

DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

SCHRIFTENREIHE / HERAUSGEGEBEN VON DER
ÖSTERREICHISCHEN STAUBECKENKOMMISSION
UND DEM ÖSTERREICHISCHEN
WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND WIEN
SCHRIFTFÜHRUNG: PROF. DR. HERMANN GRENGG

HEFT 16

Dipl. Ing. Otto Ganser

*Die Meßeinrichtungen
der Staumauer Kops*

1968

WIEN 1968. IM SELBSTVERLAG DES
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

INHALT

	Seite
1. Einleitung	5
2. Kurze Beschreibung der Staumauer Kops	7
3. Disposition der Meßeinrichtungen	9
4. Einbau der Meßeinstrumente	15
5. Beschreibung der Meßeinrichtungen und Erfah- rungen beim Einbau	16
5.1 Geodätische Meßeinrichtungen	16
5.11 Triangulation	16
5.12 Polygonzüge	18
5.13 Nivellements	20
5.14 Alignements	21
5.2 Lotanlagen	24
5.21 Lotanlagen in der Staumauer	24
5.22 Lotanlagen in den Felswiderlagern	28
5.3 Klinometer	29
5.4 Einrichtungen zur Messung der Betonspannungen	31
5.5 Einrichtungen zur Messung der Betontemperatur	34
5.6 Einrichtungen zur Messung der Fugenweite zwischen den Mauerblöcken	35
5.7 Einrichtungen zur Messung des Sohlen- wasserdruckes	37
5.8 Einrichtungen zur Messung der Höhe des Wasserspiegels im Gebirge	40
5.9 Einrichtungen zur Messung der Längen- änderungen im Fels	41
5.91 Telerocmeter – Extensometer	41
5.92 Verwendung von Telerocmetern zur Ein- messung absoluter Felsdeformationen	47
6. Meßzentrale	49
7. Schlußbemerkung	53

1. Einleitung

Die Meßeinrichtungen der Staumauer Kops haben, wie bei allen anderen großen modernen Talsperren, die wichtige Aufgabe, Mauer und Felsuntergrund dauernd zu beobachten und zu überwachen. Die Ergebnisse der verschiedenen Messungen sollen sich dabei ergänzen und auch eine gegenseitige Kontrolle der gemessenen Werte liefern. An die Meßeinrichtungen muß daher die Anforderung gestellt werden, daß die Ergebnisse in hohem Maße zuverlässig sind und wenigstens zum Teil einen unmittelbaren Aussagewert besitzen. Die Zuverlässigkeit wird durch möglichst einfach wirkende und robuste Einrichtungen gewährleistet.

Bei Staumauern lassen sich nicht wie z. B. bei Brücken, Probelastungen durchführen. Die Belastung beim ersten Einstau ist schon der Ernstfall, wobei ein Versagen katastrophale Auswirkungen bedeuten kann.

Die heutigen Berechnungsmethoden von Staumauern, kontrolliert in vielen Fällen durch statische Modellversuche, zusammen mit einer gewissenhaften und streng kontrollierten Ausführung haben zur Folge, daß der Bruch einer Staumauer selbst, ob Gewichts- oder Gewölbemauer, nach menschlichem Ermessen in Friedenszeiten ausgeschlossen ist. Es lassen sich allerdings die Beanspruchungen, Deformationen und Sicherheiten rechnermäßig nur beim Bauwerk selbst genauer angeben, während man bei der Beurteilung des Verhaltens des Felsuntergrundes weitgehend auf die Beobachtung angewiesen ist. Man wird wohl nie in den Felsuntergrund direkt hineinsehen können, die Aufschlüsse in der Gründungssohle, den Stollen und Bohrlöchern in den Felswiderlagern, geben keine absolute Gewähr dafür, daß irgendwelche Störungen oder Schwächezonen im tragenden Felswiderlager unentdeckt bleiben. Je mehr zweckentsprechende Instrumente sinnvoll in einer Mauer eingebaut sind, umso bessere Aussagen können bei der Auswertung, auch bezüglich des Verhaltens der Widerlager, gemacht werden.

Zwischen den beiden Partnern, Mauer und Felswiderlager, bestehen enge Beziehungen. Die Formänderungen und Spannungen des Mauerkörpers werden durch die Deformationen des Felsuntergrundes beeinflusst. Ein gutes Verhalten einer Mauer ist nur bei hinreichend tragfähigen Widerlagern möglich und jede abnormale Veränderung des Untergrundes wirkt sich in den Meßresultaten der Mauerbeobachtung aus.

Obwohl, wie bereits erwähnt, die Deformationen und Sicherheiten im Felsuntergrund im Gegensatz zum Bauwerk nur annähernd angegeben werden können – wobei unter Sicherheit nicht eine Zahl verstanden wird – werden ganz allgemein auch in modernen Mauern bedeutend mehr Meßinstrumente eingebaut als in den Felswiderlagern. Das hat seinen Grund darin, daß im vergleichsweise zum Felswiderlager zarten Kunstkörper der Mauer, der außerdem sehr vielen Einwirkungen ausgesetzt ist, eben zur möglichst guten Erfassung und Beurteilung seines komplizierten Verhaltens auch viele Instrumente erforderlich sind. Im Beton der Mauer und den vielen Hohlräumen im Innern lassen sich ohne sonderliche Schwierigkeiten und besonders hohe Kosten auch viele verschiedenartig wirkende Meßeinrichtungen einbauen.

