**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 78 (1986)
**Heft:** 10

**Artikel:** Die Überwachung der Staumauer Darbola
**Autor:** Diethelm, Willy
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-940875

**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:** 11.07.2025

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

# Die Überwachung der Staumauer Darbola

*Willy Diethelm*

## 1. Einleitung

Die kleine, wenig bekannte Staumauer Darbola ist beinahe 30 Jahre alt.

Sie liegt in einem linksufrigen Seitental des Misox und ist Bestandteil des Laufkraftwerkes Lostallo. Besitzer der Anlage ist die Elettricità Industriale AG, Lostallo, eine Tochterfirma der Monteforno, Stahl- und Walzwerke AG, Bodio.

Das in den Jahren 1956/57 erstellte Kraftwerk Lostallo (Bild 1) nützt drei Seitentäler des Misox zwischen Lostallo und Soazza über ein Gefälle von rund 700 m. Die Abflüsse der Täler Forcola und Montogn werden mit Rechenfassungen gefasst und in den Zuleitungsstollen eingeleitet, der ins Val Darbola führt. In diesem Seitental liegt die uns hier interessierende Talsperre. Sie staut das Ausgleichsbecken des KW Lostallo mit einem Nutzvolumen von rund 105000 m³ auf und sammelt gleichzeitig die Zuflüsse aus diesem Tal. Das Stauziel des Beckens liegt auf 1152 m ü.M. (Bild 2). Das Nutzwasser gelangt anschliessend über den Druckstollen und die offen verlegte Druckleitung zu der in unmittelbarer Nähe der Moesa gelegenen Zentrale (Bild 3). Mit zwei Maschinengruppen von insgesamt 22 MW Leistung und 4 m³/s Ausbauwassermenge werden in einem Jahr mittlerer Wasserführung rund 80 Mio kWh elektrische Energie erzeugt.

Bei der Talsperre im Val Darbola (Bilder 4, 5, 6) handelt es sich um eine Betongewichtsmauer mit etwa 22 m grösster Höhe und 147 m Kronenlänge. Das Betonvolumen beträgt rund 13000 m³. Die Sperre ist im mittleren Teil und rechtsufrig auf dem dort direkt anstehenden Fels (Gneis) fundiert, während auf der linken Talseite der Anschluss an den Felsuntergrund mit einem Betondiaphragma hergestellt werden musste.

Am wasserseitigen Sperrenfuss ist ein Dichtungsschirm im Fels vorhanden, und talseits davon sind Drainagebohrungen vom Kontrollgang aus angeordnet.

In der Talmitte sind die Hochwasserentlastung, der Grundablass und die Niveaumessanlage angeordnet. Der Hochwasserüberlauf von 44 m Breite mit fester Sohle und anschliessender Sprungschanze kann die grösste in Rechnung gestellte Wassermenge von 200 m³/s mit rund 2 m Überstau ableiten. Der Grundablass ist für eine maximale Wassermenge von 45 m³/s dimensioniert.

Die Sperre ist mit einem Kontrollgang versehen, der ungefähr dem Talverlauf folgt und auch als Zugang zur Apparatekammer des Grundablasses dient. Der Kontrollgang ist von beiden Talseiten aus zugänglich.

Die Sperre ist, von links nach rechts, aus folgenden Elementen aufgebaut:

– dem vollständig im Lockermaterial liegenden Betondiaphragma von 28 m Länge,
– zwei Anschlusselementen, die ebenfalls zum grössten Teil eingedeckt sind und je 9 m Länge aufweisen,
– fünf Normalblöcken von 10, 11 bzw. rund 15 m Länge und
– vier Blöcken mit der Hochwasserentlastung von je 11 m Länge.

Die Querschnitte der einzelnen Elemente sind aus Bild 7 ersichtlich.

## 2. Überwachung der Sperre

Wegen der bescheidenen Abmessungen des Bauwerkes und in Berücksichtigung der zur Zeit des Baus in den Jahren 1956/57 gültigen Gepflogenheiten und Vorschriften

