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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 85 (1993)

Heft: 9

Artikel: Mesures de déformation géodésiques et photogrammétriques pour la surveillance des ouvrages de retenue = Geodätische und photogrammetrische Deformationsmessungen für die Überwachung der Stauanlagen

Autor: Aeschlimann, Heinz / Ammann, Eduard / Biedermann, Rudolf

Kapitel: 2: Surveillance des retenues = Überwachung der Stauanlagen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939996

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

2. Surveillance des retenues

R. Biedermann (2.1 et 2.2) *et Christian Venzin* (2.3)

2.1 Généralités

La surveillance fait partie du concept de sécurité. A cet égard, il est tout d'abord indispensable que le dimensionnement du barrage soit correct et prenne en compte les dangers spécifiques pour tous les cas de charge et d'exploitation. De cette manière, le risque sera minimisé de façon optimale, tout en restant économiquement justifié (figure 2). Exclure entièrement le risque n'est pas pensable. C'est la raison pour laquelle le recours à des mesures complémentaires est nécessaire pour maîtriser le mieux possible le risque résiduel. Dans ce sens, des contrôles adaptés et des préparatifs pour les cas d'urgence sont requis: des contrôles adaptés dans le but de mettre en évidence une menace le plus rapidement possible, des préparatifs pour les cas d'urgence afin de pouvoir agir de manière prompte et appropriée face à une menace avérée.

Comme des menaces peuvent avoir des origines distinctes [1], 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

[1] Dégâts significatifs au barrage ou à ses ouvrages annexes, défaut relatif à la sécurité constructive, déformations et déplacements anormaux au niveau de la structure ou du soubassement, augmentation des pressions intersticielles ou des sous-pressions, accroissement des venues d'eau, pente, rocher ou glacier instables dans la zone de la retenue.

2. Überwachung der Stauanlagen

R. Biedermann (2.1 und 2.2) und Christian Venzin (2.3)

2.1 Allgemeines

Die Überwachung ist Teil des Sicherheitskonzepts. Dieses verlangt vorerst einmal, dass das Absperrbauwerk unter Beachtung des speziellen Gefahrenpotentials für alle möglichen Last- und Betriebsfälle korrekt bemessen ist. Damit wird das Sicherheitsrisiko der Stauanlage so weitgehend minimiert, als dies wirtschaftlich noch verantwortbar ist (Bild 2.1). Ganz ausschliessen kann man es nicht. Es muss deshalb durch zusätzliche Massnahmen dafür gesorgt werden, dass das verbleibende Restrisiko bestmöglich beherrscht werden kann. Dies verlangt zielkonforme Kontrollen und Notfallvorbereitungen: zielkonforme Kontrollen im Hinblick auf ein frühestmögliches Erkennen einer Gefährdung der Sicherheit, Notfallvorbereitungen im Hinblick auf die sach- und zeitgerechte Beherrschung einer erkannten Gefährdung.

Weil Gefährdungen unterschiedliche Ursachen haben können[1], braucht es unterschiedliche Methoden, um alle potentiellen Gefährdungen erkennen zu können. Sie reichen von visuellen Kontrollen über Funktionsproben bis

[1] Bedeutendere Schäden an der Talsperre oder an Nebenanlagen, Mangel bezüglich der konstruktiven Sicherheit, anomale bleibende Verformung oder Verschiebung entweder der Struktur oder des Untergrunds, Anstieg der Porenwasserspannungen oder der Auftriebsdrücke, verstärkte Durchsickerung, instabiler Hang, Fels oder Gletscher im Bereich der Stauhaltung.

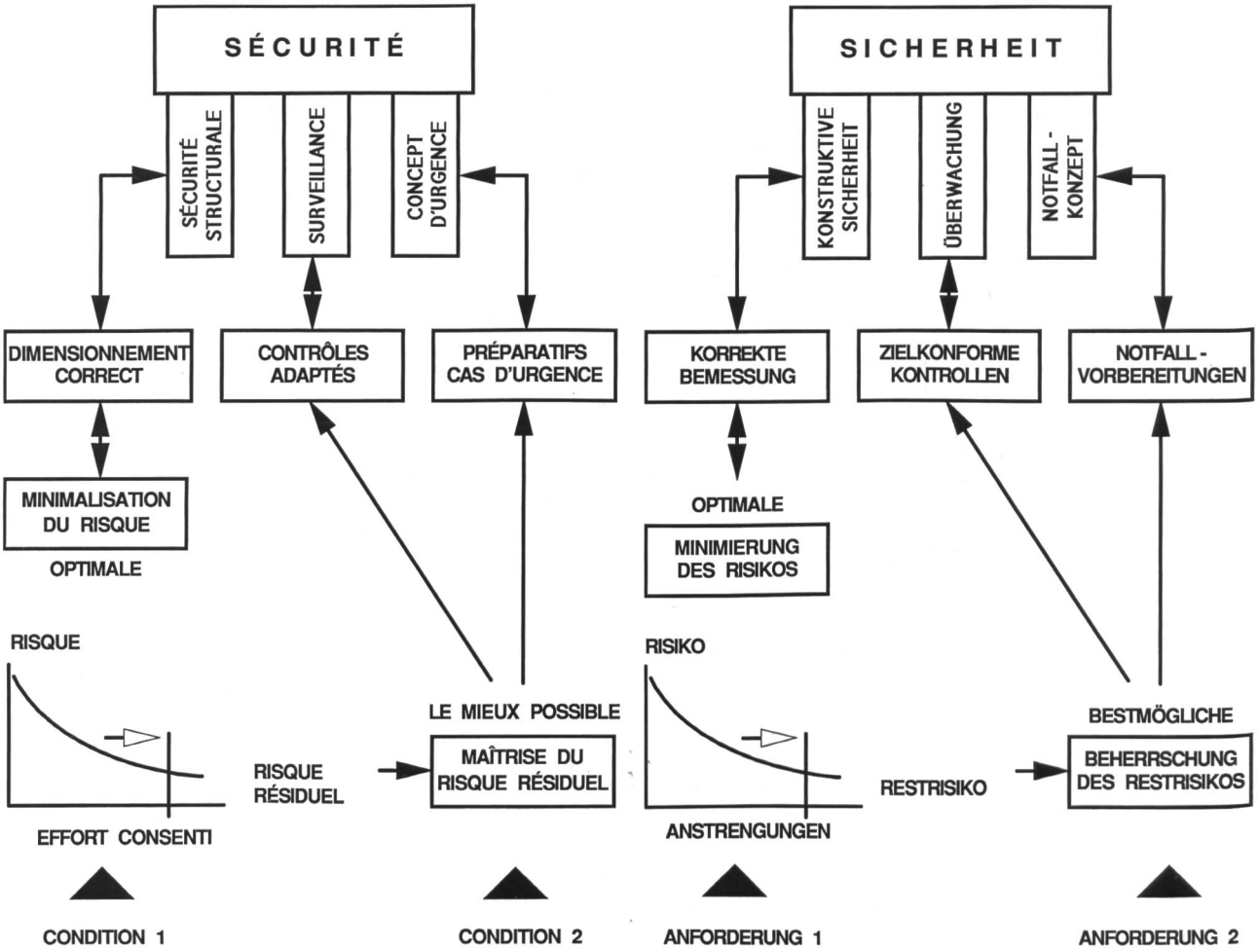


Figure 2.1. Concept pour la sécurité des barrages.

Bild 2.1. Sicherheitskonzept für die Talsperren.

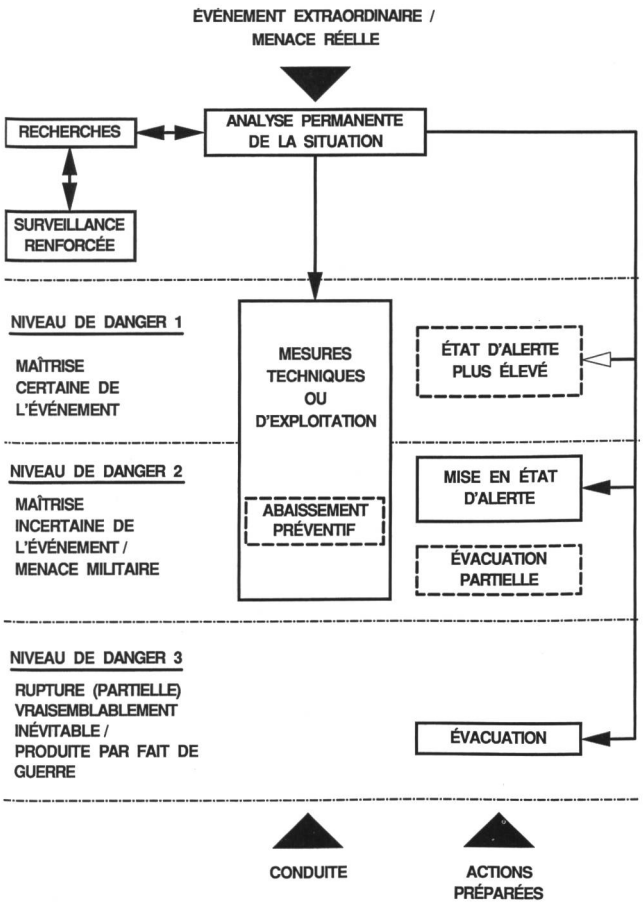


Figure 2.2. Niveaux de danger et leur traitement lors du déclenchement d'un événement extraordinaire.

