

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 74 (1982)
Heft: 1-2

Artikel: Geodätische Deformationsmessungen : eine Zeitgemäss Vorstellung
Autor: Egger, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941107>

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: 27.12.2025

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

Geodätische Deformationsmessungen: Eine zeitgemäss Vorstellung

Kurt Egger

Zusammenfassung

Die Verbindung von geodätischen Deformationsmessungen und mechanischen Messungen, mehrstufige geodätische Messanlagen, grossräumige Triangulationsnetze und ganzjährige Messbereitschaft bilden die Ziele einer zeitgemässen, geodätischen Deformationsmessung. Das Projekt einer geodätischen Messanlage und des dazugehörigen Messprogrammes ist das Resultat gegenseitiger Verständigung zwischen Bauingenieur, Staumauereigentümer, Aufsichtsbehörde, Geologe und Geodät.

Mesures géodésiques de déformations: Une conception moderne

Résumé:

La relation entre les mesures géodésiques de déformation et les mesures des appareils installés, le dispositif d'observation pour les mesures complètes et réduites, les réseaux de triangulation étendus et la possibilité de mesurer pendant toute l'année sont les objectifs d'une conception moderne. Le projet d'une disposition de mesures géodésiques et le programme de mesures correspondant sont le résultat d'une concertation mutuelle entre l'ingénieur civil, le propriétaire du barrage, les autorités de haute surveillance, le géologue et le géodésien.

Geodetic Deformation Measurements: A Modern Approach

Summary:

The connexion between geodetic deformation measurements and instrumentation, multistage geodetic schemes, extended triangulation nets and an all-year possibility for observation form the objectives of a modern approach to geodetic deformation measurements. The project of a geodetic scheme and the corresponding observation program are the result of a mutual understanding between civil engineer, dam owner, supervising authority, geologist and geodesist.

1. Einleitung

Bereits im Jahre 1920 wurden in der Schweiz geodätische Deformationsmessungen an Staumauern – vermutlich erstmals auf der Welt – durchgeführt. Die Messanlagen bestanden in der Regel aus Beobachtungs- und Versicherungspfeilern und aus Mauerbolzen auf und an der Luftseite der Staumauern [1] (Bild 1).

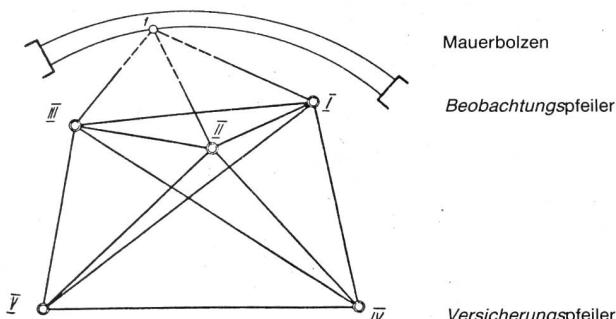


Bild 1. Die früheren Messanlagen bestanden aus Mauerbolzen, Beobachtungs- und Versicherungspfeilern.



Bild 2. Flugaufnahme der Staumauer Zeuzier. Swissair Photo + Vermessungen AG, 12. August 1962.

Solche Messanlagen gibt es heute noch. Sie entsprechen nicht mehr dem neuesten Stand der Technik, können aber im Einzelfall noch gute Dienste leisten. Die Frage «Wieso dann ein neues Konzept für geodätische Deformationsmessungen?» ist berechtigt. Die folgenden Ausführungen sollen versuchen, darauf eine Antwort zu geben.

2. Entwicklung

2.1 der Instrumente und Einrichtungen

Es kann hier nicht die Aufgabe sein, die Entwicklung geodätischer Instrumente für Deformationsmessungen aufzuzeigen. Die Entwicklung ist, insbesondere in den vergangenen 10 Jahren, gewaltig. Es ist heute ohne weiteres möglich, mit Hilfe von elektrooptischen Distanzmessern wie dem Mekometer Distanzen mit hoher Genauigkeit, zum Beispiel mit einem mittleren Fehler von ± 2 mm für eine Distanz von 1 km, zu messen. In ähnlichem Sinne hat die Industrievermessung zur Messung von kürzeren Distanzen in Polygonzügen mit Invardrähten beigetragen.

