, ob sich die Durchsickerung einer Talsperre (Staumauer und Staudamm) normal verhält, liefert die Gesamtmenge des Sickerwassers. Sie kann volumetrisch (d.h. mit Gefäss und Stoppuhr) oder mit Hilfe eines Messüberfalls, also sehr einfach und zuverlässig bestimmt werden. Eine Redundanz ist deshalb nicht erforderlich. Demgegenüber sollte, wo immer dies möglich ist, dafür gesorgt werden, dass die Sickerwassermenge auch für einzelne Zonen separat gemessen werden kann, weil im Falle eines anomalen Verhaltens die Lokalisierung und damit die Ursachenabklärung erleichtert werden.

Bei Staudämmen, die lösliche oder erodible Materialien enthalten oder auf solchen fundiert sind, sollte ständig oder zumindest regelmässig auch die Trübung und periodisch der Chemismus des Sickerwassers kontrolliert werden. Damit können wertvolle Aussagen über die Stabilität des Materials und der Foundation (insbesondere der Injektionen) erhalten werden.

Signifikant für das Normalverhalten eines Staudamms sind der Verlauf der Durchsickerung und die damitverbundenen Porenwasserspannungen besonders im Kern und in der Foundation. Sie dürfen jene Werte nicht überschreiten, die der Bemessung zugrunde gelegt wurden, und sollten deshalb überwacht werden. Dies kann mit eingebauten Druckmesszellen recht zuverlässig geschehen, und zwar um so besser, je mehr Querprofile mit (möglichst vielen) Messgeräten ausgerüstet sind. Wird dieser Idee nachgelebt, ist bis zu einem gewissen Grad auch eine Redundanz gewährleistet, die nötig ist, weil leider die zeitliche Ausfallrate nicht unerheblich ist.

Obschon neuste Erfahrungen zeigen, dass ein Einbau von Druckmesszellen auch in bestehende Staudämme möglich ist, dürfte eine nachträgliche Ausrüstung nicht immer in Frage kommen. Man wird sich deshalb gegebenenfalls damit begnügen müssen, den Verlauf der Durchsickerung, d. h. die Drucklinie der Durchsickerung an ausgewählten Punkten zu kontrollieren. Dies kann mit Standrohren erfolgen, in denen die Höhe des Wasserspiegels eingemessen wird (z.B. mittels einer Brunnenpfeife). Weil die Messung der Drucklinie eine gewisse Redundanz zur Messung der Porenwasserspannungen darstellt und ihr Verlauf ein wichtiger Verhaltensindikator für Staudämme ist, sollten normalerweise bei keinem Staudamm Standrohre fehlen, und zwar in mehreren Querprofilen angeordnet.

Die Sickerströmung unter einer Staumauer bewirkt einen Auftrieb, welcher der (stabilisierenden) Gewichtskraft des Talsperrenkörpers entgegenwirkt. Es wird deshalb normalerweise durch Erstellen eines Dichtungsschleiers und nötigenfalls von Drainagebohrungen dafür gesorgt, dass die Auftriebskräfte möglichst klein bleiben. Dies verlangt jedoch zwangsläufig, dass die Wirkung dieser Massnahmen kontrolliert, d. h. der Auftrieb gemessen wird. Auf Auftriebsmessungen kann nur in Fällen verzichtet werden, wo die Standsicherheit des Bauwerks auch bei ungünstigsten Auftriebsverhältnissen ausreichend ist. Wegen der heterogenen Untergrundverhältnisse (Klüftung) sollte in möglichst vielen Querprofilen und jeweils an mehreren Stellen zwischen der Wasser- und der Luftseite der Staumauer gemessen werden, damit der Druckabbau verfolgt werden kann. Vielfach genügt es, die Auftriebsdrücke an der Aufstandsfläche zu bestimmen. In Ausnahmefällen empfiehlt es sich, auch in verschiedenen Tiefen zu messen. Für Auftriebsmessungen an der



Aufstandsfläche sind Piezometer mit aufgesetztem Manometer besonders geeignet, weil sie zuverlässig, ausreichend genau und wenig pannenfällig sind. Weil die Sickerströmung selbst bei hohen Drücken oft nur sehr klein ist, wird der effektive Druck im geschlossenen Piezometer unter Umständen erst nach sehr langer Zeit (Tage, Monate) erreicht. Um fehlerhafte Messungen zu vermeiden, muss die Messeinrichtung deshalb ständig unter Druck gehalten werden. Fehlerhafte Messungen oder Ausfälle können auch infolge Verstopfung der Druckentnahmestelle oder -Leitung oder Defekt des Manometers auftreten. Druckabnahmen dürfen deshalb nicht a priori positiv bewertet werden. Für Druckmessungen in der Tiefe des Foundationfelsens kommen Druckmesszellen und Standrohrpiezometer in Frage. Weil Auftriebsmessgeräte ausfallen können, ist eine Redundanz dadurch sicherzustellen, dass genügend Messstellen eingerichtet und/oder bei jeder Messstelle zwei unabhängige Geräte eingesetzt werden. Wird der Untergrund drainiert, ist das Drainagewasser zu messen. Eine Abnahme der Menge kann ein Indiz sein, dass die Wirkung der Drainage nachlässt. Die Drainagewassermenge kann volumetrisch oder mit einem Messüberfall, also einfach und zuverlässig bestimmt werden. Eine Redundanz ist deshalb nicht erforderlich.

Wo talseitig der Talsperre Quellen vorhanden sind, sollte die Quellschüttung gemessen werden, weil Änderungen des Ergusses auf Anomalien im Durchsickerungsverhalten hinweisen können. Die Messung kann volumetrisch oder mit einem Messüberfall erfolgen. Eine Redundanz ist deshalb nicht erforderlich.



6. TALSPERRENÜBERWACHUNG IN DER SCHWEIZ UNTER SPEZIELLER BERÜCKSICHTIGUNG DER FRAGE EINER AUTOMATISIERUNG

Dr. R. Biedermann, "Erfahrungen mit Staubauwerken - Planung, Betrieb, Alterung und Ertüchtigung, Vortrag Wasserbau Seminar Wintersemester 1983/84, RWTH, Aachen, S. 104,105, sowie

SNGT, Informatik in der Talsperrenüberwachung, 1993, en allemand et français

6.1 Allgemeines

Wegen der nicht besonders anspruchsvollen Minimalforderung bezüglich der messtechnischen Überwachung ist die Frage betreffend einer Automatisierung in der Talsperrenüberwachung grundsätzlich bereits beantwortet. Eine solche ist kein "Muss". Sie kann aber die Überwachung wertvoll ergänzen und dies vor allem bei Talsperren im Gebirge, die im Winter oft nicht regelmässig zugänglich sind. Wir überlassen es demzufolge dem Werkseigentümer, ob er eine Automatisierung einführen will.

Die Automatisierung kann grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Bei der einen beschränkt man sich darauf, die automatisch erhobenen Daten in der unmittelbaren Nähe, d.h. bei der Talsperre selbst aufzuzeichnen. Damit kann aber nur erreicht werden, dass retrospektiv ein lückenloser Überblick über die zeitliche Entwicklung der so erfassten Messgrössen vorliegt. Dies kann ganz allgemein, besonders aber in Fällen wertvoll sein, wo der Zugang zur Talsperre im Winter erschwert ist und vorgegebene Messtermine nicht immer eingehalten werden können. Mehr vermag die zweite Art der Automatisierung zu leisten, bei der die automatisch erhobenen Messdaten in eine ständig besetzte Zentrale oder Leitstelle übertragen und dort aufgezeichnet werden. Weil die Messdaten dem Überwachungspersonal unter dieser Voraussetzung ständig zur Verfügung stehen, ist zwangsläufig der Übergang von der periodischen zu einer quasi-permanenten Überwachung vollzogen. Eine gesicherte Datenerfassung und -fernübertragung stellt aber vor allem im Gebirge hohe Anforderungen und ist nicht einfach zu erreichen. Für die Planung und Verwirklichung des Gesamtprojekts müssen deshalb unbedingt erfahrene Spezialisten beigezogen werden.

