

TEIL 2 MESSANLAGEN UND MESSMETHODEN



Geodätische Messung an der Bogenmauer Contra
(Quelle: Schneider Ingenieure AG, Chur)

Erläuterungen zu den Tabellen

1. Kolonne: Blatt in Teil 3

Hinweis auf Kommentarblätter in Teil 3, wo für die einzelnen Messgeräte und Messmethoden nähere Angaben bezüglich Kurzbeschreibung, Redundanzmöglichkeiten, technische Anforderungen, mögliche Störungen und Messfehler, notwendige Funktionskontrollen sowie weitere Bemerkungen gegeben werden.

2. Kolonne: Zweck

In dieser Kolonne sind die Messziele eingeordnet in Belastungsgrößen (Lasten) und Reaktionen (Verhaltensindikatoren für Staumauern und für Staudämme).

3. Kolonne: Messanlage, Messgeräte, Messmethoden

Zu jedem Messziel werden die zweckmässigsten und gebräuchlichsten Geräte/Methoden angegeben.

4. Kolonne: Anforderungen

Die an die Geräte/Methoden gestellten Anforderungskriterien werden wie folgt definiert:

Z - Hohe *Zuverlässigkeit* wird für die Ermittlung der Messgrößen gefordert, die zur einwandfreien Überwachung der Talsperren unentbehrlich sind und jederzeit verfügbar sein sollen.

L - Für wichtige Messgrößen sind - nebst ausreichenden Redundanzen - *langlebige* Messeinrichtungen erforderlich, wenn Rekonstruktionen der Messanlagen, Ersatz von Teilen oder die Herstellung

der Beziehungen zu den früheren Messungen unverhältnismässig zeitaufwändig oder unmöglich sind.

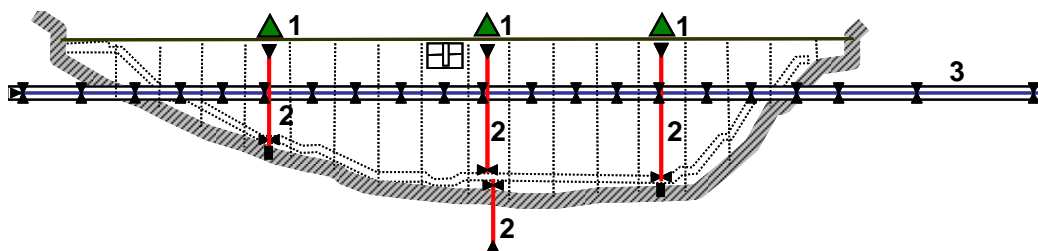
M - *Messbereiche* müssen für ausserordentliche Belastungen und unerwartetes Verhalten ausreichend ausgelegt sein.

G - Die geforderte *Genauigkeit* muss alle Fehler der gesamten Messeinrichtung und des ganzen Messvorganges abdecken (Ungenauigkeiten der Instrumente und ihrer Zentrierungen, Fehlereinfluss der Temperaturen, Einbettungsmaterialien, Reibungen, Abnützungen, Nullpunktverschiebungen, Linearitätsabweichungen usw.). (Der Begriff *Präzision* umfasst lediglich die innere Genauigkeit eines Messgeräts.)

R - Unter *Redundanz* wird einerseits die (unabhängige) Verdoppelung einer Messeinrichtung verstanden, andererseits aber auch die Möglichkeit, einen Messwert mit Hilfe anderer Messeinrichtungen überprüfen oder rekonstruieren zu können.

5. Kolonne: Bemerkungen

In dieser Kolonne erscheinen wichtige Hinweise und Angaben oder charakteristische Merkmale bezüglich Messziele und Messeinrichtungen.