Es ist hier noch weniger meine Aufgabe, die Entwicklung mechanischer Instrumente und Einrichtungen für die Erfassung relativer Bewegungen einer Staumauer zu besprechen. Ich erinnere aber in diesem Zusammenhang an die Entwicklung von Schwimmlöten, von Rocmetern oder Extensometern, von «slope indicators» oder Inklinometern, Gleitmikrometern, shear strips, der Fernübertragung irgendwelcher Messwerte usw.

Und ein weiteres Gebiet, dessen Entwicklung nicht ausser acht gelassen werden darf, sind die elektronische Datenverarbeitung (EDV), die Computer (hardware) und die dazugehörigen Programme (software). Ihr Einfluss auf die

geodätische Deformationsmessung ist gross, fruchtbar und zum Teil auch «furchtbar».

2.2 des Sicherheitsdenkens

Der Glaube des Menschen an die Unfehlbarkeit der Ingenieure wurde im Laufe der letzten Jahrzehnte erschüttert. Immer lösten ausserordentliche Ereignisse oder Katastrophen weitere Entwicklungen des Sicherheitsdenkens aus. Der Bruch der Gleno-Staumauer [2] im Jahre 1923 bewog die Bauingenieure in der Schweiz, neue Verfahren, eben geodätische Deformationsbeobachtungen, für neue Staumauern vorzusehen, und eine weitere Katastrophe, der Bruch der St.-Francis-Mauer in Kalifornien im Jahre 1928 [3] steigerte Interesse und Bedürfnis an solchen Messungen.

2.3 von geodätischen Verfahren

Die Entwicklung von Verfahren hängt mit der Entwicklung von Instrumenten und Einrichtungen eng zusammen. Verfahren gehen immer darauf aus, sicherere, genauere und wirtschaftlichere Resultate zu erhalten.

Die Messung von Polygonzügen im Innern von Staumauern gibt bessere und umfassendere Ergebnisse als die Beobachtung einer gleichen Zahl von Mauerbolzen an der Luftseite der Mauer [4]. Solche Polygonzüge erlauben die Erfassung der Verformung der Widerlager und sind auch im Winter leicht messbar. Die Verbindung der Polygonzüge mit dem Triangulationsnetz ist mittels neuer Verfahren zu lösen.

2.4 eines neuen Konzeptes für geodätische Deformationsmessungen

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Instrumente und der Verfahren, das gesteigerte Sicherheitsdenken, Anforderungen der Behörden an die Überwachung von Talsperren, die Überlegungen von Bauingenieuren und Geodäten einerseits und die wirtschaftlichen Anforderungen der Eigentümer der Stauanlagen andererseits haben zu einem neuen Konzept für geodätische Deformationsmessungen beigetragen. Nach diesem neuen Konzept bieten Deformationsmessungen heute ein Höchstmaß an Flexibilität und werden jedem Bedürfnis nach Überwachung jeder Stauanlage gerecht.

3. Die Überwachung der Verformung einer Staumauer

Es stehen dazu mechanische und geodätische Mittel und Möglichkeiten zur Verfügung. Die Aufgaben der mechanischen Messeinrichtungen sind in der Regel andere als die der geodätischen Deformationsmessung.

Die mechanischen Messmittel (Lote, Rocmeter usw.) dienen der unmittelbaren Überwachung der Verformung der Staumauer. Es sind relative Messungen; sie beziehen sich auf einen Bezugspunkt innerhalb der Staumauer (zum Beispiel Lotmessungen auf den Fußpunkt des Lotes). Solche Messungen sind rasch durchgeführt und auch rasch ausgewertet. Sie geben, wenn in genügender Zahl vorhanden, ein gutes Bild der Verformung einer Staumauer.