Im Hinblick auf eine allfällige Automatisierung gilt es ganz allgemein zu beachten, dass Messungen allein für eine seriöse Talsperrenüberwachung nicht ausreichen, und dass man sich nicht bedingungslos auf die Zuverlässigkeit der automatisch erfassten und registrierten Daten verlassen kann. Dies bedeutet, dass auf die visuellen Kontrollen und regelmässigen Handmessungen nicht verzichtet werden kann, dass also eine Automatisierung die bisherige Überwachung nicht ersetzen darf. Es können demzufolge finanziell keine gewichtigen Einsparungen erzielt werden. Der Entscheid, die klassische Talsperrenüberwachung durch eine Automatisierung zu ergänzen, muss deshalb anders begründet sein, wobei Winterprobleme und/oder der Wunsch, die Überwachung (über das minimal erforderliche hinaus) zu verbessern, im Vordergrund stehen.

Besonders wichtig erscheint es uns schliesslich, dass eine Automatisierung - wenn sie als nützlich erachtet wird - so vorgenommen wird, dass das Mess- und Kontrollpersonal auf keinen Fall den Eindruck erhält, seine Rolle und seine Verantwortung seien über kurz oder lang durch den Einsatz elektronischer Hilfsmittel in Frage gestellt. Die Erweiterung ist vielmehr darauf auszurichten, dass der Einsatz der neuen Hilfsmittel dem Messpersonal eine Hilfe bietet und seine Motivation zur kritischen Talsperrenbeobachtung, zum genauen Messen und zum laufenden Auswerten der anfallenden Ergebnisse noch verstärkt.



6.2 Wahl der automatisierten Messungen

Eine automatische Datenerfassung kann sich auf die für die Beurteilung des Talsperrenverhaltens besonders wichtigen Messgrössen beschränken.

Hierunter fallen insbesondere:

die wesentlichen, den Belastungszustand der Talsperre und die klimatischen Verhältnisse beschreibenden Grössen wie:

- der Wasserstand sowie gegebenenfalls
- eine oder mehrere relevante Temperaturen
- ausgewählte Werte für den Auftrieb
- die Niederschläge

die hauptsächlich, das Verhalten der Talsperre und ihrer Foundation beschreibenden Grössen wie:

- kennzeichnende Verformungen
- Sicker- und Drainagemengen bei Betonmauern
- Sicker- und Drainagemengen sowie Porenwasserspannungen bei Dämmen.

Fallweise können für die laufende Verhaltensüberwachung des Bauwerks und seiner Foundation weitere Messgrössen erfasst werden. (Extensometer, Trübungsmesser für Sickerwasser, etc.)

Es ist jedoch nicht empfehlenswert, Messgrössen, die nur in grösseren zeitlichen Abständen abgelesen werden, automatisch zu erheben. Werkseitig würde dadurch die Übersicht verloren gehen und der Talsperrenwärter in seiner Aufgabe demotiviert.

6.3 Einzusetzende Mittel

Falls die einen Belastungszustand oder das Verhalten der Talsperre charakterisierenden Messgrössen fernübertragen und gespeichert werden sollen, ist es wichtig, die folgenden Grundsätze zu beachten:

Es sind möglichst einfache, robuste und wenig stör anfällige Sensoren zu verwenden, die zuverlässige Resultate auch bei ungünstigen Umgebungsverhältnissen liefern.

Elektronische Sensoren sollten auf ihre elektromagnetische Kompatibilität geprüft werden.

Unzugängliche und daher schwer ersetzbare Messsonden (wie Temperaturfühler oder Dehnungsgeber im Beton oder Porenwasserspannungsgeber in Dämmen und im Untergrund) sind besonders gegen Überspannung zu schützen. Redundante Messsonden sind daher erwünscht.

Sofern möglich, sollte die automatische Messwertabtastung durch die übliche Handmessung zwecks Vermeidung bedeutender Messwertdifferenzen überprüft werden.



Für den Wiedereinbau von reparierten Sensoren sind einfache Einrichtungen zur ausreichend genauen Rekonstruktion der ursprünglichen Nullstellungen vorzusehen.

Der Service seitens des Lieferanten muss auch längerfristig nach dem Verkauf der Messgeräte gewährleistet sein.

Für die ausgewählten Messgrößen sollen ausreichend viele Messgeräte installiert werden, damit der Ausfall eines Geräts die Kontinuität der Überwachung nicht ernsthaft gefährdet.

Die Messwertübertragung soll digitalisiert erfolgen, Die Umwandlung analog/digital ist möglichst nah bei der Messsonde, jedoch erst an einer jederzeit zugänglichen Stelle, vorzunehmen.

Dem Überspannungsschutz, speziell dem Blitzschutz, ist besondere Beachtung zu schenken und zwar für alle Teile des Systems.

7. INFORMATIK IN DER TALSPERRENÜBERWACHUNG - ERFASSUNG UND VERARBEITUNG VON MESSDATEN

SNGT, Informatik in der Talsperrenüberwachung, 1993, en allemand et français

7.1 Definition

Der Einsatz der Informatik besteht darin, dass in Ergänzung zur Automatisierung mit ihrer automatischen Erfassung, Fernübertragung und Fernanzeige zusätzlich auch die nachfolgenden Schritte der Analyse und Archivierung der Messdaten automatisiert werden. Dieser Definition entsprechen die unterschiedlichsten Systeme und zwar von der kontinuierlichen Erfassung und Registrierung einer oder mehrerer Messgrössen je am Ort des Messgeräts bis zu ihrer sofortigen Verarbeitung und Auswertung mit einem Computer am Ort des Messgeräts, in einer Kommandozentrale oder in einem entfernt gelegenen Ingenieurbüro.

7.2 Grundsätze

Es gelten im Prinzip die gleichen Grundsätze wie bei der Automatisierung ohne Informatikeinsatz. Insbesondere ist festzuhalten, dass die Unterstützung durch die Informatik nicht zu einer Ablösung der Kontrollen durch den Talsperrenwärter führen darf.

Die Anwendung des Computers kann die Überwachung vereinfachen und die Überprüfung der Messergebnisse beschleunigen, wenn sie noch gleichentags mittels Telephon, Fax oder Modem dem für die Kontrolle Verantwortlichen übermittelt werden. Dank diesen Verbindungsmitteln kann die sofortige Kontrolle der Messergebnisse sichergestellt werden, und zweifelhafte Messungen können gegebenenfalls unverzüglich noch unter praktisch gleichen Belastungsverhältnissen wiederholt werden.

7.3 Verarbeitung der Daten

Wenn die Daten in einen Computer übertragen werden, ist vorzusehen, dass die Messwerte dem Überwachungspersonal ständig zugänglich sind, mit Vorteil in der Betriebswarte des Werks. Der Talsperrenwärter oder der Betriebswart kann zum Beispiel mit Hilfe geeigneter Graphiken Messwerte täglich aufzeichnen und Unregelmässigkeiten recht zuverlässig feststellen. Mit dieser zusätzlichen Messwertverarbeitung erreicht man, dass das Überwachungspersonal den Überblick über das Verhalten der Talsperre wahrt, den Messungen vermehrt Interesse entgegenbringt und durch die gewonnene Erfahrung entscheidend zur Verbesserung der Talsperrenüberwachung beiträgt.

Steht ein Rechenprogramm zur Verfügung, das die Messwerte unter Berücksichtigung des Belastungszustandes und der saisonalen Bedingungen auf Grenzwertüberschreitung überprüft, kann das verantwortliche Personal unmittelbar die Plausibilität überprüfen und nötigenfalls Wiederholungen der Messungen zur Bestätigung bzw. Korrektur der Resultate veranlassen. Dieses Kontrollverfahren ist speziell wirkungsvoll und beruhigend für den Talsperrenbetreiber.