Messanlage für die Verformungsmessungen einer Gewichtsmauer.
1 Pfeiler der Geodäsie
2 Lote
3 Drahtalignment

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
--------------------	-------	--	--	-------------

1. LASTEN UND ÄUSSERE EINFLÜSSE

Hydraulische Belastung und Niveau der Sedimentation

1.01	Wasserstand	Druckwaage	Z: sehr hoch L: gering M: bis über die Talsperren- krone bzw. Brüstung G: ± 10 cm R: unbedingt notwendig.	Wichtige Messung. Messbereich muss auch Hochwasser erfassen können. Automatisierung und Fernübertragung sind bei den meisten Messgeräten möglich.
1.02		Schwimmpegel		
1.03		Lattenpegel		
1.04		Manometer		
1.05		Pneumatischer Pegel		
1.06		Echolot		
1.07		Druckmesssonde		
1.08		Brunnenpfeife oder Lichtlot		
1.09	Niveau der Sedimentation Verlandung von Stauraum und von Einlaufbauwerken; Sedimentbelastung.	Wassertiefenmessung	Z: mässig L: keine M: gesamte Seetiefe G: ± 0.2 ... 0.5 m R: nicht notwendig.	Auch für Kolkiefenbestimmung.

Temperaturen

1.10	Luft- und Wasser- temperatur Äussere thermische Belastung; Einfluss auf Schneeschnmelze.	Thermograph Kontinuierliche Aufzeichnung der Ganglinie der Lufttemperatur.	Z: mässig L: mässig M: -30° C bis +40°C G: ± 1°C R: notwendig.	Diese Instrumente sind leicht ersetzbar. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
1.11		Normalthermometer Minimum / Maximum und Momentantemperatur.	Z: mässig L: gering M: -30° C bis +40°C G: ±1°C R: erwünscht.	Diese Instrumente sind leicht ersetzbar.
1.12		Elektrisches Thermometer	Z: mässig L: mässig M: -30° C bis +40°C G: ±1°C R: erwünscht.	Diese Instrumente sind leicht ersetzbar. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
1.13	Betontemperatur Innere thermische Belastung (die Betontemperatur beeinflusst die Verformungen).	Normalthermometer In Bohrlöchern.	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: -10° C bis +60°C G: ± 0.5°C R: notwendig; genügend Instrumente vorsehen.	Der Messbereich bis +60°C ist nur für den Bauzustand notwendig; bei nachträglichem Einbau genügt ein Bereich bis +30°C.
1.14		Elektrisches Thermometer	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: -10° C bis +60°C G: ± 0.5°C R: notwendig; genügend Instrumente vorsehen.	Der Messbereich bis +60°C ist nur für den Bauzustand notwendig; bei nachträglichem Einbau genügt ein Bereich bis +30°C. Automatisierung und Fernübertragung möglich.

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
1.15	Temperaturverteilung im Beton, Wasserzirkulation im Schüttmaterial, Temperaturänderung durch Sickerwasser	Verteilter faseroptischer Temperaturgeber	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: -10°C bis +60°C G: ± 0.5°C R: notwendig.	Beton: Der Messbereich bis +60°C ist nur für den Bauzustand notwendig; bei nachträglichem Einbau genügt ein Bereich bis +30°C. Schüttung: Messbereich bis +30°C genügt; unter Asphaltoberflächendichtungen bis +60°C. Einbau relativ einfach. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
Niederschlag				
1.16	Niederschlag im Bereich der Talsperre Einfluss auf das Sickerwasser.	Pluviometer Totalisator Pluviograph	Z: mässig L: gering M: maximale Niederschlagsmenge des Messintervalls G: ± 10% R: nicht notwendig.	Die Messung ist nicht in unmittelbarer Talsperrennähe erforderlich. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
Druck				
1.17	Spannungen im Schüttmaterial und im Beton	Erddruckmessdose	Z: mässig L: hoch M: gesamte Auflast (0 bis 3 N/mm ²) G: ± 5% des Messbereichs R: nicht notwendig.	Selten verwendet. Das Deformationsmodul des Messgerätes ist auf das Schüttmaterial abzustimmen. Auswertung und Ergebnisse sind problematisch. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
1.18)		Telepressmeter	Z: mässig L: hoch M: gesamter Spannungsbereich (0 bis 10 N/mm ²) G: ± 5% des Messbereichs R: nicht notwendig.	Sehr selten verwendet. Auswertung und Ergebnisse sind problematisch. Automatisierung und Fernübertragung möglich. *) Kein Kommentarblatt.