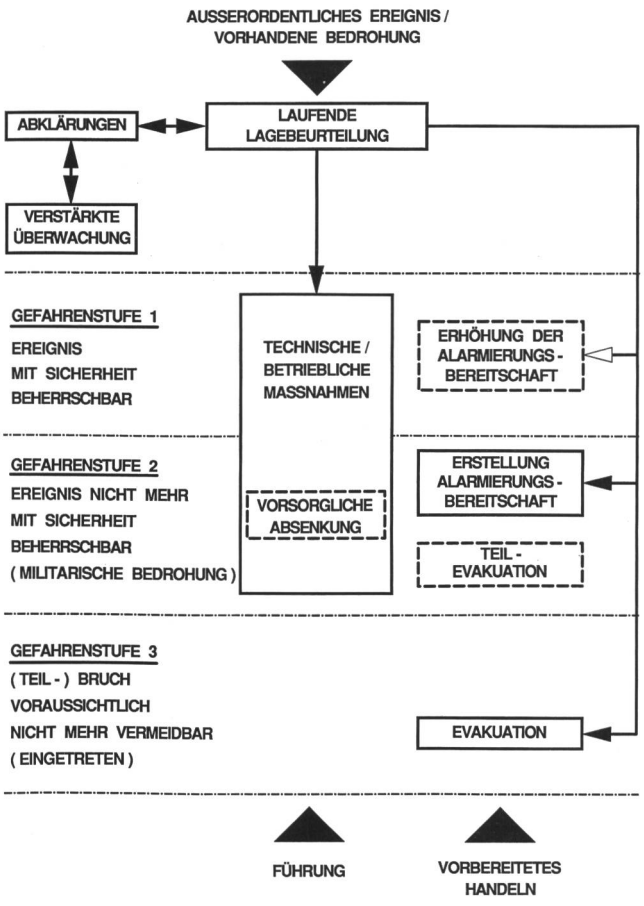


Bild 2.2. Gefahrenstufen und ihre Behandlung bei Eintritt eines ausserordentlichen Ereignisses.

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 œuvre le plus rapide-

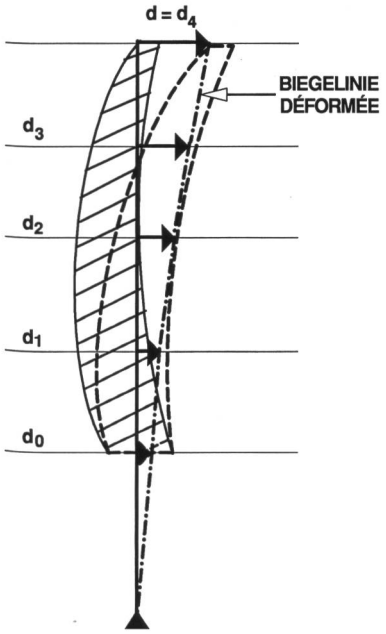


Figure 2.3. Déformation d'un barrage-voûte chargé. Détermination de la déformée sur la base des mesures des déplacements d_0 à d_4 à différentes élévations.

Bild 2.3. Verformung einer Bogenmauer unter Belastung. Ermittlung der Biegelinie aufgrund der Verschiebungsmessungen d_0 bis d_4 auf verschiedenen Höhenlagen.

zum Messen von Verhaltensgrössen und zur Überprüfung der konstruktiven Sicherheit. Auch die Frequenz der Ausführung ist zielkonform festzulegen und reicht von möglicherweise täglich (Erfassung der wichtigsten Verhaltensindikatoren) bis zu einer Kadenz von 5 Jahren (Vornahme der Sicherheitsüberprüfung).

Wird anhand der Überwachung eine Gefährdung erkannt, ist raschestmöglich für Abhilfe zu sorgen. Dafür muss die Ursache bekannt sein, weil nur bei genauer Kenntnis der Ursache sach- und zeitgerecht gehandelt werden kann. Ebenso wichtig ist es, zu wissen, in welcher der drei unterschiedenen Gefahrenstufen man sich befindet (Bild 2.2), weil erhöhte Gefahren besondere Massnahmen erfordern wie die partielle oder totale Absenkung des Stauspiegels, die Erstellung der Alarmierungsbereitschaft oder – als letzte aller Möglichkeiten – die Evakuation der bedrohten Bevölkerung.

Ist eine Verhaltensanomalie festgestellt, werden sowohl für die Ursachenabklärung als auch für die laufende Lagebeurteilung (Bild 2.2) Messdaten benötigt, und zwar erheblich mehr als für das Erkennen der Anomalie. Die Messkonzepte müssen dieser Sachlage Rechnung tragen. Einerseits müssen sie jene Messeinrichtungen umfassen, die die repräsentativen Verhaltensgrössen auf möglichst einfache und trotzdem zuverlässige Art zu erfassen vermögen. Andererseits müssen soviele zusätzliche Messdaten erfassbar sein, dass das Verhalten der Sperre, ihres Untergrunds und des Umfelds genügend differenziert analysiert werden kann, um die Ursache einer festgestellten Anomalie erkennen zu können.

Genügt für die laufende Beurteilung des Verformungsverhaltens einer Staumauer im wesentlichen die Kenntnis

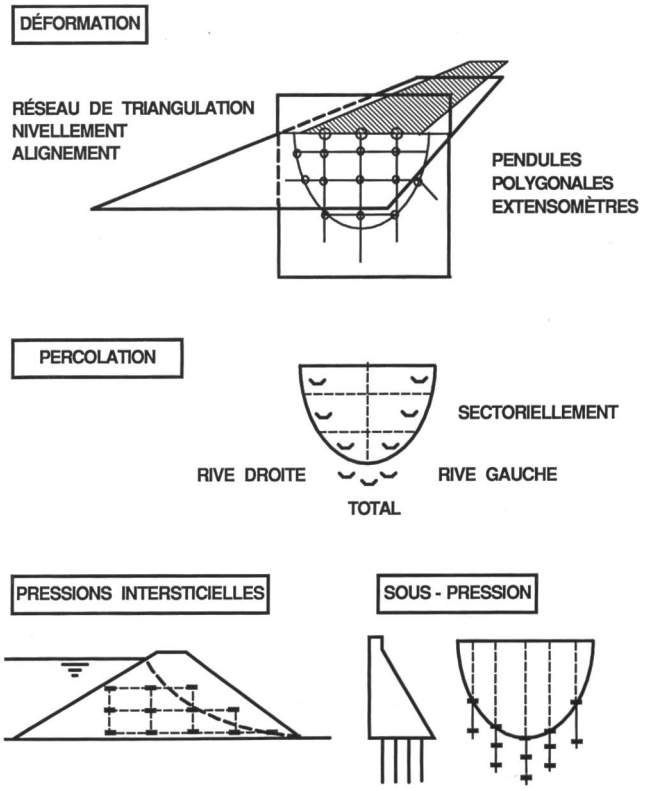


Figure 2.4. Les dispositifs d'auscultation des barrages doivent être conçus de telle manière que les déformations, les débits de percolation et les pressions d'eau puissent être obtenus dans le barrage et dans sa fondation.