Im allgemeinen dürfte die kurzfristige Kontrolle durch den Talsperrenwärter oder den Betriebswart ausreichen, um ein anomales Verhalten rechtzeitig erkennen zu können. Immerhin erlaubt die automatische Auslösung eines werksinternen Alarmsignals bei Ueberschreiten eines festgelegten Grenzwerts rascher zu überprüfen, ob eine



Funktionsstörung des Mess- und Übertragungssystems oder eine zufällige manuelle Intervention bei einer Messstelle (beispielsweise eine Lotdrahtberührung) eingetreten ist.

7.4 Überwachungsprogramm

Der Einsatz einer Datenverarbeitung mit Computer kann zu einer Erleichterung der Überwachung einer Talsperre beitragen und zwar einerseits beim Werkeigentümer (Datenkontrolle), andererseits beim Bauingenieur, der mit der fachtechnischen Überwachung beauftragt ist (Datenanalyse). Man muss sich aber bewusst sein, dass das Resultat nur gerade so gut ist wie das verwendete Rechenprogramm. Weil die Berechnungen stets nach dem gleichen Schema ablaufen, ist deshalb nicht auszuschliessen, dass mangels ausreichender Rechenverfahren beispielsweise eine Trendentwicklung einer Messgrösse nicht erkannt wird, weil sie nur festgestellt werden kann, wenn die vorhandene Datenbank und das Rechenprogramm auch Langzeitvergleiche ermöglichen.

Hieraus folgt, dass es angezeigt ist, die Programme periodisch unter Verwendung von bekannten Datenreihen zu überprüfen. Der bewusst eingesetzte Computer ist ein nützliches Hilfsmittel zur Datenanalyse und zur Entscheidungsfindung.

7.5 Informatikkonzept

Wird eine automatisierte Erfassung und Datenverarbeitung von einzelnen Messwerten einer Talsperre beabsichtigt, so sind ein detailliertes Projekt und ein Pflichtenheft auszuarbeiten, vorzugsweise gemeinsam vom Werkeigentümer, dem Kontrollingenieur und dem Experten für die Talsperre.

Auf diese Weise erhält man zugleich ein Optimum an automatisch verarbeiteten Messwerten und die gewünschte Abstimmung zwischen der gewählten Ausrüstung und der Auswertemethodik.

7.6 Folgerungen

Mit dem Einsatz der Elektronik und der Informatik in der Talsperrenüberwachung bieten sich neue leistungsfähige Möglichkeiten an im Sinne einer zeitlichen Verdichtung der Bauwerksüberwachung und einer beschleunigten Verhaltenskontrolle.

Die Wahrscheinlichkeit, ein anfällig anomales Verhalten der Talsperre früher zu erkennen, kann damit erhöht werden, was dazu führt, dass die nötigen Massnahmen zur Abklärung und Behebung der Ursachen rascher getroffen werden können oder mehr Zeit für eine allfällige vorsorgliche Absenkung zur Verfügung steht.

Zusätzlich kann die Automatisierung in der Talsperrenüberwachung Zeitspannen überbrücken, während denen der Zugang zur Talsperre witterungsbedingt nicht möglich ist.

Diese Vorteile können nur erreicht werden, wenn wenigstens die wichtigsten Messgrössen automatisch erfasst und in eine ständig besetzte Warte übertragen werden und wenn die wesentlichen Anlageteile betriebssicher arbeiten.

Es zeigt sich, dass die Automatisierung auch bei nur teilweiser Anwendung der technischen Möglichkeiten erwünschte Verbesserungen zu erbringen vermag, dass also nicht unbedingt oder zumindest nicht von Anbeginn an eine Ausschöpfung aller Automatisierungsmöglichkeiten angestrebt werden muss.



Die Talsperrenüberwachung kann dank einer angemessenen Automatisierung verbessert und intensiviert werden, die Messfrequenz beliebig festgelegt und die Auswertung verzugslos durchgeführt werden. Andererseits darf nicht erwartet werden, dass dadurch Personal und Kosten eingespart werden können.

Bezüglich der Talsperrenwärter kann bei Einführung dieser neuen Technik immerhin erreicht werden, dass diese nicht ständig bei der Talsperre tätig sein müssen, sondern zu einem Teil ihrer Arbeitszeit anders oder anderweitig eingesetzt werden können. Unabdingbar ist jedoch, dass seine Aufgaben im Zusammenhang mit der Talsperre jederzeit absolute Priorität haben.



8. GEODÄTISCHE MESSUNGEN DER VERFORMUNGEN

SNGT, Geodätische und photogrammetrische Deformationsmessung für die Überwachung der Stauanlagen, wsl 9/1993, S. 183

Die Überwachung des Verformungsverhaltens von Talsperren war, als in den 1920er Jahren mit der systematischen Verhaltenskontrolle begonnen wurde, praktisch nur mit Mitteln der Vermessung möglich. Mit der Entwicklung mechanischer Messgeräte (wie z. B. Lote) verlor die geodätische Deformationsmessung vorerst etwas an Bedeutung, weil sie aufwendig ist und nur von Spezialisten ausgeführt werden kann. Ein Einsatz in kurzen Zeitabständen, wie z. B. monatlich, ist kaum realisierbar. Ein weiterer Grund war sicher auch die schlechte Wintertauglichkeit, die im Gebirge bis zu einem halbjährigen Messunterbruch führen kann.

Während die geodätische Deformationsmessung im Ausland nach wie vor nicht sehr verbreitet ist, ist sie in der Schweiz nie aufgegeben worden und wird seit 20 Jahren sogar stark gefördert, weil mit ihrer Hilfe räumliche Messsysteme aufgebaut werden können. Dies erlaubt sowohl die Bestimmung "absoluter", Verformungen als auch den Einbezug des Verhaltens des Umgeländes. Dank der intensiven Auseinandersetzung mit der terrestrischen Deformationsmessung und der Einführung der elektrooptischen Distanzmessung gelang es, die Messgenauigkeit sehr stark zu verbessern. Eingeschränkt ist man aber nach wie vor durch den Umstand, dass die terrestrische Deformationsmessung Sichtverbindung zwischen den Festpunkten und den Kontrollpunkten benötigt. Das Messnetz kann wegen der Topographie und vorhandener Wälder deshalb oft nicht optimal gestaltet werden. Diesbezüglich kann die satellitengestützte Deformationsmessung (GPS) Abhilfe schaffen, nachdem die erreichbare Genauigkeit jetzt in der gleichen Grössenordnung wie jene der terrestrischen Deformationsmessung liegt.

Weil nötigenfalls auch instabile Talhänge oder Felspartien sowie kritische Gletscher hinsichtlich ihres Verformungsverhaltens zu überwachen sind, kann die geodätische Deformationsmessung auch diesbezüglich Unterstützung bieten. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die photogrammetrische Deformationsmessung einzusetzen.

Analog wie die Entwicklung hochpräziser Distanzmessgeräte hat auch die Entwicklung im Informatikbereich Anteil an der Steigerung der Genauigkeit der geodätischen und photogrammetrischen Deformationsmessung. Dank leistungsfähigen Rechnern sind heute Ausgleichsrechnungen möglich, die früher undenkbar waren.

Bisher hat sich eine Automatisierung geodätischer Deformationsmessungen nicht aufgedrängt. Es wäre dies bis vor kurzem auch kaum zu verwirklichen gewesen. Dank der gemachten Fortschritte ist es aber durchaus denkbar, dass sich dies ändern könnte, wobei in erster Linie an Einsätze zur Überwachung kritischer Geländepartien gedacht wird.

Schliesslich sei noch darauf hingewiesen, dass im Bericht des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren über "Messanlagen zur Talsperrenüberwachung" die geodätische Deformationsmessung ebenfalls behandelt wird.

9. LE RESEAU SISMIQUE NATIONAL D' ACCELEROGAPHERS

H. Pougatsch, Le réseau sismique national d'accélérographes, wel 5/6/1993,

9.1 Introduction

Les ouvrages qui présentent un important risque potentiel en cas de rupture doivent rester sûrs en cas de séisme. Ce principe s'applique en particulier aux barrages et aux centrales nucléaires. Pour un dimensionnement correct, il est de première importance de connaître l'activité sismique ainsi que les paramètres sismiques utiles à l'ingénieur. Dans ce sens, un réseau de mesures des séismes s'impose.