Verformungsmessung am Lot in einem Kontrollgang in einer Bogenmauer (Quelle: Emosson SA)

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
2. VERFORMUNGEN UND VERSCHIEBUNGEN (TALSPERRE UND UMGEBUNG)				
Geodätische Messungen				
2.01	Messung von räumlichen Verschiebungen Mit Einbezug der Umgebung.	Triangulation Fallweise kombiniert mit Polygon- und Nivellementszielen Elektro-optischen Distanzmessungen Optischer Lotung Loten Alignement Extensometer.	Z: sehr hoch L: sehr hoch G: Anforderung fallweise zu bestimmen R: notwendig; mittels - überzähligen Kontrollpunkten - Kombination mit anderen Messmethoden.	Grossräumig anzulegende Messanlage für langfristige Verformungsüberwachung des Bauwerkes und seiner Umgebung sowie für Verschiebungskontrolle der Referenzpunkte anderer Messeinrichtungen (Redundanz). Sehr anspruchsvolle, nur in grossen Zeitabständen durchführbare Messung; Teilmessungen für rasche Zustandsabklärungen einplanen. Daten sowie Angaben über Mess- und Auswertungsverfahren sicher archivieren.
2.02		Satellitengestützte Messungen (GPS) Verbindung mit Triangulation (zur Abstützung des Triangulationsnetzes) oder für Geländebewegungen.	Z, L, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen R: notwendig; mit Mehrfachmessungen oder anderen Messmethoden.	Die Genauigkeit hängt z.B. von der Messdauer und der Satellitenkonfiguration ab. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
2.03		Photogrammetrie Für Bewegungen des Geländes oder von Gletschern.	Z, L: Anforderungen fallweise zu bestimmen G: ± 0.2 m R: nicht relevant.	Im Allgemeinen Luftfotos, auch terrestrische Aufnahmen möglich. Lange Aufbewahrungsdauer der Luftfotos nötig. Photogrammetrie kann auch für die Aufnahme der Verlandung des Stauraums eingesetzt werden.
2.04		Laser-Scanning Flächenhafte vollständige Abtastung eines Objektes.	Z, L, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen R: nicht relevant.	Moderne Messmethode, welche die Photogrammetrie weitgehend ablöst.
2.05	Messung von horizontalen oder vertikalen Verformungen Mit Fortsetzung in die Widerlager und Talflanken.	Nivellement	Z: sehr hoch L: sehr hoch G: Anforderung fallweise zu bestimmen R: unter Umständen in Kombination mit Triangulation erwünscht.	Bewährte und bei Einsatz von modernen Geräten, einfache Messmethode. Referenzpunktgruppen auf beiden Talseiten vorsehen.