In den Felswiderlagern stößt jedoch nicht nur die Berechnung, sondern auch der an sich sehr wünschenswerte Einbau einer größeren Zahl von Meßinstrumenten auf große Schwierigkeiten. Die Meßeinrichtungen lassen sich nur in Stollen, Schächten oder Bohrlöchern unterbringen, wobei Schwächungen des Widerlagerfelsens durch große Hohlräume und Sprengarbeiten möglichst vermieden werden sollen. Die bekannten und zuverlässig wirkenden Meßmöglichkeiten im Untergrund sind überdies beschränkt.

Die Kosten, die eine sorgfältig ausgewählte Meßeinrichtung verursacht, sind, gemessen an den Baukosten einer großen Talsperre, unbedeutend. Den größten Anteil dieser Kosten ergeben dabei die notwendigen baulichen Vorkehrungen, insbesondere jene für die Beobachtung des Felsuntergrundes, also den Großbohrlöchern für die Lotanlagen, den Meßkammern und Pfeilernetzen sowie der Bau allfälliger Beobachtungsstollen.

Bei der Disposition der Meßanlage ist auch auf die Baudurchführung zu achten und zu bedenken, daß der Einbau der Instrumente und die Messungen in den ersten Beobachtungsjahren unter großen baubedingten Schwierigkeiten durchzuführen sind. Andererseits soll mit den Messungen möglichst frühzeitig noch während des Baues begonnen werden. Falls dies nicht geschieht, gehen wichtige Daten unwiderruflich verloren, z. B. die Kenntnis der Deformation des Felsuntergrundes unter dem Einfluß der Zunahme des Eigengewichtes der im Bau befindlichen Mauer. Die Kenntnis der Felsverformung unter Eigengewicht liefert jedoch die ersten wirklich brauchbaren Angaben über das Verhalten und die Nachgiebigkeit des Untergrundes.

Bei der Auswahl der Meßinstrumente, der Zahl und Anordnung, muß auf die Auswertung der Ergebnisse Bedacht genommen werden. Es hat gar keinen Zweck, eine große Zahl von Geräten einzubauen, wenn nicht ein entsprechend geschultes Personal für die Auswertung der Ergebnisse zur Verfügung steht. Dabei ist es natürlich ein Unterschied, ob das Meßergebnis einen direkten Aussagewert hat wie z. B. eine Lotablesung oder erst zeitraubende Rechnungen angestellt werden müssen, bis ein brauchbares Resultat vorliegt.

Eine gewissenhafte Betreuung einer Talsperre erfordert die laufende Auswertung der Meßergebnisse, damit der für die Sicherheit der Sperre Verantwortliche sich jederzeit ein Gesamtbild vom Verhalten der Stauanlage machen kann. Diese Kontrolle erstreckt sich auf die ganze Lebenszeit der Mauer. Sie ist natürlich während der ersten Betriebsjahre und vor allem während der ersten Einstauperiode von größter Bedeutung.

Eine große Hilfe bilden dabei die neuerdings zur Verfügung stehenden selbstregistrierenden Anzeige- und Schreibgeräte. Die wichtigsten Meßeinrichtungen einer großen Talsperre sollen daher, wenn irgendwie möglich, auf diese Weise ausgerüstet werden. Diese automatischen Geräte erleichtern jedoch nicht nur die Arbeit, sondern erhöhen auch wesentlich die Sicherheit, da auf diese Weise ein etwa eintretendes unnatürliches Verhalten der Mauer schneller und besser erkannt wird.

Außerdem liefern diese Geräte eine lückenlose kontinuierliche Auftragung und zeigen auf diese Weise auch sprunghafte Veränderungen an. Aus verschiedenen Beobachtungen ist zu vermuten, daß in den Felswiderlagern auch ruckartige Deformationen vor sich gehen.

Diese Automatisierung wird sich vor allem auf die sogenannten "Sicherheitsmessungen" beziehen, in der Hauptsache also auf die Lotmessungen in

Mauer und Felswiderlager, die Extensometer und Telerocmeter sowie die wichtigsten Spannungsanzeigeräte.

Diese Anzeigeräte sollen in einer Meßzentrale, am besten im Wärterhaus, aufgestellt werden.

Mit der Projektierung einer Meßanlage einer Sperre soll möglichst frühzeitig und nicht erst während des Baues begonnen werden. Eine sorgfältige Planung erfordert neben einer großen Erfahrung auch viel Zeit. Bei der Festlegung der Stollen, der Gänge und Schächte in der Mauer usw. soll bereits auch auf deren Verwendung für Meßzwecke geachtet werden.