En août 1990, le Conseil fédéral approuvait l'installation et l'exploitation d'un réseau sismique national qui comprend d'une part le réseau existant de stations sismiques très sensibles et d'autre part un réseau d'accélérographes qui devait être réalisé. Une contribution des propriétaires de barrage pour un montant de 1 million de francs au titre de la recherche dans le domaine sismique a rendu possible l'installation de ce réseau d'accélérographes.

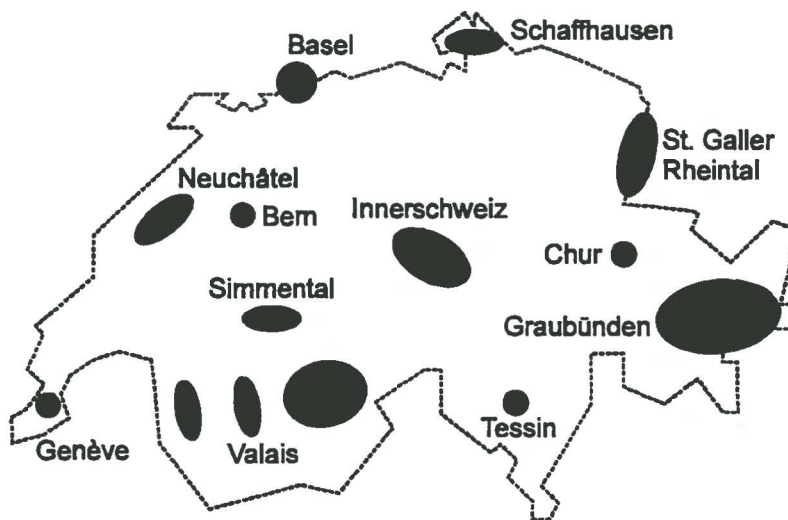


Figure 9.1. Régions retenues pour l'installation des stations du réseau extérieur.

Par ailleurs, le Conseil fédéral chargeait l'Office fédéral de l'économie des eaux, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires, ainsi que le Service sismologique suisse rattaché à l'EPFZ de mener à bien le projet de ce réseau. De son côté, le Service hydrologique et géologique suisse collabore au projet en tant que conseil pour les questions géologiques.

Le Service sismologique suisse assurera l'exploitation et l'entretien du réseau et se chargera aussi de rassembler l'ensemble des données. Les coûts d'exploitation sont pris en charge par la Confédération.

Le propos de la présente publication est de décrire dans les grandes lignes ce projet de réseau sismique national d'accélérographes qui a été réalisé en 1992. Un réseau extérieur, comprenant des stations réparties dans l'ensemble du pays, et un réseau barrage, concernant l'équipement de barrages représentatifs, sont les deux composantes de ce réseau.

9.2 Le réseau extérieur

Grâce à une distribution adéquate de stations dans le pays, il sera possible d'acquérir des données concernant les tremblements de terre enregistrés en Suisse ainsi que dans les régions limitrophes. Le traitement de ces données doit permettre de

- déterminer les caractéristiques des mouvements locaux du sol lors d'un tremblement de terre de forte intensité, telles qu'amplitude, fréquence, durée;
- déterminer les lois d'atténuation de l'accélération entre l'hypocentre et un emplacement donné;
- rechercher l'influence des conditions locales du sous-sol sur les mouvements mesurés; pour cela, les stations sont implantées soit sur rocher, soit sur terrain meuble.

En raison de l'activité sismique relativement faible de la Suisse par rapport à d'autres zones du globe, il a fallu, pour la sélection des sites, se concentrer en priorité sur les régions où les événements sismiques sont les plus fréquents. Ce choix a été fait sur la base de la carte du risque sismique; de cette évaluation, il a été décidé de placer des appareils dans les régions mentionnées dans la figure 9.1. 38 sites ont tout d'abord été identifiés et, suite à une reconnaissance locale, 33 emplacements ont été finalement retenus.

Lors du choix des sites, on a veillé à placer au moins dans chaque région retenue une station sur rocher et une sur terrain meuble. Dans le Valais et le Rheintal saint-gallois, des stations ont été groupées le long d'un profil traversant la vallée.

Parallèlement, on s'est préoccupé de la question du type de construction le plus adéquat pour abriter l'installation des accélérographes. Différents critères ont été fixés: structure de petites dimensions, légères et de fondations peu profondes pour limiter l'effet d'interaction sol-structure, construction isolée, alimentation électrique disponible, possibilité d'exploitation de longue durée, accès facile. Lors d'une reconnaissance, il est apparu que des stations transformatrices présentaient les caractéristiques recherchées tant en ce qui concerne leur forme que leur mode de construction. Un autre avantage était de pouvoir rencontrer ce type de construction dans tout le pays et d'avoir ainsi la possibilité de standardiser les installations. Il est bien clair qu'en raison de la nature de l'équipement de ces stations transformatrices, une décision définitive n'a été prise que suite à des tests concluants.

Enfin, en ce qui concerne le choix de l'accélérographe, il s'est fait sur la base de critères, dont les principaux sont les suivants: accélérographe triaxial avec enregistrement digital, boîtier étanche et protégé contre la corrosion, alimentation 220 V et 3 jours d'autonomie sur batterie, compatibilité électromagnétique, possibilité de raccorder un modem, synchronisation avec DCF-77.

L'équipement type d'une station (comprend un capteur, un enregistreur, un récepteur horaire; la lecture et le transfert des données s'opèrent via un PC portable ou à distance via un modem. L'enregistreur contient également une cartouche mémoire amovible ce qui permet, par envoi postal, de faire parvenir les résultats des tests automatiques et les enregistrements au Service sismologique suisse.

9.3 Le réseau barrage

Les résultats des mesures sur les barrages permettront de

- déterminer les caractéristiques dynamiques des barrages;



- examiner, voire de calibrer, les modèles de calcul.

Dans le cadre de ce réseau, il a été décidé d'équiper les types d'ouvrages les plus représentatifs construits en Suisse (dans l'ordre, barrages-voûte, barrages-poids et digues).

Pour le choix des barrages, comme pour celui des stations extérieures, il a fallu considérer les zones sismiques les plus actives du pays.

Une liste préliminaire de 7 ouvrages a tout d'abord été établie. Puis, après avoir visité les différents ouvrages et élaboré les avant-projets et les devis estimatifs, 3 ouvrages situés en Valais et un aux Grisons ont été retenus. Il s'agit du barrage-voûte de Mauvoisin (hauteur = 250 m), du barrage-poids de la Grande Dixence (hauteur = 284 m) et de la digue de Mattmark (hauteur = 120 m), tous situés en Valais et du barrage-voûte de Punt dal Gall (hauteur = 130 m) situé aux Grisons.

En ce qui concerne le choix de l'accélérographe, il s'est opéré sur la base de critères suivants, dont certains sont comparables à ceux fixés pour le réseau extérieur: accélérographe triaxial avec enregistrement digital, boîtier étanche et protégé contre la corrosion, alimentation 220 V et 2 jours d'autonomie sur batterie, compatibilité électromagnétique, possibilité d'interconnexion, raccordement avec modem, synchronisation avec DCF-77.

Les appareils sont interconnectés en étoile par câbles fibre-optique et les informations sont dirigées vers un centre contrôle. La lecture des données peut se faire sur place au moyen d'un PC portable ou à distance avec le recours d'un modem.

La répartition des accélérographes dans les ouvrages s'est faite en fonction du type de barrage et des objectifs spécifiques fixés. L'équipement des barrages doit être conçu de telle manière que suite à un tremblement de terre important l'on puisse retirer des renseignements relatifs au comportement dynamique de la structure et aux mouvements effectifs le long des appuis. De plus, le montage d'un appareil extérieur est prévu afin d'obtenir des informations dans une zone située à proximité du barrage et non influencée par celui-ci.