Die geodätischen Messungen (Triangulation, Polygonzüge, Nivellemente) liefern neben der Überwachung durch mechanische Messmittel zusätzliche quantitative und qualitative Informationen. Wichtigste sind dabei die Verschiebungen der Widerlager und des Umgeländes der Staumauer. Die Bezugspunkte liegen meist in grösserer Entfernung von der Staumauer (bis zu 2000 m und mehr) und somit ausserhalb der Druckzone der Stauanlage. Wir sprechen daher im Unterschied zu den relativen Verformungen aus mechanischen Messungen von «absoluten» Lage-

und Höhenänderungen als Resultat der geodätischen Messungen. Geodätische Messungen insbesondere in grösseren Netzen sind aufwendig. Die Messungen dauern unter Umständen eine Woche, und die Auswertung einer Vielzahl von gemessenen Werten, das Resultat der geodätischen Deformationsmessung, dauert meist noch länger. Abgekürzte Auswerteverfahren sind bei entsprechender Vorbereitung denkbar. Geodätische Messungen kosten daher auch mehr Geld als Lotmessungen, aber sie sind, wenn ihre Resultate berücksichtigt werden, nicht teuer.

4. Das neue Konzept für den Einsatz der geodätischen Deformationsmessungen

4.1 Zielsetzungen

- Geodätische Deformationsmessungen und mechanische Messungen ergänzen einander. Die Lote werden Bestandteile einer geodätischen Messanlage.
- Um allfällige Bewegungen der Staumauer und ihrer Umgebung mit genügender Sicherheit erfassen zu können, sind die Triangulationsnetze grossräumig anzulegen.
- Aus wirtschaftlichen Gründen und zur raschen Erfassung von Schlüsselinformationen sind die geodätischen Netze (Triangulation, Polygonzüge, Nivellemente) mehrstufig anzulegen.
- Teile der geodätischen Messanlage sollen ganzjährig zugänglich und messbar sein.

Zur Darstellung der Ausführungen wird im folgenden die Staumauer Zeuzier benutzt (Bild 2). Es könnte aber auch eine andere Staumauer sein. Es gibt mehrere, die obigen Bedingungen bereits ganz oder weitgehend entsprechen (zum Beispiel Gigerwald, Punt dal Gall, Sta. Maria, Nalps, Curnera, Contra).

4.2. Die Verbindung zwischen mechanischen Messeinrichtungen und geodätischen Deformationsmessungen

Für eine solche Verbindung eignen sich von den mechanischen Messeinrichtungen hauptsächlich die Lote, aber auch Extensometer, Rocmeter, «slope indicator» oder Inclinometer, also Messmittel, die relative Lage- oder Höhenänderungen liefern. In Verbindung mit geodätischen Messungen werden aus diesen Relativmessungen «absolute» Lage- und Höhenänderungen.

Wenn nur ein Punkt eines Lotes, das kann eine Lotablesestelle oder der Lotdraht selbst sein, geodätisch bestimmbar ist, so sind auch alle anderen relativen Messungen entlang dem Lotdraht in bezug auf die Festpunkte der Triangulation bestimmt.

Die Verbindung zwischen Loten und Triangulationsnetz kann über die Mauerkrone oder über Ausgänge an der Luftseite der Mauer erfolgen. An diese Lote sind dann wiederum die Polygonzüge angehängt, das heisst für die Be-