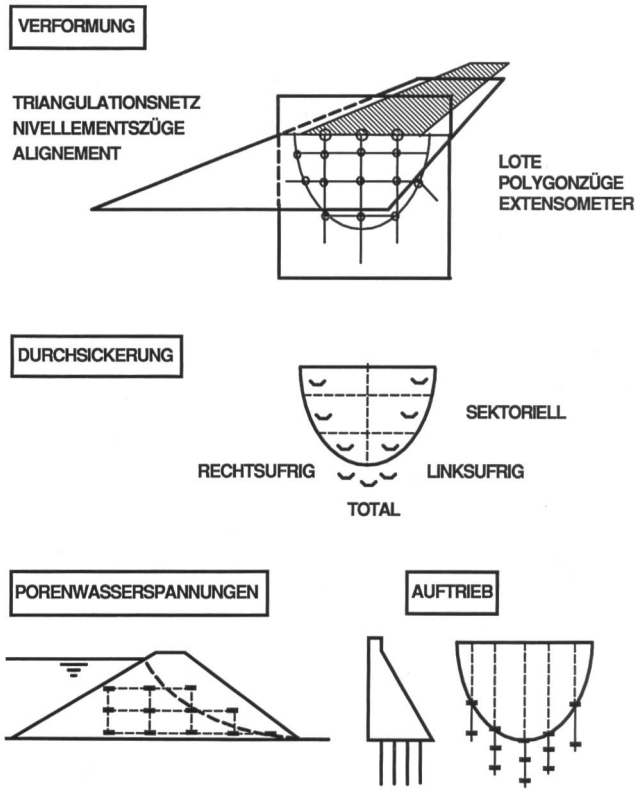


Bild 2.4. Messeinrichtungen zur Talsperrenüberwachung müssen so konzipiert sein, dass sie Verformungen, Durchsickerungen und Wasserdrücke in der Talsperre und ihrer Fundation erfassen können.

ment 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 2.2), 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 (figure 2.2); 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 représentatatifs 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 (figure 2.3). 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

der radialen Verschiebung der Krone *d* an einer oder mehreren Stellen (Bild 2.3), wird für die Ursachenabklärung und die Behandlung eines ausserordentlichen Ereignisses im Minimum auch die Biegelinie benötigt. Dies bedeutet, dass Messmöglichkeiten auf verschiedenen Höhen eingerichtet sein müssen. Sollen auch eine allfällige Verschiebung (radial, tangential), Kippung oder Setzung der Talsperre sowie Verformungen im Umgelände erkennbar sein, braucht es letztlich ein dreidimensionales Messsystem, wie dies in Bild 2.4 oben dargestellt ist.

Ähnliches gilt bezüglich der Durchsickerung. Für die laufende Verhaltensüberwachung genügt in der Regel das Total der Sickerwassermenge, und zwar einschliesslich allfälliger Drainagewassermengen. Zeigt dieses Total unerwartete Abweichungen, muss das Drainagewasser separat und das Sickerwasser sektoriell gemessen werden können. Nur so wird feststellbar, wo sich das Verhalten geändert hat

Nicht in dieses Schema passt die Erfassung von Porenwasserspannungen. Weil diese Drücke sehr stark von lokalen Gegebenheiten abhängig sind, gibt es keine repräsentativen Indikatoren. Es müssen folglich bereits bei der laufenden Überwachung alle Messdaten erhoben werden.

Die Messeinrichtung einer Talsperre sollte folglich etwa so konzipiert sein, wie dies in Bild 2.4 schematisch dargestellt ist. Wichtige Verhaltensinformationen liefern auch talseitige Quellen. Sie sind deshalb ebenso in das Messkonzept einzubeziehen, wie die Grössen, die die Belastungen erfassen. Schliesslich müssen auch instabile Hänge, Felspartien oder Gletscherzungen, die in die Stauhaltung fallen könnten, mittels Messeinrichtungen geeignet überwacht werden.

Wenn bezüglich der Messeinrichtungen von Stauanlagen auch klar zwischen Einrichtungen zur laufenden Verhal-

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.

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.

2.2 Surveillance des déformations du barrage, de ses fondations et de ses 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

tensüberwachung und solchen zur Ursachenabklärung im Falle einer festgestellten Anomalie unterschieden wird, heisst dies nicht, dass die Einrichtungen zur Ursachenabklärung solange nicht benützt werden, als sich die Talsperre normal verhält. Ein solches Verhalten wäre aus zwei Gründen falsch. Zum einen müssen im Falle einer festgestellten (oder vermuteten) Verhaltensanomalie Querbezüge zum vorher ungestörten Verhalten gemacht werden können. Dies setzt periodische Messungen aller erfassbaren Messgrössen voraus (und zwar wenigstens einmal pro 5 Jahre). Zum anderen wäre es unverantwortbar, die zusätzlich erfassbaren Messdaten völlig unbeachtet zu lassen. Sie ermöglichen eine wesentlich detailliertere Verhaltensbeurteilung, was wenigstens von Zeit zu Zeit, d. h. anlässlich der Fünfjahresexpertisen, genutzt werden sollte.

2.2 Überwachung des Verformungsverhaltens der Talsperre, ihres Untergrunds und des Umgeländes

Weil mit Hilfe der Vermessung die Lage und die Höhe von Punkten bestimmt werden kann, und zwar bezogen auf ein vorgegebenes Koordinatensystem, ist sie geeignet, bei der Überwachung des Verformungsverhaltens von Bauten oder Geländepartien eingesetzt zu werden. Insbesondere können mit ihrer Hilfe die benötigten ein-, zwei- und dreidimensionalen Messsysteme aufgebaut werden, die die Aussagekraft der Überwachung erheblich steigern und überdies hochwillkommene Redundanzen enthalten. Man tut deshalb gut daran, die Möglichkeiten der Vermessung zu nutzen. Oft ist dies sogar unumgänglich, und zwar immer dann, wenn mechanische Messeinrichtungen nicht oder nur mit unverhältnismässig hohen Installationskosten einsetzbar sind, wie dies bei Staudämmen, aber auch bei Staumauern der Fall ist, die über keine Kontrollgänge und -schächte verfügen. Nachteilig ist allerdings, dass das Erreichen einer annehmbaren Genauigkeit hohe Aufwendungen und grosse Erfahrung voraussetzt. Präzisionsmessungen können deshalb (in der Regel) vom Personal des Werkeigentümers nicht selber ausgeführt werden. Sie sind somit für Messungen wenig geeignet, die häufig auszuführen sind, wie jene, die im Rahmen der laufenden Überwachung vorzunehmen sind. Ist dies aber unumgänglich, müssen die Sachlage akzeptiert und wichtige Messungen ungeachtet der Kosten wenigstens einmal pro Monat ausgeführt werden.

Beachtet man die Aussagen im Abschnitt 2.1, dürfte das optimale Konzept für die Erfassung des Verformungsverhaltens verwirklicht sein, wenn ein Messsystem eingerichtet ist (Bild 2.5), das aus einem Messnetz in der Ebene der Talsperre (=inneres Messnetz) und einem mehr oder weniger horizontalen Messnetz auf der Höhe der Krone

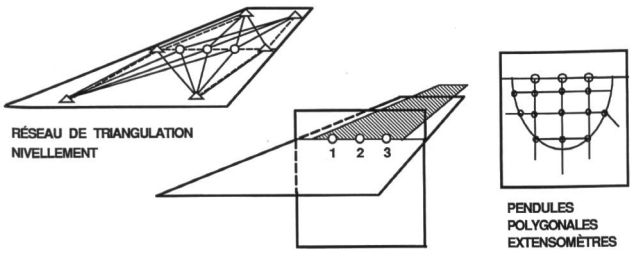


Figure 2.5. Détermination de la déformation d'un barrage à l'aide d'un réseau intérieur (à droite) et extérieur (à gauche), reliés entre eux par quelques points communs (1, 2, 3).

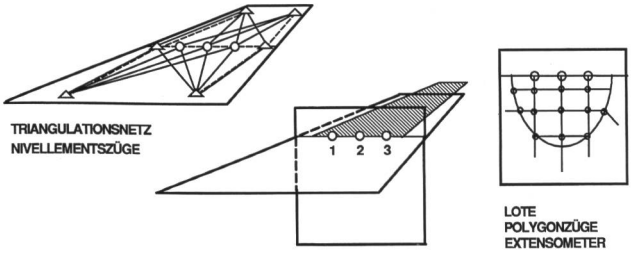


Bild 2.5. Erfassung des Verformungsverhaltens einer Talsperre durch ein inneres (rechts) und ein äusseres Messnetz (links), welche über einige gemeinsame Punkte (1, 2, 3) verknüpft sind.