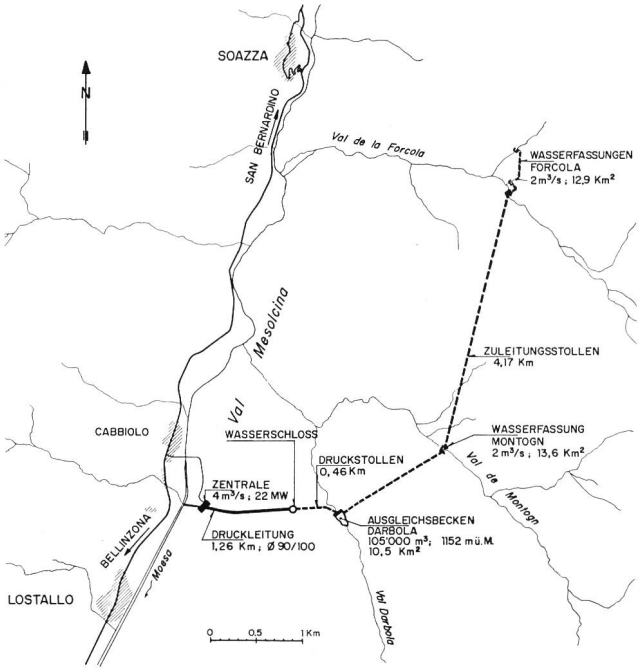



Bild 1. Übersichtsplan Kraftwerk Lostallo.

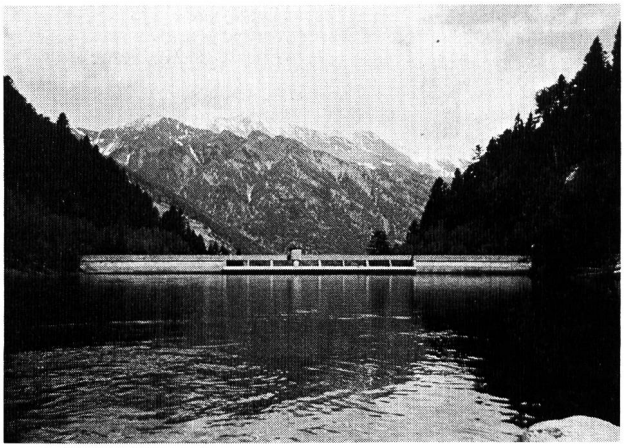
wurde die Staumauer Darbola – ausser mit dem Schwimmer zur Messung und Registrierung des Wasserstandes – ohne weitere messtechnische Ausrüstung erstellt.

In den ersten gut 20 Jahren des Bestehens, bis zur Unterstellung unter die Talsperren-Verordnung im Jahre 1978 durch das Eidgenössische Departement des Innern, wurde die Stauanlage nur einmal (im Jahre 1974) einer systematischen Kontrolle durch einen erfahrenen Ingenieur unterzogen. Ab 1983 erfolgten dann regelmässig Jahreskontrollen, mit visueller Beurteilung des Zustandes der Mauer; sie zeigten, dass sich die Sperre im wesentlichen in einem guten und betriebstüchtigen Zustand befindet.

Die alleinige jährliche Besichtigung der Talsperre von immerhin gut 20 m Höhe entspricht nicht mehr den heutigen Vorstellungen der Überwachung eines solches Bauwerkes und bedarf deshalb einer Überprüfung.

Nach dem heutigen Erkenntnisstand muss eine Talsperre von der Grösse von Darbola auch messtechnisch überwacht werden; nur mit einer Messeinrichtung ist die den heutigen gesetzlichen Vorschriften entsprechende wirksame und zuverlässige Kontrolle des Bauwerkes möglich. Das Bundesamt für Wasserwirtschaft hat deshalb den Eigentümer aufgefordert, Möglichkeiten zur zweckmässigen

Bild 2. Ausgleichsbecken Darbola.



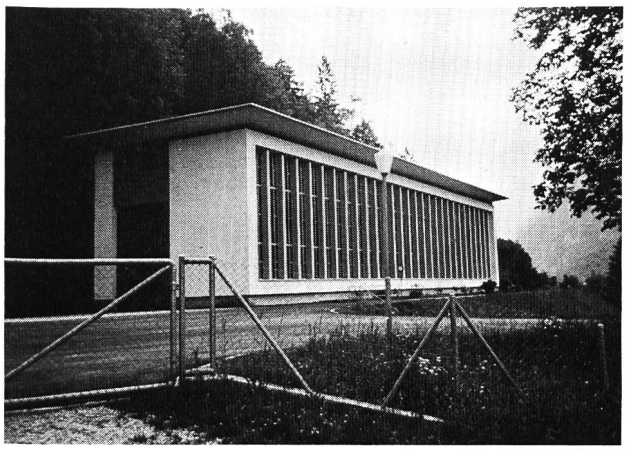


Bild 3. Zentrale Lostallo.