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
2.06	Fortsetzung: Messung von horizontalen oder vertikalen Verformungen Mit Fortsetzung in die Wiederlager und Talflanken.	Einfache Winkelmessungen und Elektro-optische Distanzmessungen Ab Stationen im Gelände.	Z: sehr hoch L: sehr hoch G: Anforderung fallweise zu bestimmen R: möglich mit Mehrfachmessungen oder Triangulation.	Bewährte, jedoch anspruchsvolle Messmethoden. Anwenden, wenn Einbau von Loten nicht möglich ist. Messung erfordert günstiges Wetter. Genauigkeit von Distanzen und Refraktion abhängig. Messstationen periodisch mittels Triangulation überprüfen.
2.07		Optisches Alinement	Z, L, M, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen. R: notwendig; durch Kombination mit Triangulation und Lot.	Bewährte einfache Messmethode. Messung erfordert günstiges Wetter. Genauigkeit von Distanzen und Refraktion abhängig.
2.08		Polygonzug	Z, L, M, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen. R: notwendig; durch Kombination mit Triangulation und Lot.	Sehr anspruchsvolle Messung. Einpassungselemente aus Triangulation oder Lotmessungen unentbehrlich.
Instrumente				
2.09	Messungen von horizontalen oder vertikalen Verformungen Mit Fortsetzung in die Widerlager und in den Untergrund.	Lot, Schwimmot Zweiachsige Messschlitten mit Optik zum Anzielen des Lotdrahtes, Lotdraht dient als Bezugsachse.	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: maximal berechnete Durchbiegung + 50% G: ± 0.2 mm R: unbedingt notwendig; mittels - Ersatzinstrument - Kombination mit Triangulation, Polygonzügen, Alinementen bzw. Extensometern.	Wichtige, bewährte und präzise Messmethode. Geringer Zeitaufwand für die Messung. Prüfstation für Instrument. Automatisierung und Fernübertragung möglich; Geber darf Lotlage nicht verfälschen.
2.10		Draht-Alinement Einachsige Messschlitten mit Optik zum Anzielen des Drahtes, der eine vertikale Bezugsebene markiert.	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: maximale berechnete Durchbiegung + 50% G: ± 0.2 mm R: unbedingt notwendig; mittels - Ersatzinstrument - Kombination mit Triangulation, Lot bzw. Extensometern.	Gleichwertig wie Lot. Genauigkeit unabhängig von Spannweite. Nur für geradlinige Bauwerke geeignet. Maximale Spannweite ist durch Gewicht und Qualität des Drahtes beschränkt. Prüfstation für Instrument. Automatisierung und Fernübertragung möglich.

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
2.11	Fortsetzung: Messungen von horizontalen oder vertikalen Verformungen Mit Fortsetzung in die Widerlager und in den Untergrund.	Setzpegel	Z: hoch L: hoch M: 50 bis 100 m G: ± 5cm (Bauphase) ± 1cm (Betrieb, nach Neuerstellung) R: notwendig; durch Nivellement.	Pegelrohrelemente < 6 m. Vertikalität beim Einbau sorgfältig überwachen; Einbau geneigter Pegel ist schwierig. Kann mit Rohr-Inklinometer kombiniert werden.
2.12		Schlauchwaage	Z: hoch L: hoch M: wenige Meter G: ± 1 cm R: notwendig; mit Setzpegel und Nivellement.	Kommunizierende Röhre mit Direktablesung am Standglas: 3 Schlauchleitungen je Messpunkt. Sehr genau; etwas schwerfällig, frostgefährdet. Entlüftung des Messwassers erforderlich.
2.13	Längenänderungen	Distometer / Distinvar	Z: hoch L: hoch M: 10 cm beim Distometer 5 cm beim Distinvar G: ± 0.2 mm R: notwendig; mit geodätischer Messung oder mit Streckenmessband.	Präzise Distanzmessung im Stollen oder im Gelände. Mit dem Distometer kann in beliebiger Richtung gemessen werden, mit dem Distinvar nur horizontal. Bei Überschreiten des Messbereichs kann der Draht verkürzt oder verlängert werden.
2.14	Längenänderungen und Durchbiegungen längs Linien in Bohrungen Global in langen Messstrecken oder differentiell in Ketten von kurzen Messstrecken.	Stangen- und Drahtextensometer Ein- oder mehrstufig.	Z: hoch L: hoch M: 10 bis 50 mm G: ± 0.2 mm R: nicht immer notwendig; erreichbar durch: - Einbau an mehreren vergleichbaren Orten - Unterteilung in Stufen - Kombination mit Schwimmot bzw. Nivellement.	Sehr anspruchsvoll bezüglich Einbau der Verankerung und Ummantelung der Hüllrohre. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
2.15		Stangenextensometer für Staudämme Ein- oder mehrstufig.	Z: hoch L: hoch M: 10 bis 30 cm G: ± 1 mm R: nicht immer notwendig; erreichbar durch: - Einbau an mehreren vergleichbaren Orten - Unterteilung in Stufen.	Sehr anspruchsvoll bezüglich Einbau der Verankerung und Ummantelung der Hüllrohre. Automatisierung und Fernübertragung möglich.