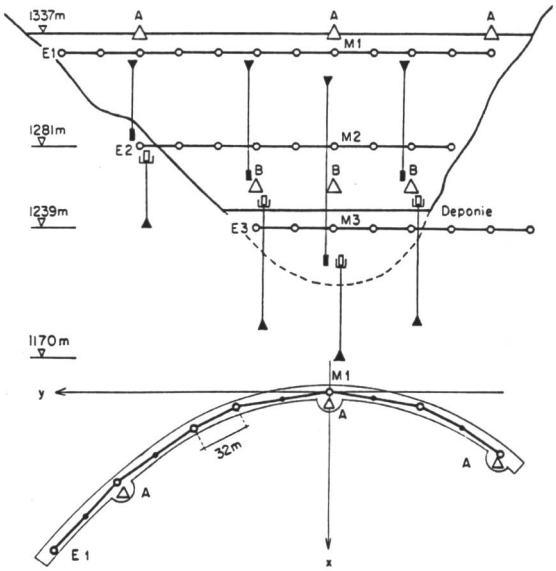
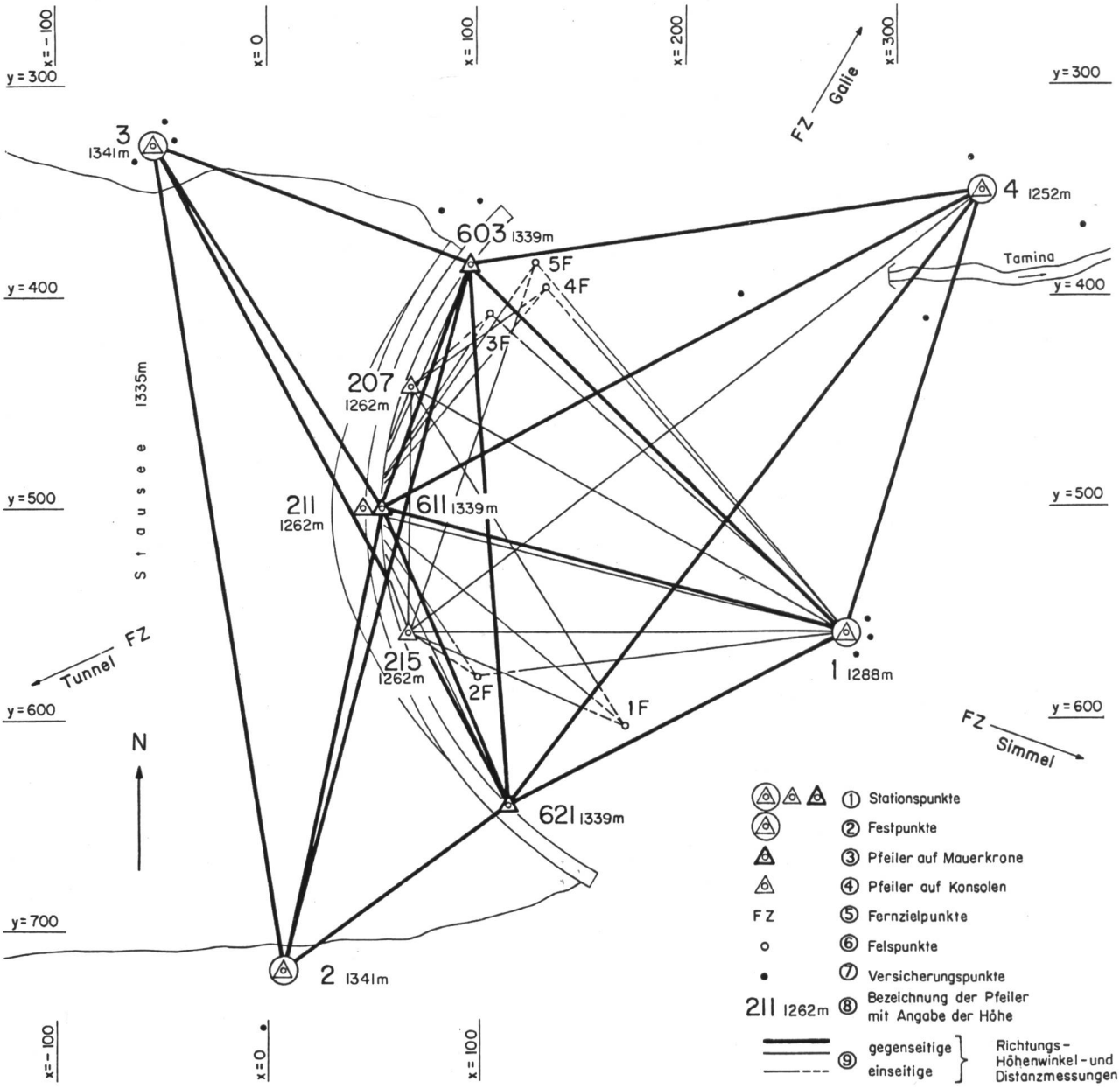


Figure 2.6. Système de mesure des déformations du barrage-voûte de Gigerwald (147 m de hauteur). Le réseau intérieur (figure gauche), composé de 4 pendules et de 4 pendules inversés ainsi que de 3 polygonales, est relié au réseau extérieur (figure inférieure) par les piliers A et B. 1 Stations d'observation. 2 Points de référence. 3 Piliers sur le couronnement du barrage. 4 Console. 5 Points d'orientation. 6 Repère en rocher. 7 Points de référence proche. 8 Désignation des piliers avec indication de l'altitude. 9 Visées de direction, d'angles verticaux et de distances, simples et réciproques.

Bild 2.6. Messsystem für die Verformungen der 147 m hohen Bogenstaumauer Gigerwald. Das innere Messnetz (Figur links), bestehend aus 4 Gewichtsloten und 4 Schwimmloten sowie 3 Polygonzügen, ist über die Pfeiler A und B mit dem äusseren Messnetz (Figur unten) verbunden.



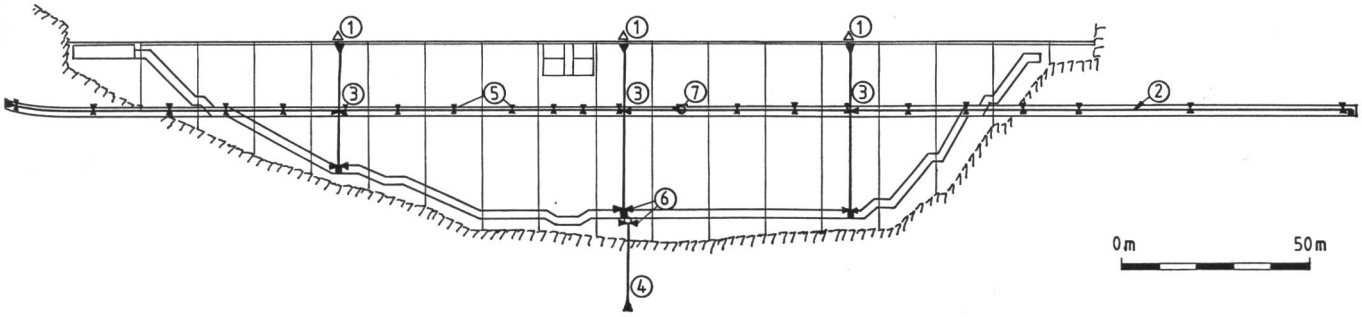


Figure 2.7. Réseau intérieur du barrage poids de Panix. 1 Pilier sur le couronnement destiné à relier le réseau intérieur au réseau extérieur. 2 Alignement par fil, consistant en un fil de 350 mètres tendu d'un appui à l'autre à travers la galerie de contrôle. 3 Pendule. 4 Pendule inversé. 5 Postes de lecture de l'alignement par fil dans chaque plot du mur et aux appuis. 6 Poste de lecture du pendule. 7 Alignement par fil; point d'attache intermédiaire avec flotteur.

Bild 2.7. Inneres Messnetz der Gewichtsmauer Panix. 1 Pfeiler auf der Krone zur Herstellung der Verbindung des inneren Messnetzes mit dem äusseren. 2 Drahtalignement, bestehend aus einem durch den Kontrollgang von Felswiderlager zu Felswiderlager gespannten Draht von 350 m Länge. 3 Gewichtslote. 4 Schwimmlot. 5 Ablesestellen des Drahtalignements in jedem Block der Mauer und in den Felswiderlagern. 6 Ablesestellen der Lote. 7 Zwischenaufhängepunkt des Drahtalignements mit Schwimmer.

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 entraine 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.

Selon les termes du paragraphe 2.1, la conception optimale pour le suivi des déformations est réalisée (figure 2.5) 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 (points 1, 2 et 3 de la figure 2.5). 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

(= äusseres Messnetz) besteht und in der Schnittlinie über einige gemeinsame Punkte verfügt (Punkte 1, 2 und 3 in Bild 2.5). Werden Lage und Höhe der gemeinsamen Punkte im äusseren Messnetz, d. h. ausgehend von sogenannten Festpunkten, bestimmt, ist ein räumliches Messsystem verwirklicht, das für Punkte der Talsperre solange absolute Werte bezüglich Lage und Höhe liefert, als die Festpunkte fest sind. Damit können ausser Verformungen auch Verschiebungen und Kippungen der Talsperre sowie absolute Höhenänderungen erfasst werden. Schliesslich erlaubt das äussere Messnetz, festzustellen, ob das Umgelände stabil ist oder irgendwelche Verformungen erleidet.