Bei der Staumauer Kops wurden mit Ausnahme der geodätischen Geräte und Instrumente und des am Ende des Künstlichen Widerlagers eingebauten Extensometers, sämtliche Einrichtungen von der Firma Physikalische Instrumente Huggenberger, Zürich, Schweiz geliefert. Herr Dr. Huggenberger hat bei der Planung der gesamten Meßanlage, vor allem der elektrischen Einrichtungen maßgebend mitgewirkt, sowie den Einbau der Instrumente, insbesondere in der ersten Zeit, persönlich überwacht. Seine steten Bemühungen um die Weiterentwicklung der Talsperrenmeßtechnik und der hervorragenden Qualität seiner Erzeugnisse ist es in erster Linie zu danken, daß eine in jeder Hinsicht befriedigende Anlage geschaffen wurde.

Ein Beweis für die Güte der Instrumente, aber auch die Sorgfalt beim Einbau ist damit erbracht, daß von den rund 140 in den Beton eingebauten elektrischen Instrumenten noch keines ausgefallen ist und alle in zufriedenstellender Weise funktionieren.

2. Kurze Beschreibung der Staumauer Kops

Es ist vorgesehen, in nächster Zeit in einer eigenen Broschüre einen umfassenden Bericht über den Bau der Staumauer Kops zu veröffentlichen.

Eine Beschreibung der Staumauer Kops ist bereits im Sonderabdruck der "Österreichischen Wasserwirtschaft" Jahrgang 15, Heft 3/4 1963 "Der Speicher Kops der Vorarlberger Illwerke" von Dir. Dipl. Ing. Dr. techn. h. c. Anton Ammann erschienen. Im folgenden sollen daher nur die wichtigsten Angaben wiedergegeben werden.

Daten des Speicher Kops

Überstaute Fläche	1 km ²
Nutzbarer Speicherinhalt	44 Mio m ³
Speicherbares Arbeitsvermögen	107 Mio kWh

Hauptdaten der Mauer

Betriebsstauziel	1809,00 m ü. A. P.
Größter Hochwasserstand	1809,79 m ü. A. P.
Mauerkrone	1811,00 m ü. A. P.
Kronenstärke	6,00 m

Abflußmengen bei vollem Speicher

Grundablaß	19 m ³ /s
Zwischenablaß	41 m ³ /s
Hochwasserüberlauf	42 m ³ /s

Hauptmauer (Gewölbemauer)

Kronenlänge (zwischen dem rechten Felswiderlager und dem linken Künstlichen Widerlager)	400 m
Größte Mauerstärke im Fundament	30 m
Größte Mauerhöhe	122 m

Seitenmauer (Gewichtsmauer)

Kronenlänge	214 m
Neigung der Wasserseite	1 : 0,05
Neigung der Luftseite	1 : 0,68
Größte Mauerhöhe	43 m

Betonkubatur

Hauptmauer	485 000 m ³
Künstliches Widerlager	97 000 m ³
Seitenmauer	81 000 m ³
Gesamtkubatur	663 000 m ³
Felsausbruch	201 000 m ³
Aushub von Überlagerungsmaterial	125 000 m ³

Geologie und Gründung der Staumauer

Die Sperrenstelle liegt in den Gneisen und Amphiboliten des Silvretta-Kristallins. Die Kopser Mulde ist durch erosive Glazialformung gestaltet worden. Der talseitige Abschluß des Beckens besteht aus einer Felsschwelle, die etwa 200 m unterhalb der Mauer mit einer Steilstufe zum tiefer gelegenen Erosionsniveau abfällt. Die im Sperrbereich anstehenden Gesteine streichen im großen und ganzen von WSW nach ONO und fallen mittel bis sehr steil gegen Norden ein. Die vorwiegend auftretenden Gesteinsarten sind Amphibolite und Aplitgneise mit Einschaltungen von Quarziten, Glimmerschiefern und Schiefergneisen.

Die Staumauer erhielt auf ihrer ganzen Länge einen lotrechten Dichtungsschirm, der einen Bereich von durchschnittlich 60 m Tiefe unter der Gründungssohle erfaßt.

Betontechnologie

Betonzuschlagstoffe aus den Aluvionen des benachbarten Kleinvermunntales. Korngruppen 0,06/1, 1/3, 3/10, 10/40, 40/80, 80/150 mm Naturkorn; 1/3 Brechkorn; rund 3% künstliche Luftporen.

	Zement- dosierung kg PZ 275 H	Größtkorn Durchmesser mm	W/Z	Mittlere Druckfestig- keiten nach 90 Tagen
Kernbeton Gewichtsmauer und künstliches Widerlager	150	150	0,71	250
Kernbeton Gewölbemauer	180	150	0,60	302
Vorsatzbeton	230	150	0,49	366
Felsanschlußbeton	280	80	0,48	356

Die vom Ingenieurbüro Dr. Lombardi und Ing. Gellera in Locarno durchgeführte statische Berechnung der Gewölbemauer erfolgte nach dem Trägerrostverfahren, bei welchem die auf die Staumauer einwirkenden Belastungen so auf horizontale und vertikale Lamellen (Bogen und Kragträger) aufgeteilt werden, daß deren Verformungen in den Schnittpunkten übereinstimmen.