Instrumentierung der Staumauer Darbola und zur Verbesserung der Überwachung zu studieren.
Die zu installierende messtechnische Ausrüstung der Talsperre Darbola hat den folgenden spezifischen Gegebenheiten Rechnung zu tragen:
– dem Sperrentyp: zur wirksamen Überwachung der Gewichtsmauer sind möglichst viele Blöcke einzeln zu kontrollieren, da jeder Block sich mehr oder weniger unabhängig vom anderen verhalten kann.
– der Zugänglichkeit der Sperrstelle: Seit kurzer Zeit führt zwar eine Walderschliessungsstrasse in die Nähe der Staumauer Darbola; im Winter ist sie aber nicht befahrbar, so dass die Sperre während einiger Monate nur zu Fuss oder mit Helikopter erreichbar ist. Die Instrumentierung sollte deshalb eine Fernübertragung der Kontrollwerte in die Kraftwerkzentrale in Lostallo erlauben, um die kontinuierliche Überwachung sicherzustellen.
– der Möglichkeit zur elektrischen Übertragung von Messwerten: Zurzeit verbindet ein Niederspannungs-Signalkabel die Wasserfassungen und das Ausgleichsbecken mit der Zentrale, dessen freie Kapazität jedoch beschränkt ist.
– den kleinen Verformungen: Die Deformationen der Staumauer Darbola wurden bis heute nie gemessen; man kennt auch die Elastizitätsmoduli des Betons und des Felsens nicht. Aufgrund des Verhaltens von vergleichbaren Sperren (z. B. Staumauer Ritom) kann man die horizontale Verschiebung auf Kronenhöhe infolge der Spiegelschwankungen und der Temperaturänderungen im Verlaufe eines Jahres zu 5 bis 6 mm schätzen; die vertikalen Verschiebungen dürften wesentlich kleiner sein. Man kann annehmen, dass die Rotation der Sperre auf Kronenhöhe etwa 0,5‰ betragen wird. Die horizontalen Verschiebungen und die Drehung der Mauer nehmen von der Krone gegen die Fundation ab. Da sie an sich schon sehr bescheiden sind, sind sie vernünftigerweise auf Kronenhöhe zu messen.
Für die messtechnische Überwachung der Staumauer Darbola wurden verschiedene Möglichkeiten in Betracht gezogen, welche einerseits den geltenden Vorschriften und den vorher erwähnten spezifischen örtlichen Gegebenheiten genügen und anderseits in der Realisierung möglichst einfach und kostengünstig sein sollten.
– Die Installation einer Anzahl von Loten mit Telekoordinatoren für die automatische Überwachung der kontrollierten Deformationen erweist sich als schwierig und aufwendig, da die dafür notwendigen baulichen Voraussetzungen in Form von Vertikalschächten und Messkammern fehlen.
– Die Möglichkeit, einen parallel zur Mauerkrone verlaufenden Laserstrahl als Referenzlinie zu benützen, um allfällige unzulässige Verformungen der einzelnen Blöcke der Sperre sofort zu erkennen, scheint prinzipiell machbar. Da diese Methode meines Wissens jedoch noch nie praktisch angewendet wurde, wären sicher noch einige Knacknüsse zu lösen, um eine funktionstüchtige Installation zu realisieren. Zudem erlaubt diese Lösung kaum, die absoluten Werte der Verformung mit genügender Genauigkeit periodisch zu messen und damit nähere Auskünfte über das Verhalten der Sperre zu gewinnen.
– Anstelle des Laserstrahls könnte auch ein gespannter Invardraht als Referenzlinie dienen. Es dürften sich damit aber keine Vereinfachungen gegenüber der Lösung mit Laserstrahl ergeben, sondern eher mehr Probleme für die Überwachung der Verformungen entstehen.
– Als einzige wirklich ausführbare Lösung, welche in technischer und kostenmässiger Hinsicht befriedigt, ergibt sich die Messung der Drehung, d. h. der Änderung der Neigung der Mauer auf Kronenhöhe mit einer elektronischen Messinstallation von hoher Genauigkeit, die auf dem Markt

Bild 4. Staumauer Darbola.