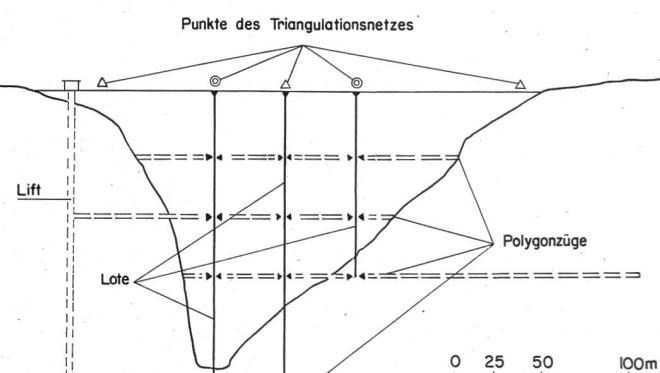


Bild 3. Lote und Triangulationsnetz werden über Ausgänge an der Luftseite der Staumauer oder über die Mauerkrone miteinander verbunden.

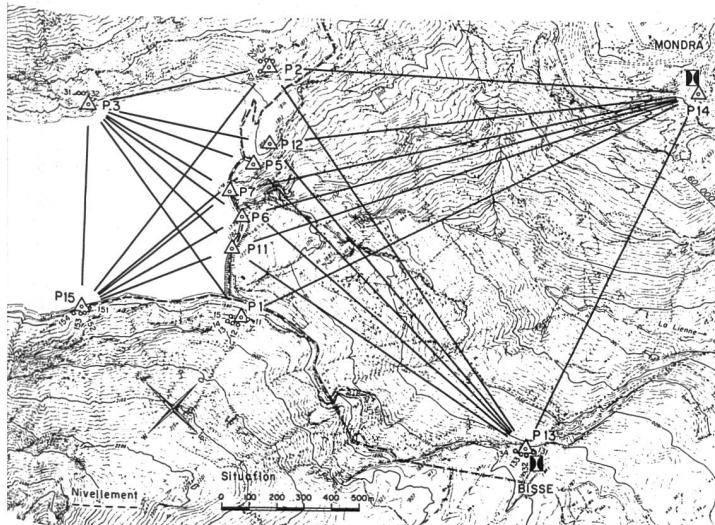


Bild 4. Das Triangulationsnetz zur Staumauer Zeuzier. Zu einer vollständigen Messung gehören das Triangulationsnetz, die vollständigen Nivellemente und alle Polygonzüge in Lage und Höhe.

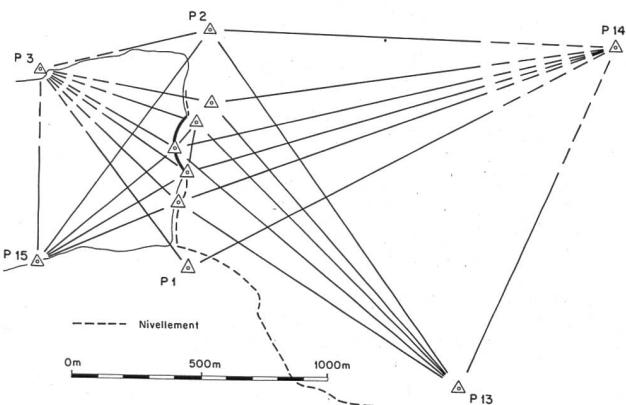


Bild 5. Zur reduzierten Messung gehören die Beobachtungen eines reduzierten Triangulationsnetzes und ein reduziertes Nivellement für die Bestimmung der Höhenänderungen.

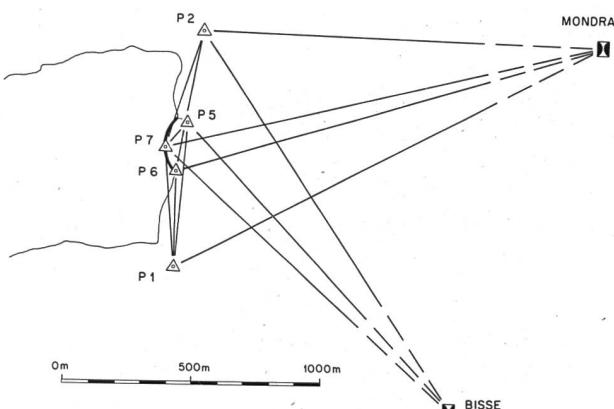


Bild 6. Für die Minimessung werden nur die Distanzen P1 bis P2 und P6 bis P5 sowie die radiale Lageänderung von P7 in der Mitte der Staumauerkrone gemessen.

stimmung der absoluten Lageänderungen der Polygonpunkte sind die Lotmessungen unerlässlich.