Die Rechnung wurde mit 5 Kragträgern und 8 Bogen durchgeführt. Es wurden sowohl der Radialausgleich als auch der Tangentialausgleich vorgenommen.

Der Verformungsmodul des Gebirges wurde halb so groß wie jener des Betons angenommen.

Alle Berechnungen der Deformationen und Beanspruchungen erfolgten mit Hilfe von elektrischen Rechenautomaten.

Die wichtigsten Ergebnisse der Berechnung sind:

Betonspannungen für Eigengewicht allein

Größte Druckspannung 33,2 kg/cm²

Größte Zugspannung 12,5 kg/cm²

Betonspannung für Eigengewicht

Wasserdruck und Temperatureinfluß

Größte Bogendruckspannung 58,1 kg/cm²

Größte Kragträgerzugspannung 8,2 kg/cm²

3. Disposition der Meßeinrichtungen

Bei der Planung der Meßanlage für eine Staumauer ist anzustreben, mit möglichst wenig Einrichtungen ein Maximum an wichtigen Meßdaten zu erhalten. Dabei ist stets zu beachten, welche Daten zur Beurteilung des Verhaltens von Mauer und Untergrund von Bedeutung sind und auch zu überlegen, was man im gegebenen Fall auswerten will und kann. Dabei wird stets die Beurteilung der Sicherheit ausschlaggebend sein, während die an sich sehr wünschenswerte Gewinnung neuer Erkenntnisse im Hintergrund bleiben muß.

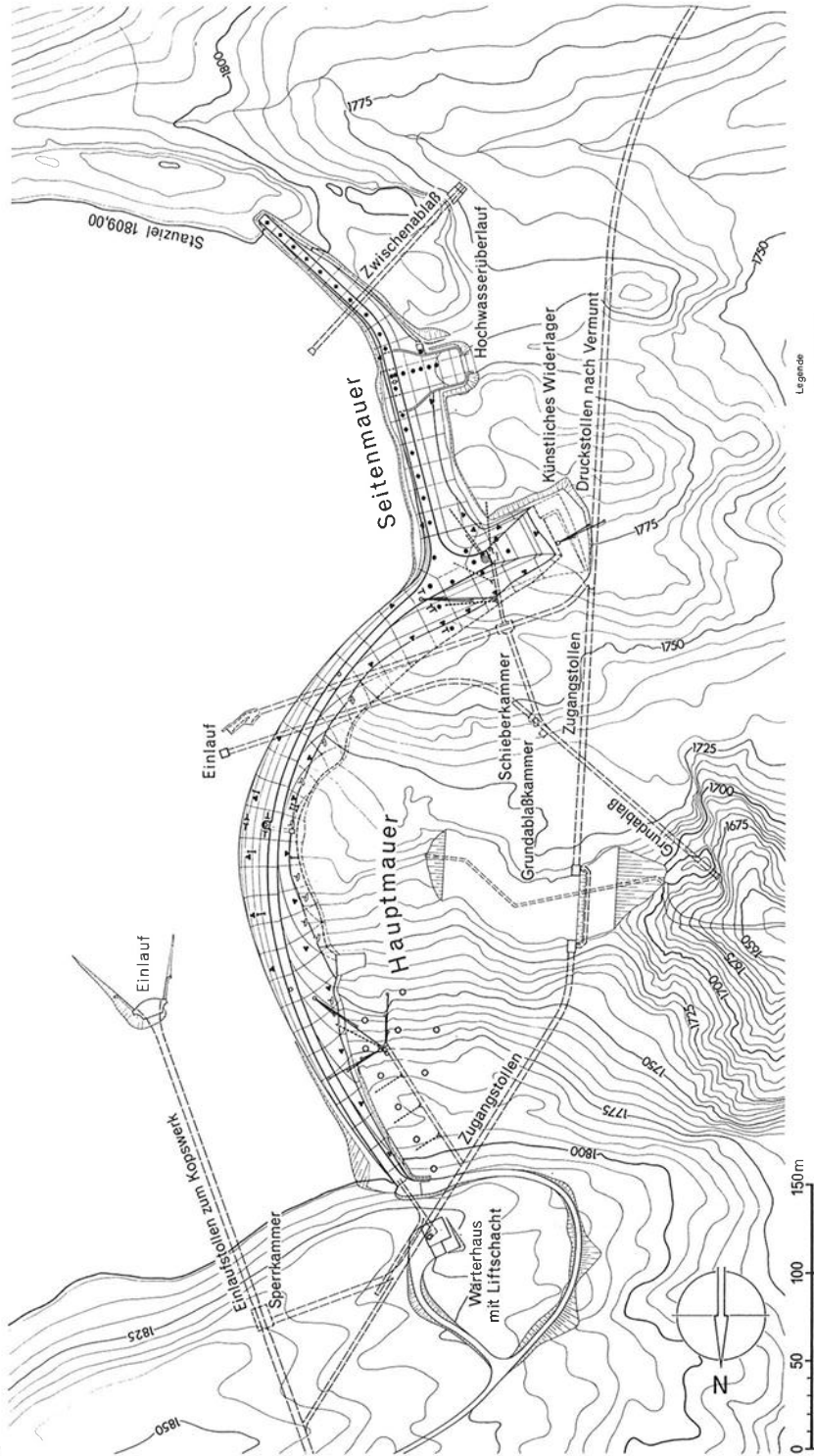
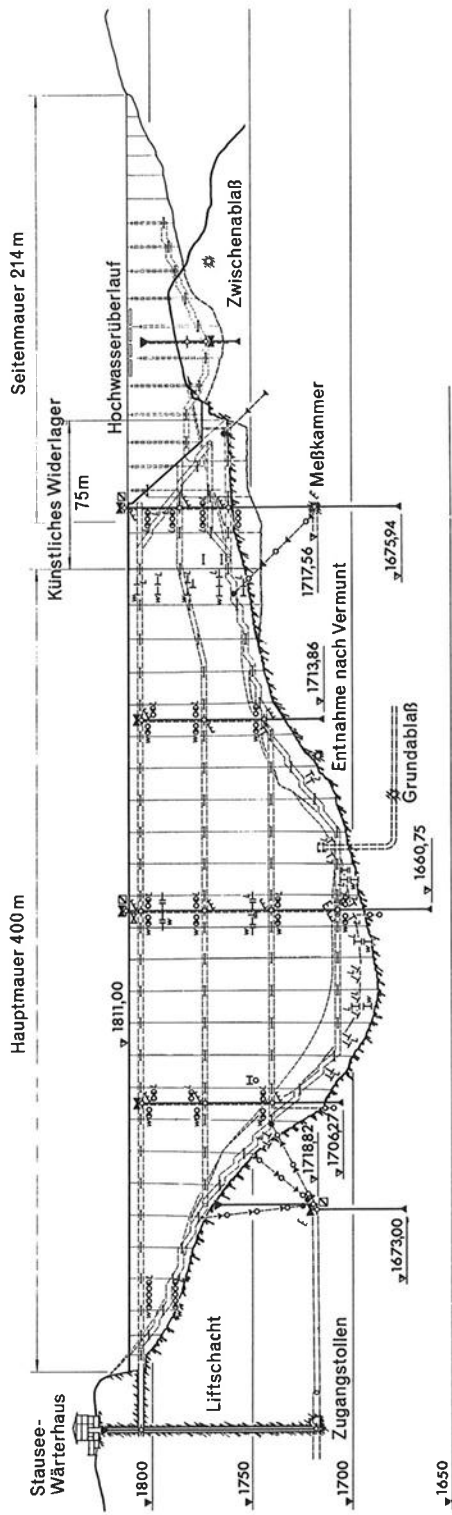