Le barrage de Mauvoisin est équipé de 11 accélérographes disposés sur 3 niveaux. C'est l'équipement le plus complet de tous les projets. Les appareils placés dans le corps du barrage fourniront des renseignements sur les propriétés dynamiques du barrage, les appareils situés le long de la fondation permettront de connaître les mouvements des appuis et la propagation des ondes sera mise en évidence par les appareils mis en place aux extrémités d'une galerie horizontale en rocher.

L'installation du barrage de la Grande Dixence comprend 5 accélérographes. Dans ce projet, on s'est pour le moment concentré sur l'observation du comportement du bloc central et les sollicitations auxquelles il est soumis; de plus, des appareils placés de part et d'autre de ce bloc fourniront des indications sur un éventuel mouvement relatif des plots entre eux.

Deux appareils au niveau du couronnement et un appareil placé dans la galerie de drainage constituent l'équipement de la digue de Mattmark. Dans ce cas, l'objectif de l'instrumentation est d'observer la réponse de la digue et l'excitation à laquelle elle est soumise.

Enfin, pour connaître le comportement de la structure du barrage de Punt dal Gall et les sollicitations auxquelles il est soumis, 5 accélérographes ont été répartis dans la galerie supérieure et 1 a été installé au pied de l'ouvrage.



10. SAFETY OF SWISS DAMS AGAINST FLOODS

Arbeitsgruppe SNGT, ICOLD 1988, San Francisco, Q63,R22

10.1 Introduction

An important condition for the highest possible safety of dams is an adequate design considering all load and operating conditions. This also includes flood events which, according to worldwide experience, belong to the most frequent causes for dam failures. The requirement of sufficient safety against floods is not only to be considered in the design ; it has to be reviewed later on regularly in order to allow for adaptation to the latest state-of-the-art.

Considering this requirement, a systematic review of the safety against floods was started in Switzerland in 1981 for the 171 dams which are subject to governmental supervision. Until summer 1987, 120 schemes (70 %) were reviewed. In 29 cases deficiencies were discovered which required remedial measures. The deficiencies belong to one or more of the following categories :

- Inadequate design concept (which does not take into account the present state-of-the-art).
- Underrated design flood (because inadequate methods were applied or not sufficient data were available at the time of design).
- Inadequate design of spillway scheme (hazard of clogging by floating debris, particularly trees ; damages due to erosion or scouring have so far not been detected).
- Modified operation of the reservoir (e.g. operation during the whole year, whereas initially only operation during winter time was foreseen).
- Later change on the spillway size or its functioning (e.g. installations on the spillway crest in order to allow a higher water level or operating syphons as simple overfalls in order to avoid unexpected start of full operation).

The systematic review of safety against floods required a thorough analysis of floods and of the interrelation between design criteria and design floods. The respective findings shall be discussed in the following.

Before doing so it has to be noted that extraordinary floods can occur which have other causes than high precipitations and which, thus, can not be analyzed with usual frequency analysis (see paper ICOLD-Congress 1988,Q. 63, R. 17).

A typical example of this kind is the flood event of 1978 at the Palagnedra reservoir in Centovalli, State of Tessin. As a consequence of very high precipitations (return period approximately 500 years), thousands of trees were uprooted in the catchment area of 138 km² and were transported to the Melezza river. The trees blocked the flow openings at several bridges which had relatively small pier spacings. Due to successive failure of this kind of "timber dams", a flood occurred at Palagnedra dam with a peak flow of at least 1.5 times the thousand year flood. Similar phenomena could occur due to landslides which might be caused by extreme precipitations or earthquakes. Therefore, an adequate margin for unforeseen secondary effects is also to be considered.



10.2 Design Criteria

To guarantee adequate safety of a dam against floods, two basically different design criteria can be used :

- a) probable maximum flood (PMF).
- b) flood with a given return period (e.g. 1 000 years) taking into account an appropriate reserve against higher floods or unforeseen events.

Theoretically, preference should be given to procedure a), because it ensures an absolute safety. In practice however, the determination of the PMF is highly problematic. Therefore procedure b) should be preferred whenever sufficient representative precipitation and discharge measurement data are available. The reason is, that the PMF is based on the possible maximum precipitation (PMP) and that the determination of both the PMP and the run-off-coefficient $\psi = A/N$ (with A = runoff, N = precipitation rate) is very speculative. As a consequence, the PMF may be not only highly overestimated but also seriously underestimated.

Using procedure b), one is aware that floods larger than the design flood might occur. Consequently, the safety reserve has to be chosen very carefully. In addition, analysis and extrapolation of observed data give more insight into the natural phenomena.

Because of these reasons and because a relatively dense network of precipitation and runoff measurement stations is available in Switzerland, procedure b) is generally applied, based on the following guidelines :

For dams with regular reservoir operation, the safety against floods is based on the 1000-year flood, assuming that it occurs when the reservoir is full up to the normal water level. All discharge facilities can be used for discharge, that is besides the spillway also the bottom outlet, possibly available intermediate outlets and diversion tunnels or the headrace tunnel, the last however only with a capacity corresponding to $n-1$ turbines (or pumps). Of all outlet works with mechanical gates or valves, the one with the highest capacity has to be considered blocked and therefore out of service. In addition the headrace tunnel can only be taken into account, if its operation is assured during the flood event. For reservoirs connected to a powerhouse or pumping station, this is acceptable provided the powerhouse can not be inundated and two independent high-tension transmission lines are available. The resulting water level in the reservoir must remain at least 0.5 to 1.0 m below the crest of concrete dams and 1.5 to 3.0 m below the crest of embankment dams (minimum freeboard).

For flood retention reservoirs the same criteria are applied with the exception that, according to their purpose, an initially empty reservoir is assumed. For the case that the reservoir is initially full due to a clogged outlet the necessary minimum freeboard can be reduced by 50%.

These design criteria show the philosophy of procedure b), that is : basing the safety against floods on the 1000-year flood, which can still be somehow reasonably estimated, and considering minimum freeboard for the safe discharge of higher floods with longer return periods.

Example :

In 1980, the safety of the 50 m high concrete gravity Egschi dam (Safiental, State of Grison, reservoir capacity 400 000 m³) built in 1949 was reevaluated. The peak discharge of the 1000 year flood was estimated at 380 m³/s. The retention capacity of the reservoir can be



neglected. Originally, 5 discharge facilities were available, having the following capacities at 0.5 m freeboard :

- free overfall	130	m ³ /s
- auxiliary regulating gate	41	m ³ /s
- diversion tunnel	75	m ³ /s
- bottom outlet	130	m ³ /s
- headrace tunnel (2 turbines)	6	m ³ /s
total discharge capacity	382	m ³ /s

The most efficient gated outlet, the bottom outlet, and half of the headrace tunnel capacity must be left out of consideration. The remaining capacity of 249 m³/s corresponds to the 100-year flood approximately. Consequently, the dam had to be equipped with an additional outlet of some 130 m³/s capacity.

A second free overfall was added in 1984. Using all outlet facilities including the bottom outlet and at zero freeboard, a capacity of 560 m³/s or 147 % of the 1000 year flood is available today.

If all the gates remain closed, a discharge of 308 m³/s only can be evacuated with the remaining free overfalls without overtopping of the dam, This shows clearly that :

- the gates must be checked regularly under real conditions (wet test at full reservoir) to ensure their functioning ;
- there should exist an emergency power supply or at least a hand drive and consequently ;
- each dam should be manned during critical flood conditions in order to assure manual gate operation in case of necessity.

10.3 Design Flood

The determination or reevaluation of the safety against floods requires knowledge of different parameters of the 1000-year flood depending on the retention capacity of the reservoir. If this capacity is negligible the peak discharge alone is decisive. If the reservoir has a significant retention capacity, the time history of the flood, i.e. the hydrograph must be known as well. Therefore, suitable methods for the establishment of both peak discharge and hydrograph are needed.