Am elegantesten wird die messtechnische Lösung, wenn das innere Messnetz mit orthogonalen Messlinien, d. h. mit Loten in der Vertikalen und Polygonzügen in der Horizontalen, ausgerüstet werden kann, und zwar deshalb, weil Lote besonders geeignet sind, die laufende Überwachung einfach und zuverlässig sicherzustellen. Die Messungen können vom Personal des Werkeigentümers ausgeführt werden. Ein Messen ist überdies nur verunmöglicht, wenn die Talsperre selbst mit dem Helikopter nicht mehr erreichbar ist. Falls erwünscht, ist auch eine automatische Datenerfassung und -fernübertragung möglich. Reichen einzelne Messlinien weit in den Untergrund oder die Widerlager hinein, d. h. in Tiefen, die kaum mehr

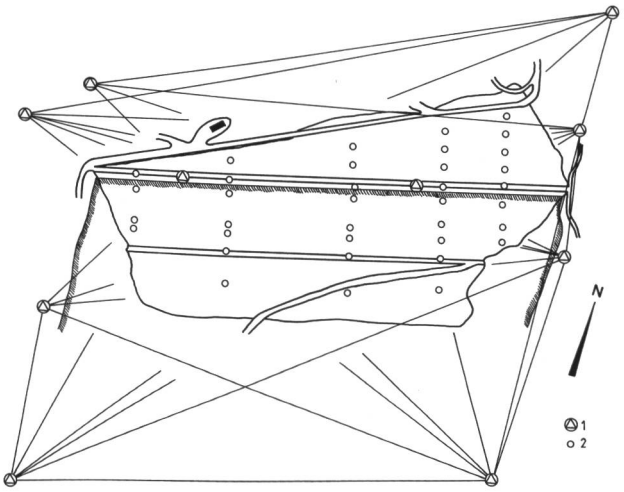


Figure 2.8. Réseau «intérieur» et extérieur de la digue de Mattmark (120 m de hauteur). 1 Piliers du réseau extérieur. 2 Points de contrôle sur le parement de la digue.

Bild 2.8. «Inneres» und äusseres Messnetz des 120 m hohen Staudammes Mattmark. 1 Pfeiler des äusseren Messnetzes. 2 Kontrollpunkte auf der Dammoberfläche.

Figure 2.9. Réseau «intérieur» du barrage-voûte des Toules (86 m de hauteur). (A) Elévation du parement aval avec points de contrôle. (B) Vue en plan avec piliers de mesure. Les déplacements des points de contrôle du parement aval (par exemple point 11a) sont déterminés par intersection à partir des piliers de mesure P1, P2, P3.

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. La figure 2.6 montre le dispositif d'auscultation du barrage de Gigerwald.

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 point 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. A titre d'exemple, la figure 2.7 illustre le système interne du barrage de Panix.

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 (figures 2.8 et 2.9). 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 (figure 2.10). 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 (figure 2.11). 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 [2] a montré qu'un fort gradient thermique entre l'aval et l'amont provoque un effet de réfraction qui entraine, 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

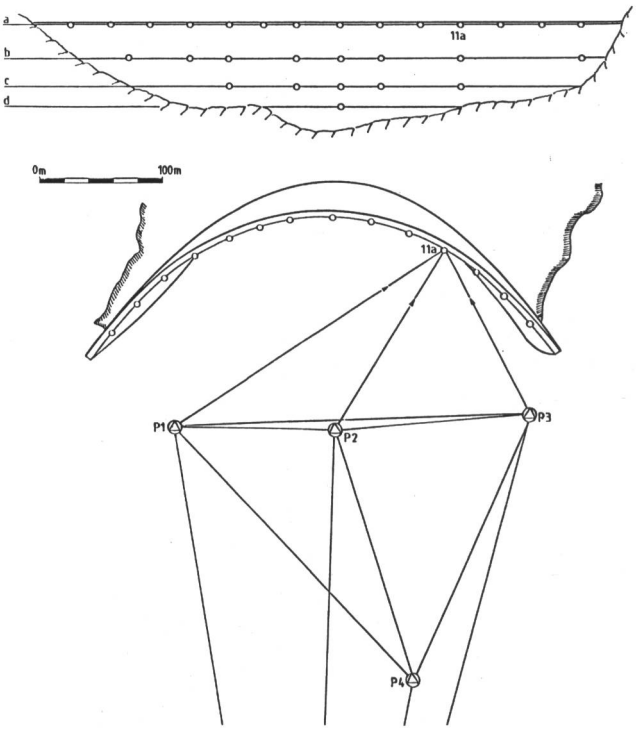


Bild 2.9. «Inneres» Messnetz der 86 m hohen Bogenstaumauer Les Toules. (A) Ansicht der Mauerluftseite mit Kontrollpunkten. (B) Grundriss mit Messpfeilern. Die Verschiebungen der Kontrollpunkte auf der Mauerluftseite (z. B. Punkt 11a) werden mittels Vorwärtseinschnitt von den Messpfeilern P1, P2, P3 bestimmt.

Verformungen erleiden, liefert auch das innere Messnetz nahzu absolute Werte. Dies ist, wenn immer möglich, anzustreben, weil weder das Triangulationsnetz noch die Nivellementszüge vollständig wintertaugliche Messeinrichtungen sind.

Es sind heute fast alle etwas grösseren Staumauern in dieser Weise ausgerüstet. Als Beispiel ist in Bild 2.6 die Messanlage der Staumauer Gigerwald dargestellt.

Soll bei (längeren) Gewichtsmauern auch das Verformungsverhalten derjenigen Blöcke regelmässig überwacht werden, die nicht mit Loten ausgerüstet sind, kann der Polygonzug im obersten Kontrollgang durch ein Drahtalignement (und ergänzend ein Nivellement) ersetzt werden. Die Bestimmung der Lage der Messpunkte längs der Mauer (in der Regel einer pro Block) kann unter dieser Voraussetzung durch Personal des Werkeigentümers und somit gleich häufig wie das Messen der Lote vorgenommen werden. Als Beispiel ist in Bild 2.7 das innere Messnetz der Staumauer Panix dargestellt.

Die Lösung mit Loten und Polygonzügen (respektive einem Drahtalignement) ist nur bei Talsperren realisierbar, die über Kontrollgänge und Schächte verfügen, in der Regel also nur bei grösseren Staumauern. Fehlen Kontrollgänge und Schächte, wie dies bei Staudämmen und meist auch bei kleineren Staumauern der Fall ist, muss das Konzept insofern geändert werden, als die Rasterpunkte des inneren Messnetzes auf dem luftseitigen Parament anzuordnen und vom äusseren Messnetz aus einzumessen sind (Bilder 2.8 und 2.9). Die Lösung ist, was die Erfassung des Verformungsverhaltens der Struktur und der Umgebung anbelangt, vollwertig. Es werden jedoch keine Informationen über das Verhalten des Untergrunds erhalten. Ferner ist die Wintertauglichkeit auch für das «innere» Messnetz nicht besonders gut. Es wäre deshalb gerade für solche Messsysteme von hoher prakti-