Die höhenmässige Verbindung zwischen den Nivellementen in den Polygonzügen und der Mauerkrone erfolgt durch sogenannte Höhendrähte in den vorhandenen Lotschächten. Diese Höhendrähte bestehen aus semi-permanent aufgehängten Invardrähten, die durch ein kleines Gewicht gespannt werden. Die mit dieser Methode erhaltenen Resultate sind gut.

4.3 Die Ausdehnung von Triangulationsnetzen

Dank genauer elektrooptischer Distanzmessung sind heute Triangulationsnetze mit Seitenlängen bis zu 2 km zulässig. Bei günstigen topographischen Verhältnissen und einem geeigneten Netzaufbau lassen sich in einem solchen Netz Lageänderungen der Staumauer noch mit genügender Sicherheit und Genauigkeit bestimmen. Es seien dabei Probleme wie Massstab des Netzes, lange Zugangswege zu den entfernten Pfeilern und damit erhöhter Zeitaufwand sowie Signalisierung der Pfeiler nicht verschwiegen.

4.4 Mehrstufige Messanlage

Geodätische Messungen werden periodisch in kürzeren oder längeren Zeiträumen oder bei Vorliegen eines zum Beispiel durch die mechanischen Messeinrichtungen angezeigten anormalen Verhaltens der Staumauer angeordnet. Aus verschiedenen Gründen, zum Beispiel bei einem völlig normalen Verhalten der Staumauer, nicht zuletzt aber aus finanziellen Erwägungen, kann es angezeigt sein, auf die Beobachtung der vollständigen geodätischen Messanlage in kurzen Abständen zu verzichten.

Das neue Konzept sieht vielmehr vor, dass die Beobachtung von Teilen der gesamten Messanlage zu aussagekräftigen Teilresultaten oder Schlüsselinformationen führt. Welche Teile einer Gesamtanlage vernünftige, interpretationsfähige Resultate ergeben, ist von Staumauer zu Staumauer verschieden. Es kann in einem Fall genügen, periodisch je einen Punkt jedes Lotes geodätisch zu bestimmen. Damit sind auch die Fußpunkte der Lote bestimmt. In einem anderen Fall genügt vielleicht die Beobachtung eines Polygonzuges der an beiden Enden in einem Sonderröhrchen weit in den Fels fortgesetzt ist. Wir kennen heute zwei- und dreistufige Messanlagen, das heißt, neben der vollständigen Messung gibt es reduzierte Messungen und allenfalls sogenannte Mini-Messungen. Die reduzierten Messungen und die Mini-Messungen entstehen durch Weglassen von Bestandteilen der nächsthöheren Messanlage. Den Umfang der reduzierten und der Mini-Messung, die Schlüsselinformationen, bestimmt in erster Linie der für die Überwachung und die Sicherheit der Staumauer verantwortliche Staumauerexperte, aber auch die Eigentümerin der Staumauer und die Aufsichtsbehörde. Der Vermessungsingenieur ist dabei für die geodätischen Belange deren Berater.

Die *vollständige Messanlage* besteht in der Beobachtung – des vollständigen Triangulationsnetzes mit allen Messpunkten (Bild 4),

- des vollständigen Nivellementes (Bild 4),
- aller Polygonzüge in Lage und Höhe (Bild 3).

Im Falle von Zeuzier besteht die *reduzierte Messung* in der Beobachtung eines reduzierten Triangulationsnetzes nur für die Ermittlung der Lageänderungen und eines reduzierten Nivellementes für die Bestimmung der Höhenänderungen (Bild 5).