10.3.1 Determination of the 1000-year Peak Discharge

If a sufficient number of representative runoff measurements is available, the peak discharge can be evaluated based on a frequency analysis of the observed flood data. Otherwise the determination of the peak discharge must be based on precipitation data, using a rainfall-runoff model. Generally speaking, the frequency analysis of floods is to be preferred, because the runoff data are the result of the complex process of conversion from precipitation to runoff. However, the application of both methods is useful for comparisons. Due to the different reliability of the two methods, a careful interpretation of the results taking into account the actual hazards is required.



Frequency Analysis

The classical frequency analysis attributes a theoretical, usually unlimited, frequency distribution to a homogeneous series of some 50 to 80 observed annual peak discharges, which have usually a probability of more than 1 %. It is assumed that this probability distribution is also valid for flood peaks of frequencies $P < 1\%$. This assumption is strictly speaking not correct, because

- the soil infiltration rate is limited, resulting in overland flow and thus a larger runoff coefficient for extremely intense rainfall (influence 1) ;
- the runoff capacity of the river bed itself is limited ; the result is flooding of riverine areas which has an influence on the flood routing (influence 2) ; this influence increases in importance with increasing runoff ;
- the precipitation rate has a finite maximum and therefore, the maximum probable flood must have a finite value (influence 3).

Unfortunately, the physical conditions for the abovementioned influences are not sufficiently known. However, the report (ICOLD Congress 1988, Q. 63, R. 17) suggests some solutions for taking into account these effects in the statistical analysis.

Applying the classical frequency analysis, the additional problem arises whether or not the highest observed peak discharges should be considered. The problem becomes obvious when it has to be assumed, that the real return period of the higher floods is longer than the value computed.

Thus, need is to find the representative measurement stations. For that purpose a representation is used in which the values of the 100-year specific peak discharges q of all measurement stations of a river basin are plotted against the catchment area E , both in a logarithmic scale. The higher the specific discharge, the lower is the infiltration rate. If additionally only the catchment areas with similar precipitation rates are considered, one can easily find an upper limit.

$$q_{100} = \alpha \cdot E^{-\beta}$$

for the relevant specific discharge of the region. Thus, the 100-year flood can be calculated as follows

$$Q_{100} = q_{100} \cdot E = \alpha \cdot E^{1-\beta}$$

The 100-year values have been selected because the influences due to the runoff capacity of the rivers and the maximum precipitation rate are not determinant for this small extent of extrapolation.

Eventually the design flood can be calculated, when the ratio

$$\phi_{1000} = Q_{1000}/Q_{100}$$

is known. Its most representative value can be estimated by analysing the probability distributions at the runoff measurement stations in the region. It follows

$$Q_{1000} = \varphi_{1000} \cdot \alpha \cdot E^{1-\beta}$$

This value for the design flood is probably underestimated because it is to be expected that the real ratio φ_{1000} is higher than the ratio evaluated by the frequency analysis. This fact has to be considered when the safety reserve is analysed.

The explained method shows as well the way how to transfer runoff data from one catchment area to another.

In Switzerland flow observation stations for small basins ($E < 50 \text{ km}^2$) are relatively rare. This should change in the future. Therefore, the installation of about 80 stations, designed for the registration of maximum water levels has begun. The discharges corresponding to these maximum water levels are then calculated on the basis of the relevant hydraulic characteristics of the river beds.

Rainfall-runoff-models

If no representative runoff measurement station is available, the determination of peak discharges must be based on rainfall observations. This is particularly the case for the small catchment areas on the Swiss plateau. Fortunately, the rainfall measurement network is relatively dense and the observation periods are relatively long. The determination of peak discharges requires two steps in this case. First, the frequency distribution of the rainfall intensities must be determined. This step must also take into account the duration of the rainfall events. The second step consists of the application of a rainfall-runoff-model.

In Switzerland, two analyses of frequency distribution of rainfall intensities are already available (Fig. 10.1).

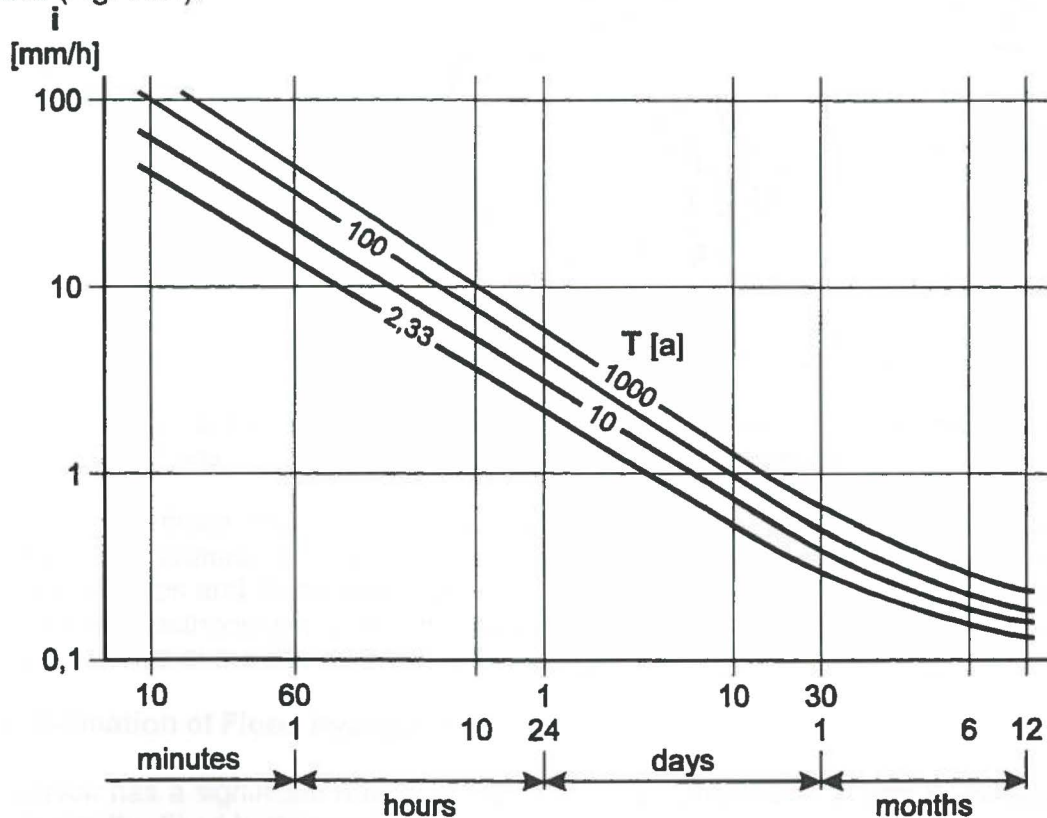


Fig. 10.1: Precipitation- frequency curves

In recent years a regionalization of extreme rainfall intensities could be established, resulting in maps as shown on Fig. 10.2, which give the regional distribution of

- 1-hour rainfall to be expected once in 2.33 years
- 1-hour rainfall to be expected once in 100 years
- 24-hour rainfall to be expected once in 2.33 years
- 24-hour rainfall to be expected once in 100 years.