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
2.16	Fortsetzung: Längenänderungen und Durchbiegungen längs Linien in Bohrungen Global in langen Messstrecken oder differentiell in Ketten von kurzen Messstrecken.	Faseroptisches Extensometer Ein- oder mehrstufig.	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: 1 - 2% der Messstrecke G: ± 0.2 mm R: nicht immer notwendig; erreichbar durch Einbau an mehreren vergleichbaren Orten.	Relativ einfacher Einbau. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
2.17		Bohrlochmikrometer Differentielle Längenänderungen.	Z: hoch L: hoch M: erwartete Deformation +100% G: ± 0.2 mm für Längenänderungen, ± 0.02 mm/m für Durchbiegungen im Fels, ± 0.2 mm/m für Durchbiegungen im Lockergestein R: je nach Zweck.	Genauigkeit stark vom Führungssystem abhängig. Zum Teil sehr genaue und zuverlässige Messeinrichtungen erhältlich. Sehr anspruchsvoll bezüglich Einbau und Ummantelung der Führungsrohre. Geeignet zur Lokalisierung und Bewegungsüberwachung von Diskontinuitäten (Klüften) und Gleitflächen. Messung und Auswertung relativ aufwändig.
2.18		Bohrlochmikrometer mit Inklinometer Differentielle Durchbiegung mit Bohrlochmikrometer kombiniert.		
		Rohr-Inklinometer Differentielle Durchbiegungen im Bohrloch.		
2.19	Neigungsänderungen Lokale Rotationen.	Klinometer Mit Wasserwaage und Mikrometer oder elektronischer Anzeige. Tiltmeter Mit elektronischer Anzeige.	Z: hoch L: hoch M: 20 mm/m G: 0.02 mm/m R: Messung ist nur in Kombination mit anderen Messanlagen z.B. Loten oder Nivellementen geeignet.	Im Bereich von Hohlräumen können Resultate durch Spannungskonzentrationen und Spannungsumlagerungen beeinflusst werden. Kurze Messketten können Ergebnisse verbessern. Automatisierung und Fernübertragung beim Tiltmeter möglich.
2.20	Bewegungen von Rissen und Fugen An Oberflächen, Dilatationen und Scherungen.	Mikrometer Deformeter Dilatometer Deflektometer	Z: mässig L: hoch M: 10 mm G: ± 0.05 mm R: je nach Zweck.	An Wänden in Gängen, Stollen, Nischen usw. ist die Messung oft nicht für das Verhalten im Massiv repräsentativ. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
2.21	Punktuelle, spezifische Verformungen Zur Überprüfung der Beanspruchung im Beton.	Einbetonierte, elektrische Verformungsgeber Mit Temperaturmessung kombiniert.	Z: hoch L: hoch M: Spezifische Verformung 2 mm/m, Temperatur -10°C bis +50°C G: Dehnungen 0.02 mm/m, Temperatur ±0.2°C R: notwendig; mittels	Häufige Ausfälle. Oft von spezifischen Materialverhältnissen am Einbauort beeinflusst. Auswertung und Ergebnisse sind problematisch. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
2.22)		Einbetonierte Faseroptik	- überzähligen Messstellen - anderen Messgeräten zum Vergleich.	*) Kommentarblatt: siehe Blatt Nr. 2.15