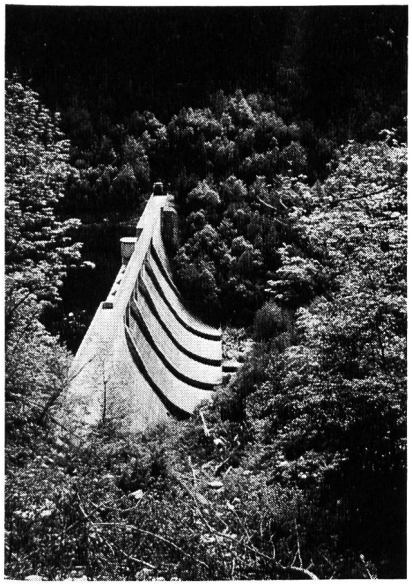
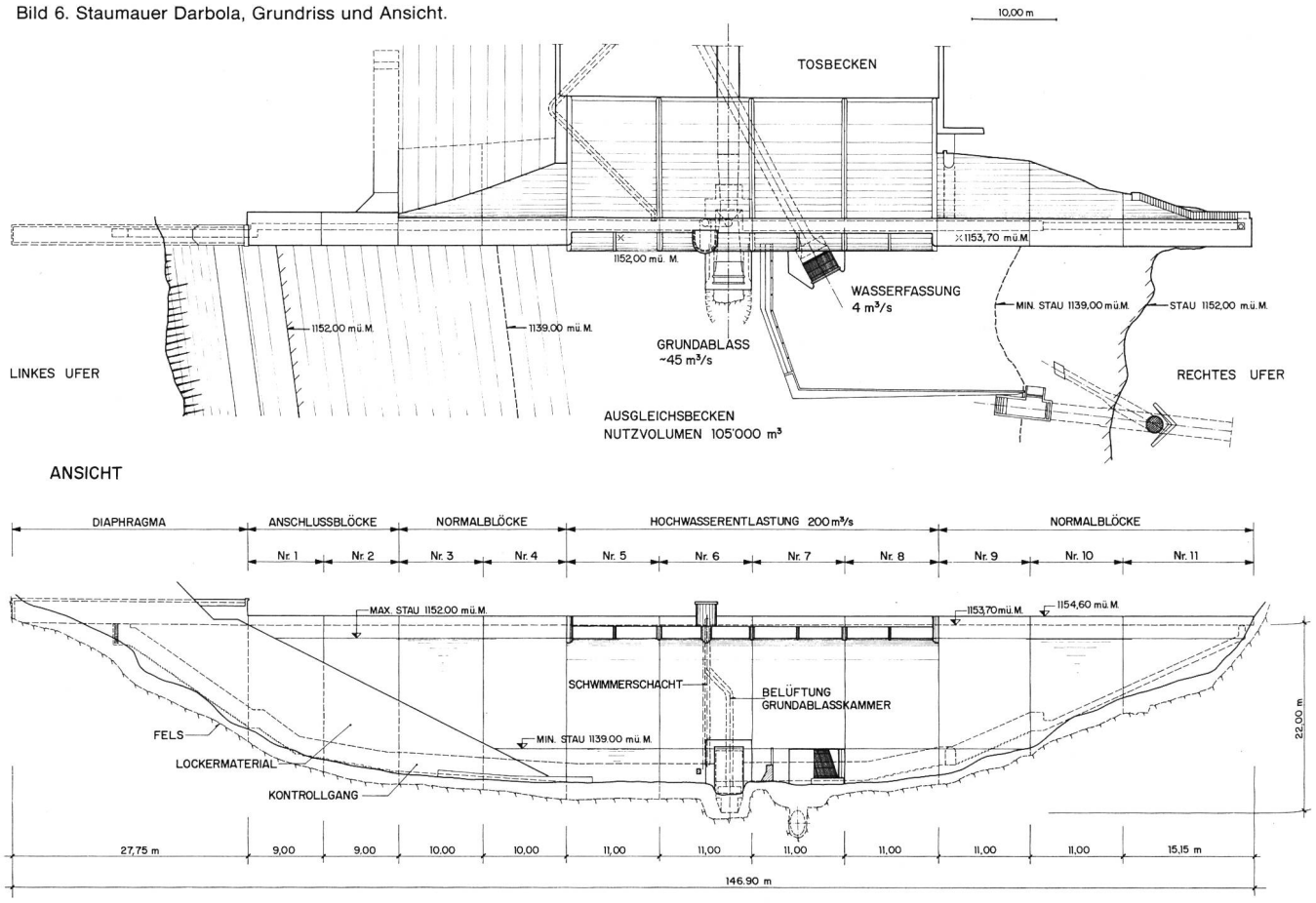


Bild 5. Staumauer Darbola.

Bild 6. Staumauer Darbola, Grundriss und Ansicht.




erhältlich ist und sich bereits bewährt hat. Diese Lösung wurde deshalb für die Ausführung empfohlen, und der Vorschlag wurde vom Bundesamt für Wasserwirtschaft gegen Ende 1985 akzeptiert. Die entsprechende Anlage soll nun im Verlaufe des Jahres 1986 installiert werden.

### *3. Beschreibung der Messanlage zur Dauerüberwachung*

Zur automatischen Messung der Neigungsänderung der Sperre auf Kronenhöhe wurde das «Tilt Sensing System» der Firma Sperry gewählt. Dieses elektronische Messsystem von hoher Präzision hat sich seit Jahrzehnten in der Luftfahrt bewährt. Es wurde schon vor einigen Jahren für Messungen an Bauwerken angepasst.