Abb. 1 Lageplan



LEGENDE :

- | | | | |
|---|-----------------------|---|--|
| + | Fugen-Meßstellen | I | Teleformeter |
| ⊕ | Koordinat-Meßstellen | ⊖ | Nullteleformeter |
| ⊙ | Seitzklinometer | ○ | Telethermometer |
| ⊗ | Signalkontakt | ⊙ | Telethermometer mit Luft- oder Wasserberührung |
| ⊠ | Schwimmliot-Meßanlage | ⊠ | Koordinator |
| ⊡ | Freilicht-Meßanlage | ● | Teilerometer und Extensometer |
| ⊢ | Telepreßmeter | w | wasserseitig |
| ⊣ | Nulltelepreßmeter | l | luftseitig |

Abb. 2 Längenschnitt

In Kops kommen folgende Meßeinrichtungen zur Anwendung

1. Meßeinrichtungen zur Erfassung von Deformationen der Mauer und deren Umgebung einschließlich Felsuntergrund.

Diesem Zwecke dienen

- 1.1 Triangulation
 - 1.2 Alignement
 - 1.3 Polygonzüge
 - 1.4 Nivellements
 - 1.5 Lotanlagen
 - 1.6 Telerocmeter und Extensometer
 - 1.7 Klinometer
 - 1.8 Einrichtungen zur Messung der Fugenweite zwischen den Mauerblöcken
2. Thermometer zur Messung des Temperaturzustandes des Mauerbetons und des Gebirges
 3. Einrichtungen zur Messung des Spannungszustandes im Mauerbeton.

Dazu gehören

- 3.1 Telepreßmeter (zur Messung von Druckspannungen)
 - 3.2 Teleformeter (zur Messung von Zugspannungen)
4. Verschiedene Einrichtungen
 - 4.1 Sohlenwasserdruckmeßeinrichtungen
 - 4.2 Piezometer zur Messung des Wasserstandes im Gebirge

Man erkennt aus dieser Aufstellung, daß in erster Linie Bewegungsgrößen gemessen werden.

Bei der Staumauer Kops wurden zwei Schwerpunkte der Mauerbeobachtung gebildet und zwar der Gewölbescheitel und ein Punkt beim Künstlichen Widerlager. Beide ausgezeichneten Punkte können durch mehrere voneinander unabhängige Methoden eingemessen werden und zwar durch

Lotanlagen
Alignement
Polygonzüge

der Punkt beim Künstl. Widerlager außerdem durch Triangulation.