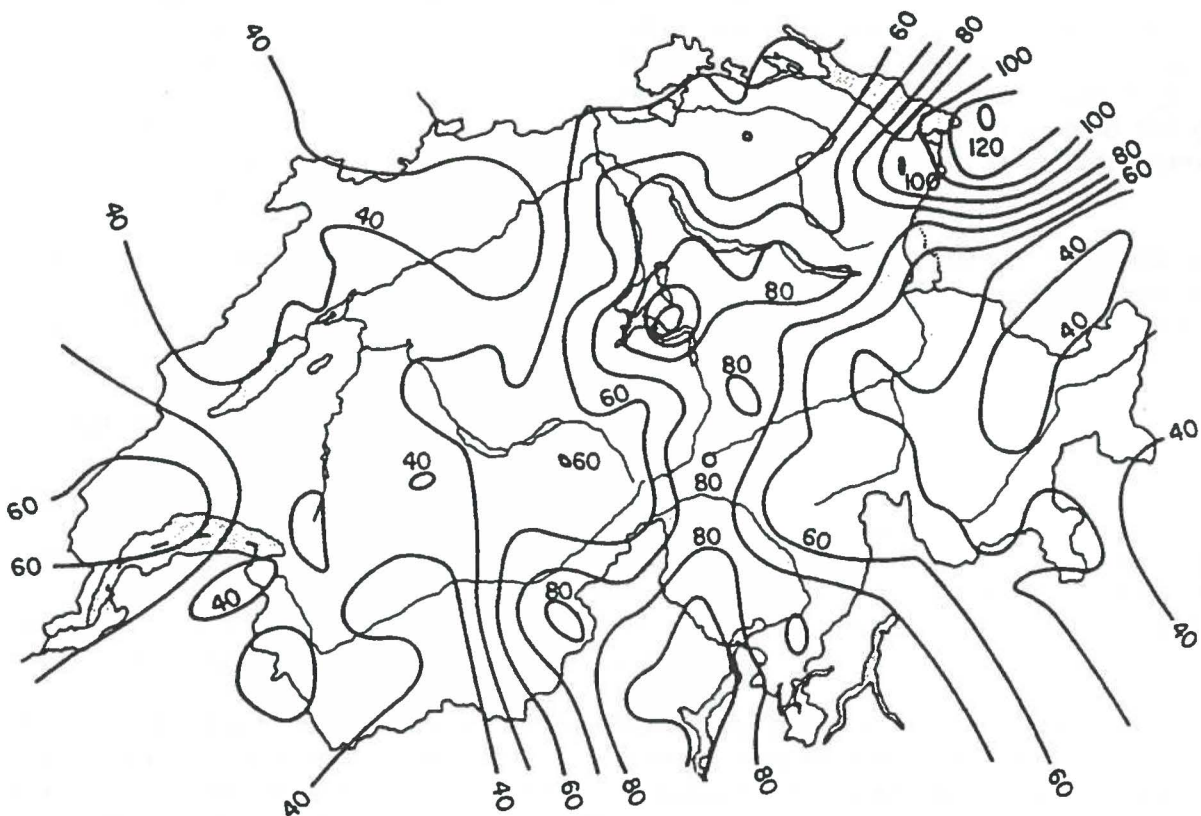


Fig. 10.2: 1-hour rainfall to be expected in the average once in 100 years in Switzerland

The application of rainfall-runoff-models for peak discharges will not further be discussed here, because the methods used are extensively described in the literature.

The results of these models are strongly dependent on the parameters used in their application. Therefore, it does not surprise that the comparison of results based on a frequency analysis and those based on a rainfall-runoff-model are usually in poor agreement. Even if the two methods give different results, the comparison is still useful if it is followed by a thorough analysis of the differences.

10.3.2 Estimation of Flood Hydrographs

If a reservoir has a significant retention capacity it is advantageous to take it into account. For this purpose the flood hydrographs must be known. However, its determination is problematic because not only the volume of runoff, but also its distribution in time must be known. Given



the same probability, the hydrograph with the maximum peak discharge results not necessarily in the maximum rise of the water level in the reservoir.

Because the relevant 1000-year flood hydrograph is sought, it is useful to work with a rainfall-runoff-model. Thus, the calculation can be repeated for 1000-year rainfall events of different durations. Among the resulting hydrographs, the relevant one can be found by flood-routing calculations. But such a sensitivity analysis should not be limited to the rainfall duration. Other parameters, especially the runoff coefficient (or the conversion function in a more complicated model) should also be varied. In order to keep the amount of work within reasonable limits, very simple rainfallrunoff-models or even synthetic hydrographs are normally used in Switzerland. The most frequently used method is the isochrone method, based on a uniform rainfall. Very often a triangular hydrograph is defined by the time of concentration (for instance according to formulae of Kirpich, Izzard, Strickler or Giandotti), the 1000-year peak flow (from a frequency analysis) and the runoff volume (based on the rainfall volume and a volumetric runoff coefficient). Thereby one overlooks the fact that this hydrograph might not be the most unfavorable one. For small catchment areas ($E < 50 \text{ km}^2$) this method can give good results, because the uncertainties concerning the determination of runoff coefficient at peak discharge are eliminated.

A third method is based on completely different assumptions. It includes the 1000-year peak flow and a number of observed hydrographs. The relevant design hydrograph is the envelope of all the observed hydrographs and the peak flow. Such a hydrograph has certainly a probability of less than 0.1 %. However, this last mentioned method is rarely used.

10.4 Safety Reserve

Because floods higher than the design flood, i.e. the 1000-year flood, may occur, a safety reserve has to be introduced to ensure that these higher floods can safely be managed. For embankment dams this reserve has to be such that the crest of the dam will not be overtopped even by the maximum probable flood. This severe requirement can be alleviated for concrete dams, because a short overtopping of the crest will not lead to scouring of the foundations which could endanger the stability of the structure.

Therefore, the Swiss design criteria requires that the design flood Q_{1000} has to be released with a minimum freeboard f_R which is set higher for embankment dams than for concrete dams. The determination of this minimum freeboard, however, is critical because the maximum probable flood can only be estimated.

Decisive for the determination of the minimum freeboard is the flood with the maximum probable peak discharge Q_z . Therefore, the maximum capacity of all discharge facilities should be equal to this value. Once the maximum possible flood is known, the determination of the required minimum freeboard f_R is simple.

For Switzerland it can be assumed as working basis that the peak discharge of the maximum probable flood is 50 % higher than that of the 1000-year flood. With this assumption, may be not the absolute but at least a very high safety against floods is achieved. Should the suggestion of Norwegian specialists be true and applicable also for Switzerland, that the highest recorded rainfall equals 40 to 60 % of the possible maximum precipitation (PMP), the above assumption may effectively lead to an absolute safety.

There remains the question whether or not the safety reserve should be determined with or without the gated outlet with the highest discharge capacity ($n - 1$ rule). Since a simultaneous occurrence of two unfavourable events is considerably less probable than the occurrence of



either one of these events, and because concrete dams are less sensitive to overtopping compared to embankment dams, it should be appropriate for concrete dams to accept all discharge facilities as functioning. For embankment dams, however, the gated outlet with the highest capacity should not be considered in this instance.

More difficult is the determination of the required minimum freeboard for reservoirs with significant retention capacity. In certain cases not the highest instantaneous rainfall but a high and long rainfall might be decisive, particularly in case of large catchment areas.

Since the catchment areas of Swiss dams are generally small or even very small (67 % have catchment areas $E < 50 \text{ km}^2$), it is admissible for the determination of the required safety reserve to use hydrographs due to the highest instantaneous rainfall ($Q = 1,5 Q_{z1000}$, $T < T^* < 1,5 T$, T being the time of concentration of the basin). Under this assumption, the required storage capacity reserve V_R can be calculated. A simple and fairly accurate approach in view of all the other uncertainties is the assumption of a triangular inflow and outflow hydrograph.