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
3. DURCHSICKERUNGEN				
Messung von Sickerwassermengen				
3.01	Sicker- und Drainagewassermengen Sektoruell und gesamthaft.	Volumetrische Messung mit Behälter und Stoppuhr bzw. durch Volumenverdrängung (z.B. mit Messstab in fallenden Bohrlöchern).	Z: mässig L: mässig M: maximal erwartete Menge + 100 % G: ± 5 % von M R: erreichbar durch Mehrfachmessung.	Nur für kleinere Mengen bis 10 l/s anwendbar, wobei die Fülldauer mindestens etwa 20 s betragen muss.
3.02		Messüberfall und Messkanal Mit Pegel, Echolot, pneumatischem Pegel, Druckmesssonde.	Z: hoch L: hoch M: maximale erwartete Menge + 100% G: ± 5% von M R: erreichbar durch volumetrische Messung.	Periodisch Sinterablagerungen entfernen. Für Mengen < 0.05 l/s nicht geeignet. Für Sammelstelle (Gesamtmenge) Registrierung und Alarmsignal vorsehen. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
3.03		Messung in voll-durchflossenen Rohren z.B. in Förderleitungen von Sickerwasserpumpen - Venturimeter (Druckdifferenzmessung) - Echolot oder magnetinduktive Messung (Fließgeschwindigkeit).	Z: hoch L: hoch M: maximale erwartete Menge + 100% G: ± 5 % von M R: erreichbar durch volumetrische Messung an anderer Stelle.	Einfache Möglichkeiten zur periodischen Überprüfung der Anzeige vorsehen (Manometer, Messüberfall, Messkanal im freien Abfluss). Automatisierung und Fernübertragung möglich.
3.04		Messung in teildurchflossenen Rohren Echolot und magnetinduktive Messung (für Füllhöhe und Fließgeschwindigkeit).	Z: hoch L: hoch M: maximale erwartete Menge + 100% G: ± 5 % von M R: erreichbar durch volumetrische Messung an anderer Stelle.	Einfache Möglichkeiten zur periodischen Überprüfung der Anzeige vorsehen (Messüberfall, Messkanal im freien Abfluss). Automatisierung und Fernübertragung möglich.
Messung von Wasserdrücken im Fels und Lockermaterial				
3.05	Druckhöhe im Fels Druckhöhe des im Bereich der Fundamente zirkulierenden Wassers (Auftrieb, Wasserdruck in den Felsklüften).	Piezometer: offene Systeme Abtastung der Wasserspiegellage mit Kabellichtlot oder Brunnenpfeife.	Z: mässig L: hoch M: ganze Bohrungslänge G: ±0.05 m R: notwendig; Anordnung in Gruppen.	Bohrung bis zur Druckentnahmestelle dicht verrohren; oben gegen Zufluss von Wasser oder Eindringen von Schlamm, Steinen usw. schützen. Ständige Be- und Entlüftung gewährleisten.