Bei diesem reduzierten Triangulationsnetz wird nur auf den leicht zugänglichen Pfeilern stationiert. Wir erhalten aber trotzdem die Lageänderungen aller Pfeiler.

Die *Mini-Messung* besteht dagegen in Zeuzier nur in der Beobachtung der Distanzen P1-P2 und P5-P6 sowie der radialen Lageänderungen von P7 in der Mitte der Staumauerkrone (Bild 6). Es sind dies die sogenannten Schlüsselinformationen.

Eine Minimessung kann rasch, das heißt innerhalb weniger Stunden, ausgewertet werden. Stellt man Unregelmäßigkeiten gegenüber dem Normalverhalten fest, so können der Bauingenieur und die Staumauereigentümerin zum

Beispiel eine anschliessende reduzierte Messung veranlassen. Fällt dieser Entscheid unmittelbar nach der Mini-Messung und haben sich die Messbedingungen (zum Beispiel Staukote) nicht geändert, so müssen nur die zusätzlichen Beobachtungselemente von der Mini-Messung zur reduzierten Messung beobachtet werden.

Mini-Messungen beruhen auf weitergehenden Annahmen in bezug auf Festpunkte als reduzierte oder vollständige Messanlagen. Die Resultate von Mini-Messungen sind daher weniger sicher und auch weniger genau als diejenigen der reduzierten Messungen. Reduzierte Messungen und Mini-Messungen unterscheiden sich von vollständigen Messungen im wesentlichen durch die kleinere Zahl von Informationen und durch deren geringere Zuverlässigkeit und Genauigkeit. Bei geeigneter Konzipierung der Messanlagen vermögen sie aber den Zweck zu erfüllen (Vergleiche dazu auch Kapitel 5, Messprogramm).

4.5 Ganzjährige Messbereitschaft

Wenn Unregelmässigkeiten auftreten; treten sie nicht nur während des Sommers und Herbstanfang ein. Bei der Mehrzahl unserer Staumauern liegen aber im Winter beträchtliche Schneemengen und herrscht zeitweise Lawinengefahr. Daraus ergibt sich die Forderung, dass Teile der geodätischen Messanlage auch im Winter zugänglich und messbar sein sollten. Auch diese Randbedingung ist bei der Anlage der mehrstufigen geodätischen Messanlage zu berücksichtigen.

5. Messprogramm

Auch in bezug auf das Messprogramm, die Reihenfolge periodischer geodätischer Messungen, ist eine Entwicklung eingetreten. Während in früheren Zeiten – aus Kosten- und Genauigkeitsgründen – hauptsächlich im Herbst bei vollem Stausee gemessen wurde, hat sich heute die Ansicht durchgesetzt, dass auch Frühjahrsmessungen bei niedrigem Wasserspiegel aufschlussreiche Resultate liefern.

Ein für eine längere Zeit aufgestelltes Messprogramm hat also neben vollständigen, reduzierten und Mini-Messungen auch Messungen im Frühjahr und Herbst zu berücksichtigen. Die Intervalle zwischen den verschiedenen Messungen sind von Staumauer zu Staumauer verschieden. Wiederum ist es in erster Linie der verantwortliche Staumauerexperte, der zusammen mit der Staumauereigentümerin und der Aufsichtsbehörde das Messprogramm festlegt. Wegen der weitergehenden Annahmen bezüglich der Festpunkte ist es nicht angebracht, nur Mini-Messungen anzugeben. Und das Intervall zwischen 2 vollständigen Messungen ist mit 20 Jahren in unseren Augen zu lang.

Mit den preiswerten Mini-Messungen bietet die geodätische Deformationsmessung den Überwachungsorganen gerade die Möglichkeit, in kürzeren Abständen zusätzliche Informationen über das Verhalten der Staumauer zu erhalten.