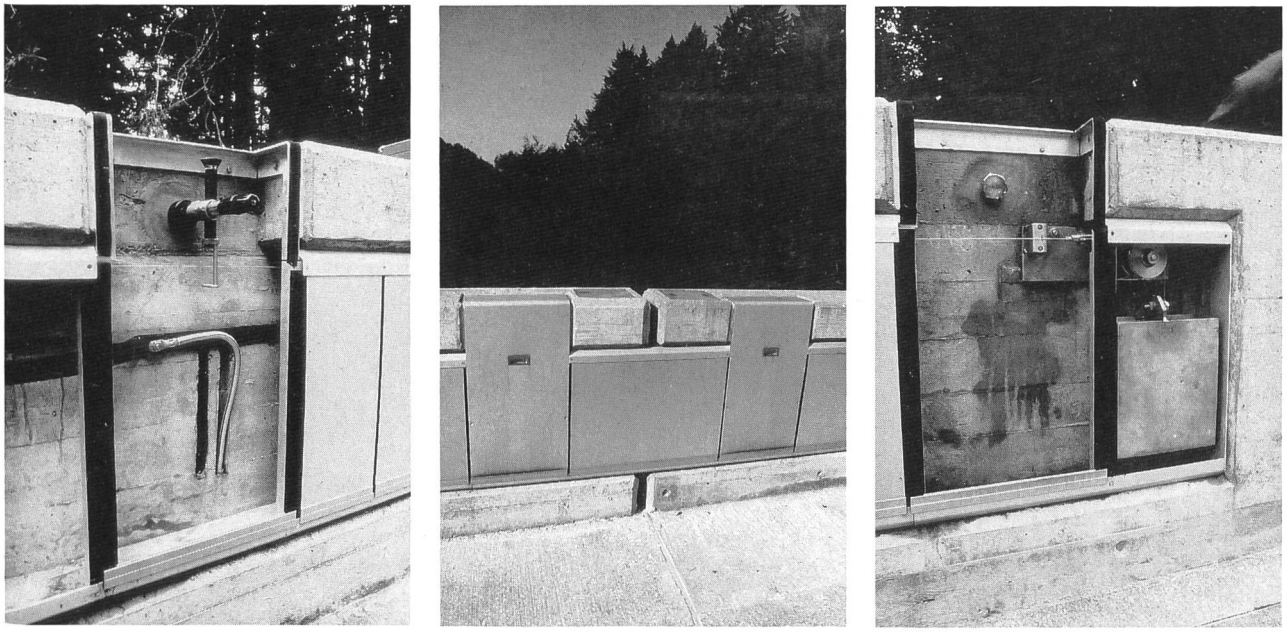


Figure 2.10. Alignement par fil installé dans le parapet massif du barrage-poids de Rempen. Le système de tension garantit une tension constante du fil (photo de droite). Le déplacement du point de mesure par rapport au plan vertical formé par l'alignement est mesuré optiquement (à gauche). Couvercle de protection au droit des points de mesure (au milieu).

Bild 2.10. Drahtalignement, welches in der massiven Brüstungsmauer der Gewichtsstaumauer Rempen eingebaut ist. Die Abspannvorrichtung gewährleistet eine konstante Vorspannung des Drahts (Photo rechts). Die Verschiebung des Messpunktes gegenüber der durch das Alignement gebildeten Vertikalebene wird optisch gemessen (links). Abdeckung des Alignements bei Messpunkten (Mitte).

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 – figure 2.14) 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.

La conception modulaire du système géodésique offre toute une palette de solutions entre la mesure la plus simple, à savoir la mesure du déplacement d'un point au niveau du couronnement, et la mesure complète, qui englobe la totalité des mesures possibles. Il faut recourir de façon optimale à cette marge de manœuvre, non seulement

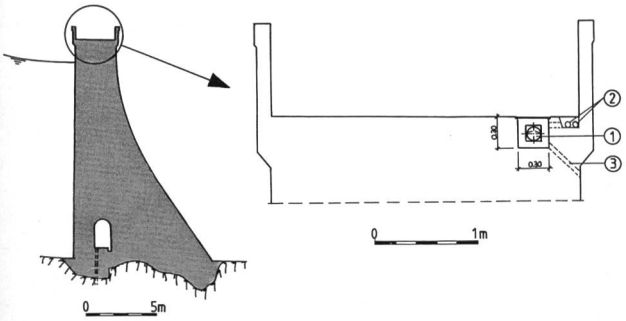


Figure 2.11. Equipement par inclinomètre du barrage-poids de Darbola. 1 Inclinomètre (tiltmètre) monté dans une petite niche au niveau du couronnement. 2 Chemin de câbles pour télé-transmission des mesures. 3 Forage de drainage pour la niche.

scher Bedeutung, wenn die satellitengestützte Vermessung (GPS) zur Verbesserung eingesetzt werden könnte. Schliesslich ist die laufende Überwachung stark erschwert, weil kein dem Lot vergleichbares Messinstrument zur Verfügung steht. Einzige Ausnahme bildet das Drahtalignement, das bei geraden Gewichtsmauern in die Brüstungsmauer eingebaut werden kann, wie dies bei der Staumauer Rempen der Kraftwerke Wägital verwirklicht wurde (Bild 2.10).

In allen übrigen Fällen ist die Zeitspanne zwischen zwei geodätischen Vollmessungen durch den Einsatz entweder eines optischen Alignements oder einer einfachen Winkelmessanlage zu überbrücken. Bei Staumauern kommen in jüngster Zeit auch Präzisions-Neigungsmesser zur Anwendung, die luft- oder wasserseitig längs Linien angeordnet werden (Bild 2.11). Die erhaltenen Daten sind allerdings schwer interpretierbar.

Optische Alignemente (Bild 2.12) sind nicht sehr zuverlässig. Eine Untersuchung des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ im Jahr 1990 bei der Gewichtsmauer Sella im Gotthardgebiet [2] hat gezeigt, dass die starken thermischen Gradienten, die zwischen der Luft- und der Wasserseite entstehen (Bild 2.13), Seitenrefraktionen verursachen, die im Extremfall die Richtung bis zu 30 cc verfälschen, was bei 300 m Visurlänge eine seitliche Abweichung von 14 mm bedeutet. Eine Steigerung der Genauigkeit kann erreicht werden, wenn an meteorologisch günstigeren Tagen (bewölktes Wetter) oder zu geeigneteren Stunden gemessen wird, wobei Nachtstunden nicht unbedingt geeigneter sind. Möglicherweise besser ist die trigonometrische Bestimmung, d. h. der Vorwärtseinschnitt ab zwei Festpunkten ausserhalb der Talsperre

Bild 2.11. Ausrüstung der Gewichtsstaumauer Darbola mit Neigungsmessern. 1 Neigungsmesser (Tiltmeter), in einer kleinen Nische in der Mauerkrone montiert. 2 Kabelrohre für die Fernübertragung der Messwerte. 3 Drainagebohrung für die Entwässerung der Nische.

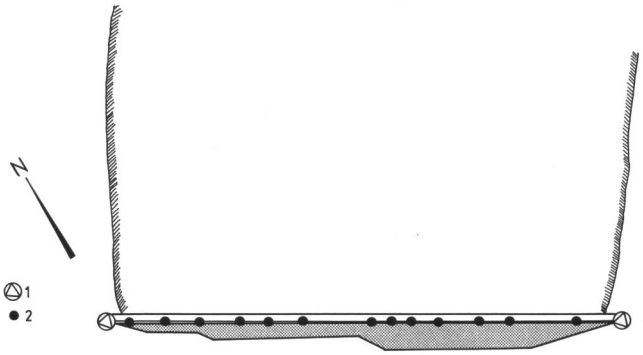


Figure 2.12. Alignement optique du barrage-poids de Sella. 1 Piliers de mesure aux extrémités du couronnement formant le plan vertical de référence. 2 Points de contrôle sur le couronnement, dont le déplacement horizontal par rapport au plan de référence est mesuré.

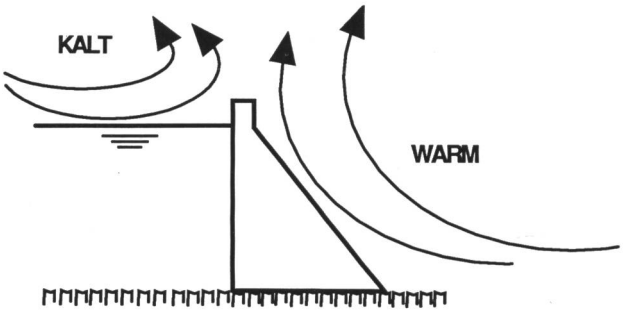


Figure 2.13. Des gradients thermiques importants entre les parements amont et aval d'un barrage peuvent causer des réfractions latérales substantielles et conduire à des résultats de mesure erronés. Une meilleure précision est obtenue en mesurant lors de jours ou d'heures météorologiquement favorables.

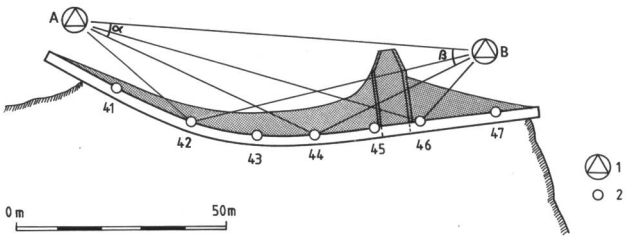


Figure 2.14. Mesure simple d'angles du barrage-poids de Chapfensee. 1 Piliers de mesure (A, B). 2 Points de contrôle au couronnement (41–47), dont le changement de position dans la direction amont-aval est déterminée par le changement d'angle ∡ α de l'angle α. Les angles β peuvent également être mesurés du point B à des fins de vérification.

pour répondre au mieux aux objectifs de la surveillance, mais aussi dans le but de limiter les frais. Le programme de mesure doit être revu périodiquement par le spécialiste chargé de la surveillance, en compagnie du géomètre responsable. Deux conditions doivent cependant être remplies dans tout les cas:

- Lors de la surveillance permanente, une mesure au moins une fois par mois des paramètres représentatifs du comportement
- une mesure géodésique complète tous les 5 ans.