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
3.06	<p>Fortsetzung: Druckhöhe im Fels</p> <p>Druckhöhe des im Bereich der Fundamente zirkulierenden Wassers (Auftrieb, Wasserdruck in den Felsklüften).</p>	<p>Piezometer: geschlossene Systeme</p> <p>Druckanzeige mit Präzisionsmanometer oder elektrischem Geber.</p>	<p>Z: hoch L: hoch M: ganze Höhe von Manometer bis Talsperrenkrone G: ± 0.5 m bzw. $\pm 1\%$ von M R: notwendig; Anordnung in Gruppen.</p>	<p>Bewährtes Messverfahren. Dichte Verrohrung und Manometeranschlüsse erforderlich.</p> <p>Druck in Zuleitungen nicht künstlich entlasten, damit auch sich langsam aufbauende Drücke in vollem Masse erfasst werden.</p> <p>Periodische Entlüftung der Zuleitung vorsehen.</p> <p>Periodische Prüfung der Manometer unerlässlich.</p> <p>Automatisierung und Fernübertragung möglich.</p>
3.07		<p>Piezometer: Druckmesszellen (pneumatisch oder elektrisch)</p> <p>In Bohrlöchern, einzeln oder in mehreren "Stockwerken".</p>	<p>Z: hoch L: hoch M: ganze Höhe von Messzelle bis Talsperrenkrone G: ± 0.5 m bzw. $\pm 1\%$ von M R: notwendig; grosse Anzahl oder Anordnung in Gruppen.</p>	<p>Ermöglicht zentrale Messung von weiträumig verteilten Messzellen.</p> <p>Filtertyp sorgfältig evaluieren, um frühzeitige Verstopfung zu vermeiden.</p> <p>Einbau sehr anspruchsvoll, besonders bei mehrstufiger Anordnung.</p> <p>Automatisierung und Fernübertragung möglich.</p>
3.08	<p>Druckhöhe im Lockermaterial</p> <p>Druckhöhe des im Damm (Kern und Stützkörper) und im Untergrund zirkulierenden Wassers (Auftrieb, Porenwasserdruck).</p>	<p>Piezometer: offene Systeme</p> <p>Abtastung der Wasserspiegellage mit Kabellichtlot oder Brunnenpfeife.</p>	<p>Z: mässig L: hoch M: ganze Bohrungslänge G: ± 0.05 m R: notwendig; Anordnung in Gruppen.</p>	<p>Bohrung bis zur Druckentnahmestelle dicht verrohren; oben gegen Zufluss von Wasser oder Eindringen von Schlamm, Steinen usw. schützen.</p> <p>Ständige Be- und Entlüftung gewährleisten.</p> <p>Funktionskontrolle durch Spülung.</p>
3.09		<p>Piezometer: geschlossene Systeme</p> <p>Druckanzeige mit Präzisionsmanometer oder elektrischem Geber.</p>	<p>Z: hoch L: hoch M: ganze Höhe von Manometer bis Talsperrenkrone G: ± 0.5 m bzw. $\pm 1\%$ von M R: notwendig; Anordnung in Gruppen</p>	<p>Bewährtes Messverfahren. Dichte Verrohrung und Manometeranschlüsse erforderlich.</p> <p>Druck in Zuleitungen nicht künstlich entlasten, damit auch sich langsam aufbauende Drücke in vollem Masse erfasst werden.</p> <p>Periodische Entlüftung der Zuleitung vorsehen.</p> <p>Periodische Prüfung der Manometer unerlässlich.</p> <p>Automatisierung und Fernübertragung möglich.</p>

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
3.10	Fortsetzung: Druckhöhe im Lockermaterial Druckhöhe des im Damm (Kern und Stützkörper) und im Untergrund zirkulierenden Wassers (Auftrieb, Porenwasserdruck).	Piezometer: Druckmesszellen (pneumatisch, elektrisch oder hydraulisch) In der Schüttung, in Bohrlöchern einzeln oder in mehreren "Stockwerken".	Z: hoch L: hoch M: ganze Höhe von Messzelle bis Talsperrenkrone G: $\pm 0.5m$ bzw. $\pm 1\%$ von M R: notwendig; grosse Anzahl oder Anordnung in Gruppen.	Ermöglicht zentrale Messung von weiträumig verteilten Messzellen. Hydraulische Messung ist nur möglich, wenn die Messstation tiefer als das tiefstmögliche Druckniveau liegt. Filtertyp sorgfältig evaluieren, um frühzeitige Verstopfung zu vermeiden. Einbau sehr anspruchsvoll, besonders bei mehrstufiger Anordnung. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers				
3.11	Erfassen physikalischer oder chemischer Veränderungen (Erosion, Lösung).	Trübungsmessung	Z: hoch L: hoch M: 0 bis 500 ppm G: ± 1 ppm R: notwendig; durch Laboranalyse von Wasserproben.	Erfasst suspendierte und lösliche Stoffe. Geschützter Standort wichtig. Eichung durch Laboranalysen des Sickerwassers. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
3.12		Chemische Analyse	Z: hoch L: keine M: entsprechend den zu bestimmenden Grössen G: entsprechend den zu bestimmenden Grössen R: nicht notwendig.	In grösseren zeitlichen Abständen durchführen. Relevante Bestimmungsgrössen durch Spezialisten festzulegen.
4. ZUSTAND				
4.01	Geophysikalische Methoden Erfassen von geophysikalischen Eigenschaften in Talsperren und Untergrund.	Reflexionsseismik Refraktionsseismik Goelektrik Elektromagnetik Georadar Geomagnetik Gravimetrie Seismische Tomographie Ultraschall Infrarotaufnahmen Diagraphie	Z, L, M, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen R: notwendig; fallweise durch Bohrungen, Probenahme und Versuche bzw. durch andere geophysikalische Versuchsmethoden.	Anwendung und Auswertung durch Spezialisten.