Es ist also eine mehrfache Kontrolle der Lage dieser Punkte gegeben.

Von diesen Einrichtungen kommt den Lotanlagen die größte Bedeutung zu. Die Beobachtung der Lotabweichungen ist relativ einfach, die gemessenen Werte sind sehr genau, haben einen direkten Aussagewert und können mit den Ergebnissen von Berechnung und Modellversuch – unter Berücksichtigung des Einflusses der Temperaturänderung auf die Verformung des Mauerkörpers – direkt verglichen werden. Da sich bekanntlich nicht nur die Mauer, sondern auch der Felsuntergrund verformt, ist es wichtig, daß die Lotanlagen in den Untergrund verlängert werden. Diese Verlängerung erfolgt in Kops durch Großbohrlöcher. Da an der Bohrlochsohle nicht gemessen werden kann, war die Anordnung von Schwimmlotanlagen notwendig. Wegen der unvermeidlichen Abweichung des Bohrloches von der Lotrechten, ist die Bohrlochtiefe für diesen Zweck beschränkt. Man muß bei großen Sperren damit rechnen, daß die Verformungen des Untergrundes auch in einer Tiefe von 40-50 m noch nicht abge-

geschlossen sind. Die Lotanlagen liefern nur die relative Bewegungsgröße zwischen Verankerungspunkt und Meßstelle.

Um einerseits eine Kontrolle der durch die Lotanlagen gemessenen Verformungen zu erhalten, andererseits möglichst absolute Werte – also einschließlich der ganzen Untergrundbewegung – zu bekommen, wurden in Kops die Alinementmeßeinrichtungen angeordnet.

Die Einmessung von Mauerscheitel und Punkt beim Künstlichen Widerlager erfolgt von zwei am rechten Hang gelegenen Meßbunkern. Der Zielpunkt liegt in großer Entfernung am linken Berghang.

Um eine Lagekontrolle aller Blöcke der Bogenmauer zu ermöglichen, wurde im obersten Mauergang eine Pfeilerkette zur Präzisionspolygonzugsmessung angeordnet. Die Endpunkte des Zuges liegen bei den tief in den Untergrund reichenden Lotanlagen, beim Künstlichen Widerlager und im Liftschacht. Die Lage der Lotmeßstellen im Mauergang wird bei der Polygonzugsmessung miterfaßt. Da die Endpunkte durch Triangulation eingemessen werden können, ist die Möglichkeit der Erfassung absoluter Verformungsgrößen gegeben.

Die Errichtung einer großen Staumauer und vor allem die Füllung des Speichers hat eine mehr oder weniger große Verformung der ganzen Umgebung zur Folge. Das Ausmaß dieser Bewegungen kann durch Lotmessungen und Alignements (falls Beobachtungs- und Zielpunkt nicht weit genug von der Sperre entfernt sind) nicht zur Gänze erfaßt werden.

Zur Feststellung großräumiger Verformungen wurde an beiden Seiten der Sperre ein Triangulationsnetz errichtet, welches gestattet, die Lage von besonderen Mauer- und Geländepunkten von weitabgelegenen, von Mauer und Wasserlast unbeeinflussten Punkten einzumessen.

Da diese Messungen nur in der schneefreien Jahreszeit bei gutem Wetter durchgeführt werden können und einen großen Aufwand sowohl bei der Einmessung selbst als auch bei der Auswertung der Ergebnisse erfordern und außerdem mit einer von der Art des Pfeilernetzes abhängigen relativ hohen Ungenauigkeit belastet sind, dient dieses Verfahren nur zur übergeordneten Kontrolle.

Zur weiteren Lagekontrolle dienen die Lotanlagen bei den Viertelpunkten der Mauer und dem höchsten Block der Seitenmauer. Die Krone aller Blöcke der Seitenmauer können durch ein eigenes Alinement eingemessen werden.

Zur Kontrolle der Felswiderlager wurden zwei Beobachtungsstollen angeordnet. Der Stollen an der linken Talseite endet in der Beobachtungskammer unter dem Künstlichen Widerlager. Von hier aus wurde das Bohrloch für die Lotanlage noch 40 m tief in den Untergrund verlängert, so daß das Schwimmlot insgesamt ca. 136 m mißt. Es ist anzunehmen, daß die Verformung des Gebirges in dieser Tiefe nur noch sehr gering ist, so daß annähernd die absoluten Deformationen des künstlichen Widerlagers und des Felsuntergrundes an dieser Stelle erfaßt werden können. Wie bereits erwähnt, ist auch eine trigonometrische Lagekontrolle dieser Lotmeßstelle durch den Pfeiler an der Krone der Mauer gegeben.

Weitere wichtige Daten über die Bewegungen im Untergrund liefern die Teleroctrometer- und Extensometermeßstrecken.

Der Beobachtungsstollen an der rechten Flanke liegt luftseitig der Mauer in dem für die Kontrolle der Felsdeformationen wichtigen Felsbereich. Auch hier bildet eine tiefreichende Lotanlage den Kernpunkt der Meßeinrichtungen.