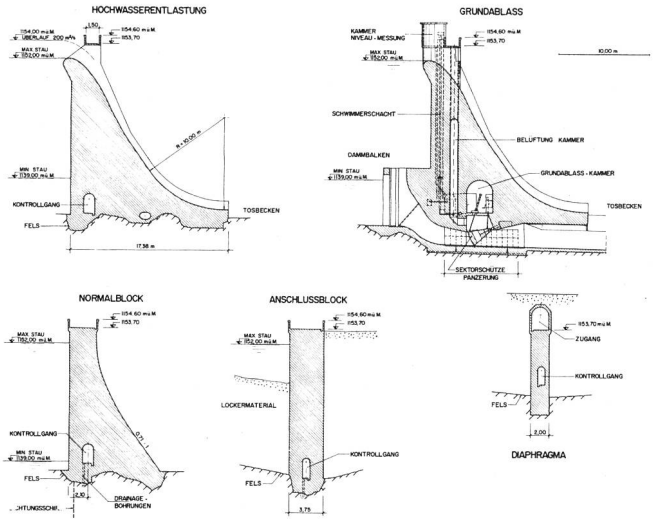
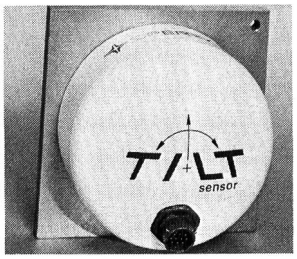



Bild 7. Staumauer Darbola, Querschnitte.

Jeder Messsensor (Bild 8) misst aufgrund der Gravitation Neigungsänderungen bis 5,8‰. Die Genauigkeit beträgt rund 0,003‰, d. h. sie ist etwa 150mal besser als der in Darbola zu messende Wert (etwa 0,5‰). Die einzelnen vollständig wasserdichten Sensoren werden an den gewünschten Messstellen installiert und mit einem Kabel an eine Messzentrale (Bild 9) angeschlossen. Es sind zurzeit Messzentralen für 8 anzuschliessende Sensoren erhältlich. Am Einbauort und in der Zentrale können die Messwerte mit einem transportablen Gerät abgelesen werden. In der Messzentrale ist auch eine Registrierung möglich. Man kann in der Messzentrale auch einen Alarmbereich einstellen, der nach Bedarf jederzeit verändert werden kann. Wenn der Messwert eines Sensors den zulässigen Bereich überschreitet, wird ein Alarm ausgegeben. Ein Aderpaar des Signalkabels genügt, um den Alarm in die Zentrale zu übertragen.



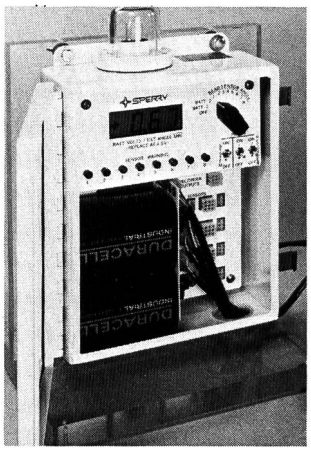
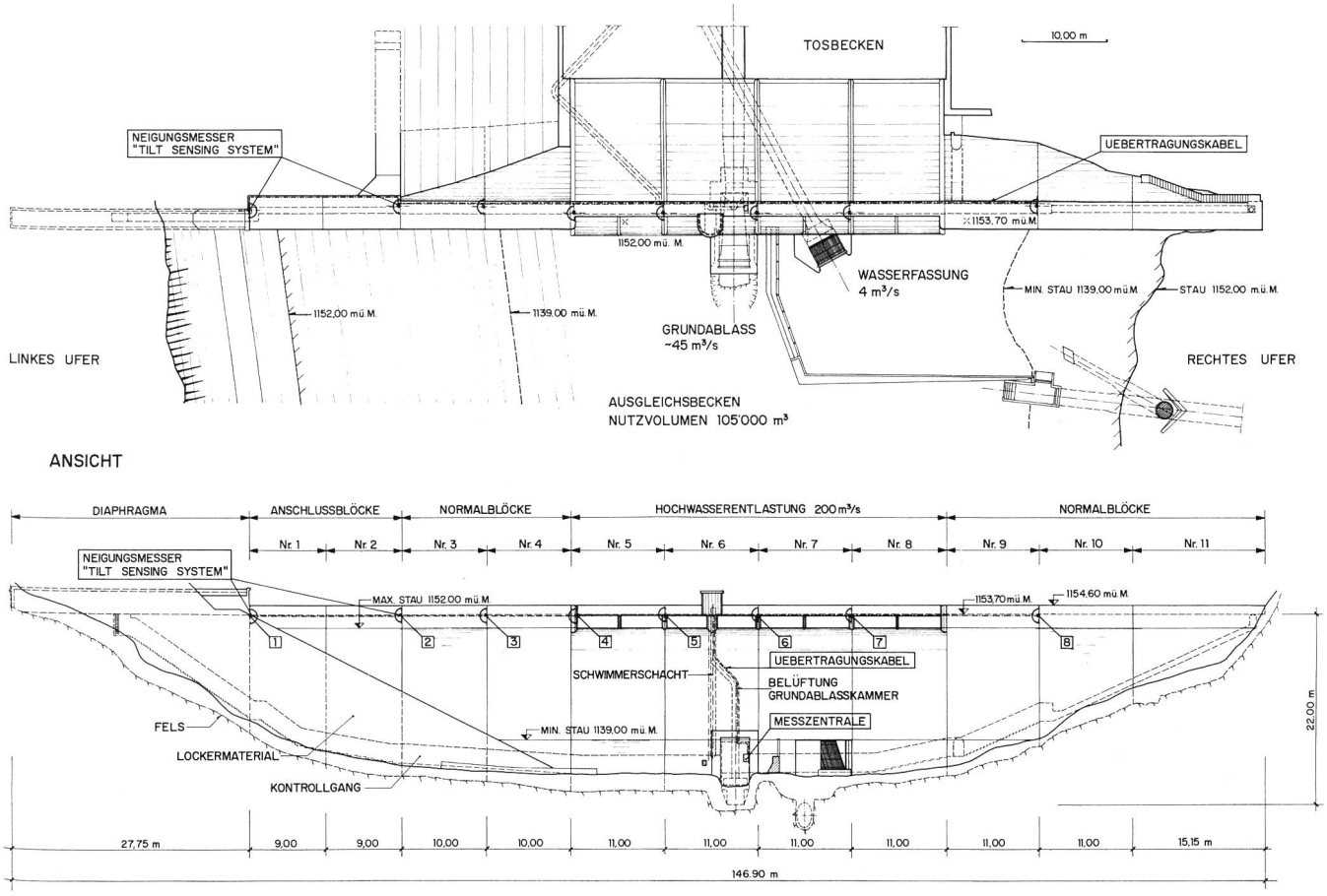