6. Schlussbemerkungen

Die Überwachung einer Staumauer ist heute eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Bauingenieur, Geologe und Vermessungsingenieur. Es gibt dazu keine Rezepte, höchstens gewisse Richtlinien.

Neuere Instrumente und EDV vereinfachen vieles. Für den Erfolg einer geodätischen Deformationsmessung ist die geschickte Konzeption und die fachgerechte Durchführung der Messungen und Auswertungen, das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine, massgebend.

Die Konzipierung einer geodätischen Messanlage und des dazugehörigen Messprogramms ist Massarbeit. Wichtig ist das gegenseitige Verständnis und die gegenseitige Verständigung zwischen Bauingenieur, Geodät, Eigentümerin der Staumauer und Aufsichtsbehörde.

Literatur

- [1] W. Lang, Deformationsmessungen an Staumauer, 1929, Verlag L + T, Bern
- [2] «Schweiz. Bauzeitung» Band 83 (Februar 1924)
- [3] «Schweiz. Bauzeitung» Band 91 (April 1928)
- [4] «Schweiz. Bauzeitung» 76. Jahrgang, Heft 12 und 13 (März 1958) Prof. Dr. F. Kobold, Geodätische Methoden zur Bestimmung von Geländebewegungen und von Deformationen an Bauwerken.

Adresse des Verfassers: Kurt Egger, c/o Ingenieurbüro Walter Schneider AG, 7000 Chur.

Überarbeitete Fassung der Ausführungen des Verfassers an der Tagung über geodätische Deformationsmessungen vom 3. und 4. September 1981 in Sitten und Zuerich. Die Tagung wurde vom Schweizerischen Nationalkomitee für Grosses Talsperren, Ausschuss für Talsperrenbeobachtung, durchgeführt.

Sel de déneigement

Avantages et inconvénients des chlorures

Selon les conditions météorologiques, 50 000 à 150 000 t de sel sont épandus chaque hiver sur les routes pour faire fondre la neige. Le produit généralement utilisé est le sodium, c'est-à-dire le sel de cuisine; mais parmi la consommation totale des fondants, 10 à 20% sont des chlorures de calcium ou de magnésium, deux catégories de sels encore efficaces à une température de -10 °C. Une comparaison entre les quantités de sels de déneigement et les autres sources de concentration naturelles ou émanant des activités humaines nous fournit l'image de la figure 1.

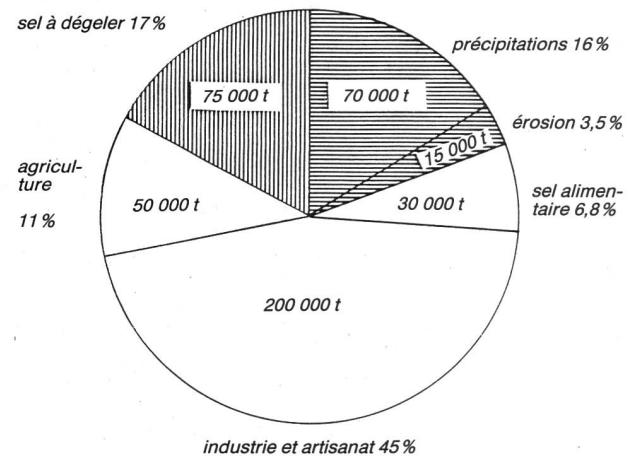


Figure 1. Répartition des sources de chlorures en Suisse. Toutes les indications mentionnées sont converties à la teneur en chlorures; le sel de cuisine et le chlorure de calcium contiennent chacun env. 64% de chlorure.

Ce qui représente un apport annuel de 440 000 t de chlorures.

Sur le plan quantitatif, les concentrations de sel de déneigement sont approximativement les mêmes que celles dues aux précipitations et à l'érosion des roches, une quantité naturelle qui ne saurait guère être influencée, même si elle se concentre sur un bref laps de temps.

Depuis plusieurs dizaines d'années, la production et la vente de sel alimentaire n'ont pratiquement pas changé.