Die drei in verschiedenen Richtungen an dieser Stelle zusammenkommenden Telerocmetermeßstrecken geben weitere wichtige Angaben über das Verhalten des Untergrundes an der rechten Flanke.

Zur Erfassung der Felsdeformationen im Stollensystem auf Höhe ca. 1717 wurde eine Pfeilerkette für einen Präzisionspolygonzug angelegt, dessen Endpunkte durch die Lotanlagen beim Künstlichen Widerlager und dem Liftschacht mit dem Polygonzug im obersten Mauergang und damit mit dem Triangulierungsnetz an beiden Talflanken in Verbindung stehen.

Insbesondere sei noch auf die Einmessung der Höhenlage von Beobachtungspunkten durch Nivellements hingewiesen. Vor allem zur Kontrolle des Verhaltens des Felsuntergrundes ergeben die Nivellementmessungen an den Blockfundamenten und in den Stollen wichtige Daten.

Abgesehen von den Lotanlagen wurde die Bogenmauer und das Künstliche Widerlager mit einer Anzahl weiterer Einrichtungen versehen.

An allen Lotablesestellen sind zwecks Messung von Neigungsänderungen Klinometermeßstellen vorhanden. Die Klinometermessungen gestatten eine Kontrolle der durch die Lote gewonnenen Werte. Die Kenntnis der Neigung ist besonders in der Nähe des Mauergrundes von Interesse, weil auf diese Weise auch die Verdrehungen des Gründungsfelsens erfaßt werden.

Zur Kontrolle der Druckspannungen wurde eine größere Anzahl von Telepreßmetern in den Bauwerkskörper eingebaut. Die Geräte liegen zum großen Teil längs des luftseitigen Mauerfußes im Bereich der rechnermäßig größten Felspressungen. Weitere Instrumente wurden in verschiedenen Höhenlagen des Mittelscheitels an der Wasser- und Luftseite angeordnet. Sie wurden in der Hauptspannungsrichtung eingebaut. Zur Kontrolle der auf das Künstliche Widerlager entfallenden Kräfte dienen die am theoretischen Übergang zur Bogenmauer angeordneten Geräte.

Die Telepreßmeter wurden größtenteils paarweise in gegenseitigem Abstand von 1,5-2 m eingebaut, um örtliche Unterschiede möglichst ausschalten zu können.

Um Angaben über die Größe der unvermeidlichen Zugspannungen in der Nähe der Gründung im tiefsten Mauerbereich zu erhalten, sind einige Teleformeter in der wasser- und luftseitigen Randzone angeordnet worden.

Zur Beurteilung der Ergebnisse der Verformungsmessungen ist die Kenntnis der Temperatur der Mauer erforderlich. Im Beton der Bogenmauer und des Künstlichen Widerlagers wurde daher eine große Anzahl Thermometer, meist in der Nähe der Lotmeßstellen über den ganzen Querschnitt reichend, angeordnet.

Nicht allen Meßeinrichtungen kommt gleiche Bedeutung zu. Manche Messungen können nur von hoch qualifizierten Fachkräften in bestimmten längeren Zeitabständen erfolgen. Zur Beurteilung der Sicherheit einer großen Anlage und andauernder Überwachung müssen die Messungen in kurzen Zeitabständen erfolgen. Zu diesen sogenannten Sicherheitsmessungen, die vom Wärter selbst durchgeführt werden können, gehören die Lot-, Alignement-, Teleroc- und allenfalls die Spannungsmessungen.

Anzustreben und in Kops verwirklicht ist eine zentrale Stelle, am besten im Wärterhaus selbst, wo die wichtigen Werte jederzeit abgelesen werden können.

4. Einbau der Meßinstrumente

Mit dem Einbau von Instrumenten und der Durchführung von Messungen soll möglichst frühzeitig begonnen werden. Bereits die meist umfangreichen Aushub- und Ausbruchsarbeiten können Deformationen des Gebirgskörpers ergeben. Die Errichtung einer großen Sperre bewirkt allein durch das Eigengewicht bedeutende Einsenkungen der Blöcke in den Untergrund. Falls Meßdaten darüber vorliegen, können wertvolle Erkenntnisse über das Verformungsverhalten des Untergrundes gewonnen werden. Durch zu spät einsetzende Messungen gehen wichtige Daten unwiderruflich verloren. In Kops wurden daher am luft- und wasserseitigen Fuß der Mauerblöcke baldmöglichst Nivellamentbolzen versetzt und eingemessen. Die Einmessung dieser Bolzen ist oft durch von oben bei den Bauarbeiten herabfallende Gegenstände gefährlich, doch gibt es immer Arbeitspausen, in welchen ein Betreten des Mauerfußes ohne Gefahr möglich ist.

Dem richtigen sorgfältigen Einbau aller Meßeinrichtungen ist größte Beachtung zu schenken. Dies gilt vor allem für jene Instrumente, welche in den Beton eingebaut werden, also ab diesem Zeitpunkt weder ausgebaut noch kontrolliert oder ersetzt werden können.