Bild 2.12. Optisches Alignement der Gewichtsstaumauer Sella. 1 Messpfeiler an beiden Kronenenden der Staumauer, welche die vertikale Bezugsebene bilden. 2 Kontrollpunkte auf der Mauerkrone, deren Horizontalverschiebung bezüglich der Bezugsebene gemessen wird.

Bild 2.13. Starke thermische Gradienten zwischen Luft- und Wasserseite einer Talsperre können erhebliche Seitenrefraktionen hervorrufen und zu Verfälschungen der Messergebnisse führen. Eine bessere Genauigkeit wird erreicht, wenn an meteorologisch günstigen Tagen oder Stunden gemessen wird.

Bild 2.14. Einfache Winkelmessung der Gewichtsstaumauer Chapfensee. 1 Messpfeiler (A, B). 2 Kontrollpunkte auf der Mauerkrone(41 – 47), deren Lageänderungen in See-Tal-Richtung über die Winkeländerung ∡α der gemessenen Winkel αbestimmt wird. Zur Kontrolle können auch die Winkel βvom Messpfeiler B aus gemessen werden.

(Winkelmessung und/oder Distanzmessung – Bild 2.14). Sie setzt aber Erfahrung im Umgang mit Vermessungsinstrumenten voraus.

Angesichts der begrenzten Genauigkeit der optischen Alignemente und der Neigungsmessung ist es bei Stauanlagen ohne Kontrollgänge und Schächte angezeigt, die Zeitspanne zwischen zwei geodätischen Vollmessungen kurz zu halten, d. h. sie wenigstens einmal, besser mehrmals jährlich vorzunehmen.

Dank des modularen Aufbaus der geodätischen Messanlagen ist zwischen der einfachsten Messung, d. h. der Erfassung der radialen Verschiebung eines einzigen Kronenpunkts, und der Vollmessung, d. h. der Erfassung aller möglichen Messwerte, jede beliebige Zwischenlösung möglich. Diesen Entscheidungsfreiraum gilt es optimal zu nutzen, und zwar nicht nur im Hinblick darauf, die Zielsetzungen der Überwachung bestmöglich zu erfüllen, sondern auch darauf, dies mit vernünftigen Kosten zu tun. Das Messprogramm sollte deshalb vom beauftragten Talsperrenspezialisten periodisch überdacht werden, und zwar unter Beizug des zuständigen Vermessungsspezialisten. Zwei Anforderungen sollten aber in jedem Fall erfüllt sein:

- Messung der repräsentativen Verhaltensindikatoren, d.h. laufende Überwachung wenigstens einmal pro Monat
- Vollmessung wenigstens alle 5 Jahre.

2.3 Surveillance des zones de terrain 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 en-

2.3 Überwachung kritischer Geländepartien

Als kritische Geländepartien für Stauanlagen werden instabile Zonen der Talhänge oder Talflanken bezeichnet, wenn sie im Falle eines Abrutsches oder Absturzes das Wasser in Staubecken zum Überschwappen bringen oder das Sperrenbauwerk bzw. wichtige Betriebseinrichtungen (Überlauf, Triebwasserfassung, Grundablass) derart beschädigen könnten, dass deren sicheres Funktionieren nicht mehr gewährleistet wäre. Sie werden von Fachleuten des Talsperrenbaues, d. h. von Bauingenieuren in Zusammenarbeit mit Geologen, einerseits aufgrund von Anzeichen vorhandener oder möglicher Instabilität, anderseits aufgrund der Gefährdungen abgegrenzt. Zu überwachen sind in solchen Partien in der Regel vor allem Verformungen, Verschiebungen und Wasserzirkulationen. Hiefür kommen wie bei den Sperren visuelle Kontrollen und Messungen, beides in gleicher Wichtigkeit, zum Einsatz.

Stabilitätsverbesserungen können, sofern realisierbar, durch Entwässerungen, Teilabtrag, Stützung oder Verankerung und im Bereich der Stauräume durch Beschränkung der Stauspiegelschwankungen, besonders der Sinkgeschwindigkeit, erreicht werden. Erhöhter Gefahr könnte durch Vergrösserung des minimalen Freibordes, durch vorsorgliches Absenken oder Entleeren des Staubeckens begegnet werden.

Bei den Sperren ist das normale Verformungsverhalten vorwiegend elastisch, d. h. die Verschiebungen wiederholen sich periodisch im Rhythmus der Stau- und Temperaturschwankungen und in einem gleichbleibenden Grössenbereich. Bei Geländepartien sind demgegenüber im Normalfall «absolute» Ruhe oder bleibende Verformungen von annähernd konstanter Geschwindigkeit vorherrschend. Oft sind sie zudem von jahreszeitlichen Beschleunigungen und Verlangsamungen infolge Schwankungen des Grundwasserspiegels oder Durchnässungen überlagert. Im Gegensatz zu den Sperren, wo das Normalverhalten durch ihre Konstruktion und aus Berechnungen weitgehend im voraus bekannt ist, kann das Normalverhalten von kritischen Geländepartien nur nach mehrjährigem Messen bestimmt werden. Meistens müssen dabei auch das Volumen, die Oberfläche und die Mächtigkeit, der in Bewegung befindlichen Partie ermittelt werden; ebenso der Bewegungsmechanismus innerhalb der Masse, vor allem, ob sie auf einer oder auf mehreren Gleitflächen oder ohne ausgeprägte Gleitfläche rutscht.

Bei kritischen Geländepartien können die zu überwachenden Verformungen und Verschiebungen bedeutend grössere Beträge als bei den Sperren erreichen. In diesem Fall kann die Erfassungsgenauigkeit angemessen vermindert werden.

Die Verformungen der Oberfläche können ohne Zweifel am zuverlässigsten mit Hilfe von Deformationsmessungen erfasst werden. Optimale Voraussetzung bildet ein rasterförmiges, orthogonales Messnetz, das sich – ähnlich wie das äussere Messnetz der Talsperren – nach allen Seiten auf Festpunkte abstützt. Es ist jedoch selten möglich, derart ideale Netze zu verwirklichen. Oft sind ruhige Zonen für die Festpunkte nur einseitig vorhanden oder sie erweisen sich aufgrund der Messungen als instabil. Ferner können beschränkte Visurmöglichkeiten hinderlich sein, besonders in bewaldetem Gebiet. Hinzu kommt, dass die Standorte für Messpunkte, -stationen und -pfeiler mit Rücksicht auf zerstörerische Einwirkungen von Steinschlag, Rüfen, Schneerutschen, Lawinen usw. sowie im Hinblick auf entsprechende Gefährdung

Figure 2.15. Surveillance de pentes critiques. Exemple de l'engagement combiné de systèmes de mesure de déformations. 1 Triangulation pour la détermination de la déformation de la surface. 2 Mesures en forages pour la détermination de la profondeur des plans de glissement. 3 Mesures de distance pour l'exécution fréquente de mesures simplifiées.

courus 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 (voir chapitre 4 et annexe 2). 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 (figures 2.15 et 2.16).

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 déflection 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 (figure 2.15). 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.

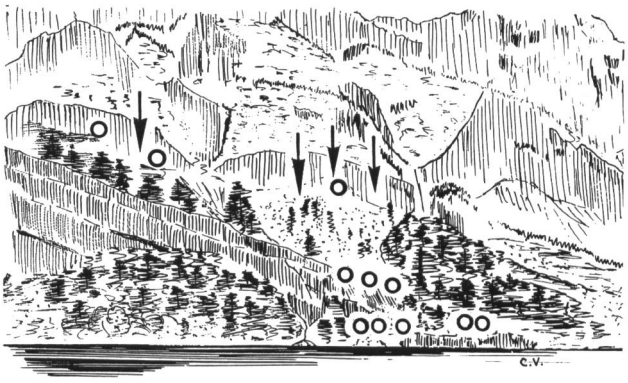


Figure 2.16. Systèmes de mesure de pentes critiques. [○] Points de contrôle du réseau de triangulation. [↓] Profils de mesure de distance pour l'exécution fréquente de mesures simplifiées.