VERÖFFENTLICHUNGEN:

TAGUNGEN DER ARBEITSGRUPPE "TALSPERRENBEOBACHTUNG"

PUBLICATIONS:

JOURNEES D'ETUDES DU GROUPE DE TRAVAIL "OSCUлатION DES BARRAGES"

1981	Sion	Geodätische Deformationsmessungen/ Mesures géodésiques des déformations de barrages
------	------	---

Dr. R. Biedermann Bedeutung und Möglichkeiten der geodätischen Deformationsmessung im Rahmen der Talsperrenüberwachung
wasser-energie-luft, Heft 9, 1981

H. Aeschlimann Einfache geodätische Methoden zur Bestimmung von Verschiebungen an Bauwerken
wasser-energie-luft, Heft 9, 1981

K. Egger Geodätische Dormationsmessungen: Eine zeitgemässe Vorstellung
wasser-energie-luft, Heft 1/2, 1982

1982	Locarno	Automatisierung in der Talsperrenüberwachung/ L'automatisation dans la surveillance des barrages
------	---------	--

SNGT Automatisierung in der Talsperrenüberwachung
wasser-energie-luft, Heft 11/12

CNSGB Automatisation dans la surveillance des barrages
eau-énergie-air, Heft 1/2, 1983

B. Croci Datenfernübertragung für die Automatisierung in der Talsperrenüberwachung
wasser-energie-luft, Heft 1/12, 1982

W. Bosshard Überspannungsschutz von räumlich ausgedehnten Anlagen
wasser-energie-luft, Heft 1/12, 1982

J. Ziltener Automatische Datenerfassung für Staumauern und Dämme
wasser-energie-luft, Heft 1/12, 1982

Dr. G. Lombardi Traitement et analyse des données
eau-énergie-air, Heft 1/2, 1983

1983	Rapperswil	Talsperrenüberwachung und Unterhalt/ La surveillance et l'entretien des barrages
------	------------	--

W. Indermaur Les tâches du gardien de barrage
eau-énergie-air, Heft 3/4, 1984

Prof. R. Sinniger Jahreskontrolle von Staumauern und Staudämmen
wasser-energie-luft, Heft 3/4, 1984



- N. Schnitter Die laufende Überwachung von Talsperren
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1983
- Dr. B. Gilg Ziel und Vorgehen bei der 5-Jahres-Expertise
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1983
- H. Pougatsch Manoeuvre et essai de fonctionnement des organes mobiles
eau-énergie-air, Heft 11/12, 1983
- Dr. T. Schneider Die Aufgaben des Geologen im Rahmen der 5-Jahres-Kontrolle
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1983
- L. Streuli Zustand der beweglichen Organe bei Talsperren
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1983
- | | |
|----------------|--|
| 1984 Engelberg | Umbau und Reparatur von Talsperren/
Transformation et assainissement des barrages |
|----------------|--|
- P. Rügsegger Die Erneuerung des Grundablasses der Staumauer Gelmer
wasser-energie-luft, Heft 10, 1984
- E. Stamm Die Erhöhung der Staumauer Käppelistutz
wasser-energie-luft, Heft 10, 1984
- Prof. R. Lafitte Utilisation des tirants de précontrainte dans les barrages
eau-énergie-air, Heft 1/2, 1985
- E. Ammann Die Sanierung der Stauanlage Gübsen
wasser-energie-luft, Heft 5/6, 1987
- | | |
|----------------|---|
| 1986 Meiringen | Erneuerung und Ergänzung von Messeinrichtungen/
Renouvellement et extension des dispositifs d'auscultation |
|----------------|---|
- SNGT/CNSGB Messanlagen zur Talsperrenüberwachung, Teile 1,2,3
Dispositif d'auscultation des barrages
SNGT/CNSGB
- W. Diethelm Die Überwachung der Staumauer Darbola
wasser-energie-luft, Heft 10, 1986
- Dr. R. Biedermann Anforderungen an die Messeinrichtungen von Talsperren
wasser-energie-luft, Heft 1/2, 1987
- F. Matthey Messanlagen in den Talsperren
wasser-energie-luft, Heft 1/2, 1987
- W. Indermaur Erneuerung der Messeinrichtungen in den Talsperren der Kraftwerke
Oberhasli
wasser-energie-luft, Heft 1/2, 1988



G. Collet Staumauern der Kraftwerke Oberhasli AG
wasser-energie-luft, Heft 5/6, 1988

1987 Lugano Überwachung der Ufer von Stauhaltungen, Massenstürze und Rutschungen/
Surveillance des rives des retenues éboulements et glissements

Dr. T. Schneider Mise en évidence des glissements et éboulements potentiels
eau-énergie-air, Heft 9, 1987

Prof. R. Sinniger Observation des versants d'une retenue
eau-énergie-air, Heft 9, 1987

Dr. A. Huber Auswirkungen von Massenstürzen und Lawinnenniedergängen auf
Stauhaltungen
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1987

1988 Flims Verhalten, Kontrolle und Unterhalt von Beton/ Comportement, contrôle et
entretien du béton

R. Lafitte Le béton des barrages: perspectives de recherches en relation avec la
théorie de la mécanique de la rupture
wasser-energie-luft, Heft 7/8, 1989

W. Studer Frosteinwirkung und Sinterung
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1988

1989 Lugano Ablassorgane von Stauanlagen, Anforderungen, Einsatzbereitschaft und
Umwelt/ Organes de décharges des retenues, exigences, état
opérationnel et environnement

K. Flury Talsperren - Kriterien für die Notfallstrategie im Hochwasserfall
wasser-energie-luft, Heft 10, 1989

R. Gartmann Spülungen und Entleerungen von Stauseen und Ausgleichsbecken
wasser-energie-luft, Heft 1/2, 1990

A. Conca Gli spurghi dei bacini di accumulazione e delle prese
eau-énergie-air, Heft 5/6, 1990

1990 Martigny Verhalten und Überwachung des Talsperrenuntergrundes/ Compor-
tement et surveillance du sous-sol des barrages

E. Honegger Durchsickerungen beim Erddamm Rhodannenbergr
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1990

1991 Stans Informatik in der Talsperrenüberwachung/ L'informatique dans la
surveillance des barrages

SNGT/CNSGB Informatik in der Talsperrenüberwachung
L'informatique dans la surveillance des barrages
SNGT/CNSGB



- Dr. G. Lombardi L'informatique dans l'auscultation des barrages
eau-énergie-air, Heft 1/2, 1992
- L. Cottin L'informatique dans la surveillance des barrages en France
eau-énergie-air, Heft 1/2, 1992
- B. Andres Informatik- Anwendung bei der Überwachung der Talsperren des
Elektrizitätswerks der Stadt Zürich
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1991
- Dr. W. Hauenstein Instrumentierung einer Talsperre - Informatikgerechte Erneuerung
wasser-energie-luft, Heft 778, 1992
- Dr. D. Schneider Archivierung des Datenmaterials aus den geodätischen
Deformationsmessungen
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1991
- | | | |
|------|---------|--|
| 1992 | Vulpera | Neue Erfahrungen mit ausserordentlichen Belastungen (Hochwasser,
Erdbeben)/ Expériences nouvelles dans le domaine des charges
extraordinaires (crues, tremblements de terre) |
|------|---------|--|
- N. Schnitter Hochwasserschäden an Talsperren
wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1992
- Dr. G. Darbre Tremblements de terre: Modèles de calcul
eau-énergie-air, Heft 1/2, 1993
- H. Pougatsch Le réseau sismique national d'accélérographes
eau-énergie-air, Heft 5/6, 1993
- O. Chaix Calcul de la crue maximale probable
eau-énergie-air, Heft 5/6, 1993
- | | | |
|------|------|--|
| 1993 | Broc | Geodätische und photogrammetrische Deformationsmessung für die
Überwachung der Stauanlagen/ Mesures géodésiques et
photogrammétriques des déformations pour la surveillance des ouvrages
de retenue |
|------|------|--|
- CNSGB/SNGT Mesures de déformations géodésiques et photogrammétriques pour la
surveillance des ouvrages de retenue/ Geodätische und photo-
grammetrische Deformationsmessung für die Überwachung der
Stauanlagen
eau-énergie-air, Heft 9, 1993
- | | | |
|------|----------|--|
| 1994 | Disentis | Verhalten und Überwachung des Talsperrenuntergrundes/ Compor-
tement et surveillance du sous-sol des barrages |
|------|----------|--|
- P. Eyer, C. Moor Zum Fundationsverhalten der Staumauer Sta. Maria
Dr. B. Otto wasser-energie-luft, Heft 3/4, 1995



1995	Sion	Zustandsüberprüfung und Unterhalt der Talsperren/ Contrôle de l'état et entretien des ouvrages d'accumulation
G. Rechsteiner		Assainissement du barrage de Cleuson Génie civil, 26 octobre 1994
K. Steiger		Unterhalt von Steinverkleidungen wasser-energie-luft, Heft 11/12, 1995
E. Ammann		Ankerungen bei Staumauerwiderlagern wasser-energie-luft, heft 11/12, 1995
1996	Locarno	Staumauerbeton/ Béton de barrage