Bild 8, oben. Messsensor (Tiltmeter).

Bild 9, rechts. Messzentrale für 8 Messsensoren.

Bild 10. Staumauer Darbola, Messeinrichtung, Grundriss und Ansicht.




Der Energiebedarf der Messgeräte ist sehr klein. Jeder Messsensor benötigt eine Leistung von 36 mW bei 6 V Spannung. Zwei Batterien von 6 V und 20 Ampère-Stunden genügen also, um 8 Sensoren während eines Monats mit Strom zu versorgen. Die Anspeisung kann aber auch von der Zentrale aus mit Wechselstrom und über einen Gleichrichter mit etwa 1 W Leistung erfolgen.

Für die Überwachung der Staumauer Darbola ist vorgesehen, 8 Messsensoren zu installieren (Bild 10), die wie folgt angeordnet sind:

- 1 Sensor beim Zugangsstollen zum Betondiaphragma,
- je 1 Sensor auf den Normalblöcken Nr. 2, 3 und 9 und
- je 1 Sensor auf den Blöcken Nr. 4, 5, 6 und 7 der Hochwasserentlastung.

Man kann annehmen, dass Bewegungen der übrigen Blöcke nicht stattfinden können, ohne dass die überwachten Blöcke sich auch bewegen. Die Überwachung der gesamten Sperre ist damit sichergestellt.

Die 8 Messsensoren werden an die in der Grundablasskammer gelegene Messzentrale angeschlossen; die dafür notwendigen Kabel werden auf der Mauerkrone in einbetonierte Kabelrohre verlegt und über den Belüftungsschacht der Grundablasskammer zur Messzentrale geführt. Von dort werden allfällige Alarme über das im Druckstollen und längs der Druckleitung bereits vorhandene Signalkabel zur Zentrale übertragen. Auch wird die Messanlage im Normalfall von der Zentrale her mit Strom versorgt. Allfällige Stromunterbrüche werden mit Batterien überbrückt.

Die vorgesehene Installation der Messsensoren bei den einzelnen Blöcken ist in den folgenden Figuren dargestellt. Bild 11 zeigt die Anordnung der Sensoren 1, 2, 3 und 8 (Diaphragma, Normalblöcke). Das Messgerät wird in einem neu zu schaffenden Schacht 30/30/30 cm versetzt, der mit einem abschliessbaren Deckel und einer Entwässerung versehen ist. Das Messkabel gelangt über ein kurzes Verbindungsrohr zum durchgehenden Kabeltrasse auf der Talseite der Mauerkrone.

Die Sensoren 4, 5, 6 und 7 in den Blöcken mit der Hochwasserentlastung werden gemäss Bild 12 versetzt. Die Schächte 30/30/40 cm müssen ebenfalls neu geschaffen werden. Die Blockfugen halbieren die 60 cm breiten Pfeiler der Hochwasserentlastung; die Schächte sind unter der Brücke gegen die Hochwasserentlastung seitlich offen.