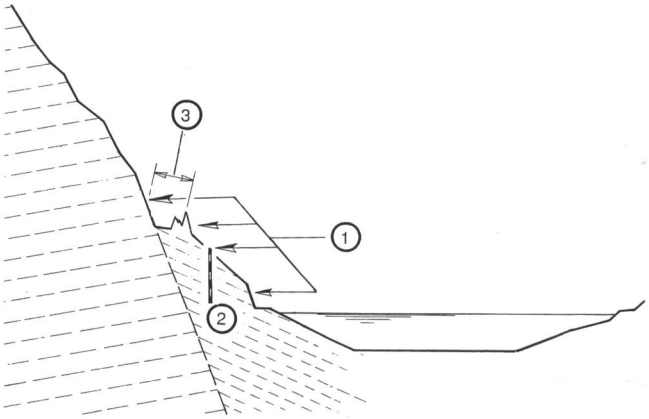


Bild 2.15. Überwachung von kritischen Geländepartien. Beispiel eines kombinierten Einsatzes von Verformungsmesssystemen. 1 Triangulation für die Bestimmung der Verformung der Oberfläche. 2 Bohrlochmessungen für die Ermittlung der Tiefenlage von Gleitflächen. 3 Streckenmessungen für die häufige Durchführung von vereinfachten Messungen.

des Messpersonals nicht frei wählbar sind. Solche Schwierigkeiten kann man auf verschiedene Arten überwinden. Wenn zu wenig Festpunkte oder Visuren zu finden sind, bietet die satellitengestützte Vermessung (GPS) einen Ausweg (siehe Kapitel 4 und Anhang Nr. 2). Zum Schutz des Messpersonals können vollständige Messungen in ungefährliche oder weniger gefährliche Zeiten verlegt werden. Die Überwachung wird dann mit reduzierten oder einfacheren Zwischenmessungen, bei denen nur relative Verschiebungen von repräsentativen Punkten bestimmt werden, sichergestellt. Solche Messungen müssen ohnehin in jedem Messkonzept eingeplant werden, damit die messtechnische Überwachung in ausserordentlichen Lagen, wenn häufigere Messungen nötig werden, gewährleistet ist. Zum Einsatz kommen hiefür z. B. allein oder kombiniert Strecken-, Distanz- Winkel-, und GPS-Messungen (Bilder 2.15 und 2.16).

Mächtigkeit der bewegten Masse und Tiefenlage von Gleitflächen lassen sich in Bohrungen ermitteln, ebenso Verformungs- bzw. Geschwindigkeitsprofile. Hiefür werden Durchbiegungen der Bohrlochachsen und axiale Längenänderungen differentiell in Ketten von kurzen Messstrecken mittels sogenannter Gleitmikrometer, Gleitklinometer oder Deflektometer gemessen (Bild 2.15). Gleitflächen zeigen sich in den Verformungsprofilen als Spitzen, Stufen oder Treppen. Um festzustellen, ob auch unterhalb vom Bohrlochende Verformungen stattfinden bzw. tieferliegende Gleitflächen vorhanden sein könnten, d. h. zur zuverlässigen Erfassung der bewegten Gesamtmasse müssen die Bohrungen an der Oberfläche in das Vermessungsnetz einbezogen und ihre Lage in bezug auf die kontrollierten Festpunkte dieses Netzes eingemessen werden. Die in den Bohrlochmessungen nicht erfassten, tieferliegenden Verschiebungen, ergeben sich aus der Differenz der mit Hilfe beider Messsysteme voneinander unabhängig ermittelten Verschiebungen der Verknüpfungspunkte. Falls Tunnel, Stollen oder Schächte die Rutschmassen durchqueren, sind auch diese zur Verformungsmessung mittels Alignementen, Nivellementen oder Polygonzügen dienlich. Solche Messungen müssen,

Bild 2.16. Messsysteme zur Überwachung kritischer Geländepartien. [○] Kontrollpunkte des Triangulationsnetzes. [↓] Streckenmessprofile für die häufiger durchgeführten vereinfachten Messungen.

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 œuvre pour la surveillance de masses rocheuses instables (voir chapitre 5). 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 (voir annexe 1).

3. Mesures terrestres de déformation

Kurt Egger

3.1 Introduction

La géodésie terrestre est une des disciplines de la métrologie. C'est le procédé utilisé habituellement en mensuration nationale jusqu'à ce jour pour obtenir des coordonnées et des altitudes dans un système unique.

Depuis les années 1920, les méthodes de la géodésie classique servent aussi à déterminer le comportement des barrages et de leurs environs.

La mesure de directions ou d'angles horizontaux permet grâce au calcul d'intersection de déterminer les mouvements horizontaux de points de contrôle choisis sur le parement aval du barrage. Depuis 1973, on dispose aussi de la mesure de distances précises au moyen d'appareils électro-optiques. Les mouvements verticaux sont déterminés par nivellement de précision ou par la mesure d'angles verticaux (angles de hauteur ou distances zénithales).

Par ces méthodes, toujours plus précises au cours des années, on parvient à décrire le comportement des barrages par l'intermédiaire d'un plus ou moins grand nombre de points de contrôle, selon les besoins des autorités de surveillance, des experts et des ingénieurs constructeurs.

3.2 La conception du réseau

Avec l'exploitation, la conception du réseau de mesure (ci-après appelée le projet) constitue l'aspect le plus important des mesures terrestres de déformation. Le projet prévoit pour une longue période, de 50 ans ou plus, quelles déformations planimétriques et altimétriques devront

wenn möglich, wie die Bohrungen in das äussere Messnetz integriert werden.

Die erwähnten Messverfahren kommen auch zur Überwachung von kritischen Gletscherpartien zum Einsatz. Die Formänderungen der Oberflächen absturzgefährdeter Eismassen werden teilweise zusätzlich photogrammetrisch kontrolliert. Die photogrammetrische Deformationsmessung hat sich inzwischen auch bei speziellen Überwachungen von Lockergesteinsmassen durchgesetzt (siehe Kapitel 5). Die dabei anfallenden Photos enthalten zusätzliche Informationen für die Sicherheitsbeurteilung. Mit periodischen Luftaufnahmen kann der Zustand von Geländepartien besonders gut dokumentiert werden. Falls eine Gefährdung erkannt wird, sind nachträgliche messtechnische Auswertungen möglich.

Weil die Eignung der Messanlage, besonders die Richtigkeit der Festpunktannahmen, oft nur durch Wiederholung der Messung zuverlässig festgestellt werden kann, sollte der ersten Messung spätestens nach einem Jahr eine zweite folgen. Zur reinen Überwachung, d. h. sobald Ursache und Mechanismus der Instabilität genügend bekannt sind, sind die Messungen mindestens alle fünf Jahre zu wiederholen. Für häufigere Messungen, mit denen saisonale Schwankungen oder ausserordentliche Beschleunigungen der Bewegungen erfasst werden sollen, sind vereinfachte Messungen anzustreben. Denkbar ist, dass bei ausserordentlichen Bewegungen oder in unzugänglichem Gelände automatisierte, vereinfachte Messungen zum Einsatz kommen müssten (siehe Anhang Nr. 1).

3. Terrestrische Deformationsmessungen

Kurt Egger

3.1 Einleitung

Die terrestrische Geodäsie ist ein Zweig der Metrologie. Sie ist das in der Landesvermessung gebräuchliche Verfahren, welches man bis heute verwendet hat, um in einem einheitlichen System Koordinaten und Höhen zu bestimmen.

Seit etwa 1920 dienen die Methoden der klassischen Geodäsie auch der Bestimmung des Verformungsverhaltens von Stauanlagen und ihrer Umgebung.

Die Messung von horizontalen Winkeln oder Richtungen ermöglicht mittels Vorwärtseinschnitt die Feststellung von horizontalen Bewegungen ausgewählter Kontrollpunkte an der Luftseite der Stauanlage. Dazu kommt seit etwa 1973 die Messung von genauen Distanzen mit Hilfe von elektrooptischen Distanzmessgeräten. Vertikale Bewegungen werden mittels Präzisionsnivellement oder der Messung von Vertikalwinkeln (Höhenwinkeln oder Zenitdistanzen) ermittelt.

Mit diesen im Laufe der Jahrzehnte immer genaueren Messmethoden gilt es, das Verhalten der Stauanlagen entsprechend den Bedürfnissen der Aufsichtsbehörde, der Experten und der Bauingenieure anhand einer kleineren oder grösseren Zahl von Kontrollpunkten zu erfassen.

3.2 Das Projekt

Das Projekt der Messanlage stellt zusammen mit der Auswertung den wichtigsten Bestandteil der terrestrischen Deformationsmessung dar. Das Projekt legt für eine lange Zeitdauer von 50 oder mehr Jahren fest, welche Lage-