Blatt Teil 3	Zweck	Messanlage Messgeräte Messmethoden	Anforderungen Z = Zuverlässigkeit L = Langlebigkeit M = Messbereich G = Genauigkeit R = Redundanz	Bemerkungen
4.02	Kamera- inspektion Von schlecht oder unzugänglichen Stellen.	Unterwasser- Robotkamera	Z, L, M, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen R: nicht notwendig.	Gute Sichtverhältnisse im Wasser erforderlich. Positionierung sicherstellen.
4.03		Bohrlochkamera	Z, L, M, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen R: nicht notwendig.	Wassertrübung stört die Sichtbedingungen.
4.04	Beton- eigenschaften	Schmidt-Hammer Zerstörungsfreie Festigkeitsprüfung an der Betonoberfläche.	Z: mittel L: keine M: angenommene Druckfestigkeit + 100% G: ± 20% von M R: notwendig; durch Laborversuche.	Einfache in-situ Methode. Resultate sind nur für den oberflächennahen Bereich repräsentativ.
4.05		Laborversuche An Probenkörpern.	Z, L, M, G: Anforderungen fallweise zu bestimmen R: notwendig; durch grosse Zahl von Versuchen.	Probekörper sind im Verhältnis zum Baukörper sehr klein.
4.06 *)	Feststellung von Wasser- zirkulationen Leckortung.	Verteilte faseroptische Temperaturgeber Zur Messung von Temperaturänderungen auf Grund von Durchsickerungen.	Z: sehr hoch L: sehr hoch M: -10° C bis +30°C G: ± 0.5°C R: notwendig; genügend Instrumente vorsehen.	Neueres Verfahren. Die Faseroptik gestattet die durch Sickerströmungen verursachten Temperaturänderungen längs ausgedehnten Messlinien zu lokalisieren. *) Kommentarblatt: siehe Blatt Nr. 1.15.
5. VERSCHIEDENES				
5.01	Ankerkontrolle von Vorspannankern.	Ankerkraftmessdose (Elektrisch oder hydraulisch), am Ankerkopf bei der Kraftereinleitung angebracht.	Z: hoch L: hoch M: Ankerkraft +25% G: ± 1% von M R: notwendig.	Ankerkraftmessdose soll kontrollierbar und ersetzbar sein. Automatisierung und Fernübertragung möglich.
5.02 *)	Aufzeichnung seismischer Ereignisse	Seismometer oder Seismograph Aufzeichnung von Bewegungen in Funktion der Zeit (<i>Geschwindigkeit</i> oder <i>Beschleunigung</i>). Accelerograph Aufzeichnung von <i>Beschleunigungen</i> in Funktion der Zeit.	Z: hoch L: mittel M: ± 1g (a_{max}) G: $\Delta a \leq 0.03$ mg (≥ 16 Bits); $\Delta t \leq 0.005$ sec R: notwendig.	3-Komponentenmessgeräte vorsehen. Mindestens 3 Messgeräte installieren (auf der Krone, im Fundationsbereich und im Freifeld). Anwendung und Auswertung durch Spezialisten. *) Kein Kommentarblatt.