Neben der dauernden Kontrolle, ob der Alarmbereich der Verformungen nicht überschritten wird, ist geplant, die Neigungsänderungen an sämtlichen Messstellen in regelmässigen Abständen (z.B. monatlich) an Ort zu messen. Diese Messungen dienen einerseits der Kontrolle der Messeinrichtungen, andererseits liefern sie Daten zur Beurteilung des Verhaltens der Sperre. Gleichzeitig mit den Ablesungen der Sensoren sind an den Messstellen die Temperaturen zu ermitteln, um deren Einfluss auf die Messergebnisse berücksichtigen zu können.

## *4. Andere Messungen*

Neben der kontinuierlichen Überwachung der Sperre mit dem «Tilt Sensing System» ist vorgesehen, die Verformungen in grösseren Zeitabständen auch mit einem längs der Mauerkrone neu anzulegenden Polygonzug geodätisch zu kontrollieren, wobei Messpunkte auf jedem Mauerblock angeordnet werden.

Der Polygonzug wird auf beiden Talseiten in genügender Entfernung vom Ausgleichsbecken an den anstehenden Fels angeschlossen. Auf der linken Talseite kann dazu der Kontrollgang im Betondiaphragma benützt werden.

Neben den Verformungen der Sperre sollen in Zukunft auch die Sickerwassermengen pro Talseite regelmässig gemessen werden.

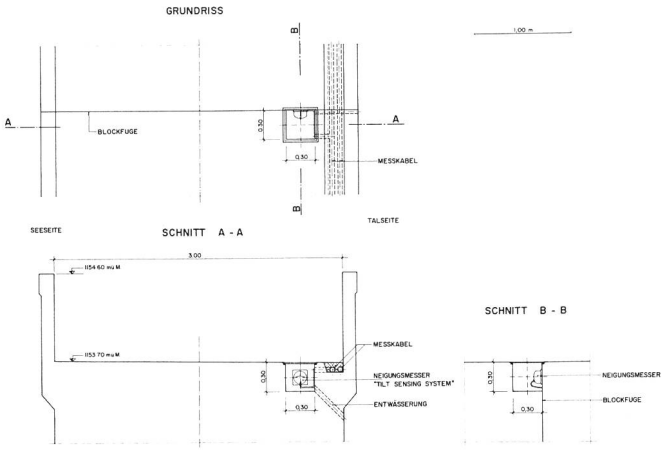



Bild 11. Anordnung Messsensoren in Normalblöcken.

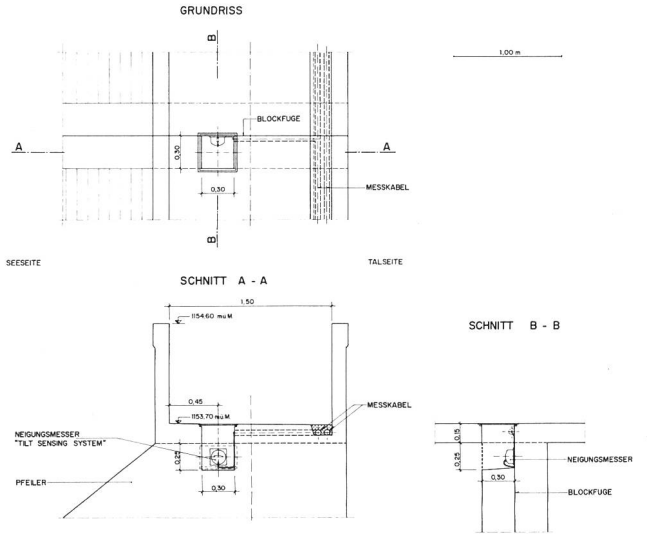



Bild 12. Anordnung Messsensoren in Blöcken der Hochwasserentlastung.

## 5. Kosten

Die Kostenschätzung für die nachträgliche messtechnische Ausrüstung der Staumauer Darbola («Tilt Sensing System», geodätische Messanlage, Sickerwassermessung) ergibt einen Betrag von rund 100000 Franken, wobei etwa die Hälfte auf die Geräte zur Neigungsmessung in 8 Punkten der Sperre entfällt.

## 6. Zusammenfassung

Die in den Jahren 1956/57 gebaute Betongewichtsmauer Darbola des Kraftwerkes Lostallo (Misox) wurde seinerzeit, wegen der bescheidenen Dimensionen und in Anlehnung an die damals gültigen Vorschriften, ohne messtechnische Ausrüstung erstellt.

Nach der Unterstellung unter die Talsperren-Verordnung im Jahre 1978 wurde in den letzten Jahren eine jährliche Besichtigung durchgeführt. Sie hat gezeigt, dass sich die Sperre im wesentlichen in einem guten und betriebstüchtigen Zustand befindet.

Diese Jahreskontrollen sind jedoch, nach den heute gültigen Auffassungen, nicht mehr ausreichend für die Überwachung eines solchen Bauwerkes; nach heutiger Doktrin und den geltenden Vorschriften ist eine messtechnische Kontrolle des Bauwerkes unerlässlich.

Aufgrund des Vergleiches verschiedener Möglichkeiten wurde, im Einverständnis mit dem Bundesamt für Wasserwirtschaft, beschlossen, die Staumauer in Zukunft wie folgt zu überwachen:

– Dauerüberwachung der Neigungsänderung der Sperre auf Kronenhöhe mit dem «Tilt Sensing System» der Firma Sperry. Es werden 8 Messsensoren installiert, deren Messresultate in eine Messzentrale übertragen werden. Bei Überschreiten von festgelegten Grenzwerten der Mauerneigung erfolgt von dieser Messzentrale aus ein Alarm in der Kraftwerkzentrale Lostallo. Die Neigungen der 8 Messgeräte sollen an Ort zwecks Beurteilung des Verhaltens der Sperre, in regelmässigen Intervallen auch direkt in ihrer absoluten Grösse abgelesen werden.
– Periodische geodätische Messungen von Fixpunkten auf der Krone jedes Mauerblockes.
– Regelmässige Messungen der Sickerwassermengen.

Die Installation der Messausrüstung, die einen finanziellen Aufwand in der Grössenordnung von 100000 Franken erfordert, ist für den Sommer 1986 geplant.

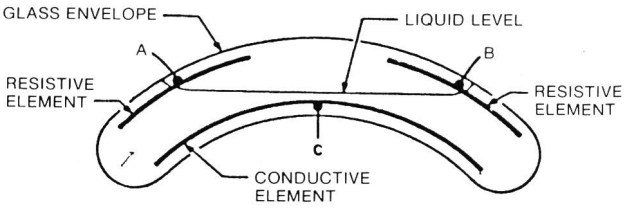
Referat, gehalten an der Studientagung des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren, Ausschuss für Talsperrenbeobachtung, vom 26. Juni 1986 in Meiringen.

Adresse des Verfassers: *Willy Diethelm,* dipl. Ing. ETH, SIA, c/o Ingenieurbüro Dr. G. Lombardi, Via Ciseri 3, 6600 Locarno.

## *Der Sperry-Tilt-Sensor*

Der Tilt-Sensor dient zur Messung kleinster Neigungsänderungen. Er basiert auf einem hochpräzisen elektrolytischen Pendel in 'Libellen'-Form (Bild). Ausgewertet wird die Änderung des Widerstandsverhältnisses von AC zu BC. Durch entsprechende Wahl von Geometrie und Elektrolyt resultieren hohes Auflösungsvermögen (0,01 Bogen-Minuten oder 0,003 mm/m), günstige Dämpfungseigenschaften und eine praktisch nicht messbare Hysterese. Die Messzelle weist keine mechanisch beweglichen Teile auf und ist für robusten Einsatz konzipiert. Der Tilt-Sensor ist deshalb zuverlässig und dauerhaft.

Dank der physikalisch-elektrischen Messmethode steht der Messwert direkt als elektrisches Signal zur Verfügung, wie in der modernen Sensorik üblich. Das Signal kann beliebig ausgewertet werden, sei es zur digitalen Anzeige für Lokal- oder Fernablesung, sei es zur Aufzeichnung auf Schreiber und DV-Anlage, oder sei es zur Fernübertragung. Zusätzlich ist ein Alarmsystem möglich, bei welchem die Auslösewerte für jeden Sensor individuell am Zentralgerät eingestellt werden können.




Eingesetzt wird das Tilt-Sensing-System zur Langzeitüberwachung von Bauwerken bezüglich Neigungsänderungen (Kippen, Verdrehen). Bei entsprechender Plazierung der Sensoren lassen sich auch Durchbiegungen, Setzungen, Relativbewegungen, Belastungen usw. errechnen. Anwendungsbeispiele sind Staumauern, Stützmauern, Fundationen, Brücken, Tunnels, Gebäude, Spezialbauwerke, Baustellen, Wasserbau, Tiefbau und die Geotechnik. Dank einfachster Montage kann das System jederzeit – auch nachträglich – eingebaut werden.

(NB: Das Basiselement des Tilt-Sensors wird übrigens von der Sperry Corp. seit vielen Jahren in den hochempfindlichen Flug-Navigationsgeräten verwendet.)