Die Betonierung einer Staumauer ist immer sehr termingebunden und geht unter harten Bedingungen vor sich. Der Baufortschritt gibt das Tempo des Geräteeinbaues an. Eine verständnisvolle Zusammenarbeit zwischen Bauleitung, ausführender Firma und der Meßgruppe ist unerlässlich.

In den Beton der Staumauer Kops wurden Telepreßmeter, Teleformeter und Thermometer eingebaut. Nicht nur die eingebauten Instrumente, sondern was noch schwieriger ist, auch die abgehenden ebenfalls in den frischen Beton zu verlegenden Kabel müssen vor Beschädigung – vor allem durch das Bohren der Anker für die Schalungen – geschützt werden. Nach dem Einbau ist sofort mit den Messungen zu beginnen, einerseits um die Geräte zu kontrollieren und andererseits um bereits Daten, vor allem Temperaturangaben, zu erhalten.

Um schon während des Baues Lotmessungen durchführen zu können, wurden in Kops in den Lotschächten provisorische Gewichtslotanlagen eingebaut. Der Aufhängepunkt des Lotdrahtes wurde dem Baufortschritt folgend immer höher angeordnet, bis nach Fertigstellung der Krone die endgültigen im Untergrund verankerten Schwimmlote eingebaut werden konnten.

Alle Messungen während des Baues sind außerordentlich erschwert. Die Gänge sind meist voll von Rohren, Schläuchen und Kabeln, es wird injiziert usw. Trotz dieses Umstandes darf auf die Messungen nicht verzichtet werden.

Schon vor Baubeginn ist eine eigene Meßgruppe aufzustellen. Der Leiter dieser Gruppe, am besten ein elektrotechnisch geschulter Herr, muß mit dem Wesen der einzelnen Meßgeräte bestens vertraut sein. Er muß wissen, was die Anzeige bedeutet und wie sie zustande kommt.

Das Personal der Meßgruppe, je nach Umfang der Arbeiten aus 4-6 Mann bestehend, ist sorgfältig auszusuchen, denn nur durch ein gutes Zusammenspiel können die hohen Anforderungen, die auch physischer Art sind, erfüllt werden.

5. Beschreibung der Meßeinrichtungen und Erfahrungen beim Einbau

5.1 Geodätische Meßeinrichtungen

5.11 Triangulation

Wie bereits erwähnt, ist der Sinn der Triangulationsmessungen die Erfassung absoluter Deformationen der Sperre und deren Umgebung zufolge der Errichtung des Bauwerkes und der Anlage des Speichers.

Das Triangulationsnetz hat sich daher von besonders ausgezeichneten Punkten, bei den Sperrenwiderlagern ausgehend, bis in jene Bereiche zu erstrecken, wo aller Voraussicht nach keine meßbaren Geländeverformungen mehr stattfinden. Es ist dabei zu beachten, daß die Genauigkeit des Meßverfahrens bei der Lagebestimmung von Punkten in der Nähe der Sperre von den Visurlängen abhängt. Je weiter entfernt die "ruhigen" Punkte angenommen werden, umso ungenauer wird die Bestimmung der Lageänderungen der einzumessenden Pfeiler in Sperrennähe. Der für die Situierung der Pfeiler zu erstellende Netzentwurf hat auf die geologischen Verhältnisse, die Schneelage und Baustelleneinrichtung Rücksicht zu nehmen, wobei ausreichende Überbestimmungen vorzusehen sind.

In Kops gestatteten die Geländeverhältnisse die Anlage von zwei voneinander getrennten Netzen an beiden Talseiten.

Die Betonpfeiler sind durchwegs auf Fels gegründet. Gegen einseitige Einwirkungen einer Sonnenbestrahlung sind sie mit einem Betonschutzrohr umgeben. Sie sind mit absperrbarer Blechkappe versehen. Weit über die Geländeoberfläche reichende Pfeilerfundamente wurden im unteren Teil eingeschüttet.

Die Messungen werden mit einem Theodolit Wild T3 ausgeführt.

Die Genauigkeit der Lagebestimmung der eingemessenen Punkte beim Wärterhaus, Künstlichen Widerlager und Aligmentmeßbunker beträgt ca. 2 mm. Sie erreicht also bei weitem nicht die der Lotmessungen.

Die Triangulationsmessungen können nur von besonders qualifizierten Fachkräften bei guten Sichtverhältnissen von Frühjahr bis Herbst durchgeführt werden.

Die Feldarbeit erfordert einen großen Arbeits- und Zeitaufwand. Für die Auswertung steht ein eigens entwickeltes Rechenprogramm für eine Datenverarbeitungsanlage zur Verfügung.

Auf Grund der Beobachtungsergebnisse der ersten Jahre kann man ev. auf die Einbeziehung der Ausgangspfeiler verzichten, wenn sich gezeigt hat, daß näher an der Sperrenstelle gelegene Pfeiler keine Lageänderungen zufolge der Stauspiegelschwankungen erfahren haben. Wegen der dann geringeren Tiefe des Netzes ergibt sich bei den sperrennahen Pfeilern eine größere Lagegenauigkeit.

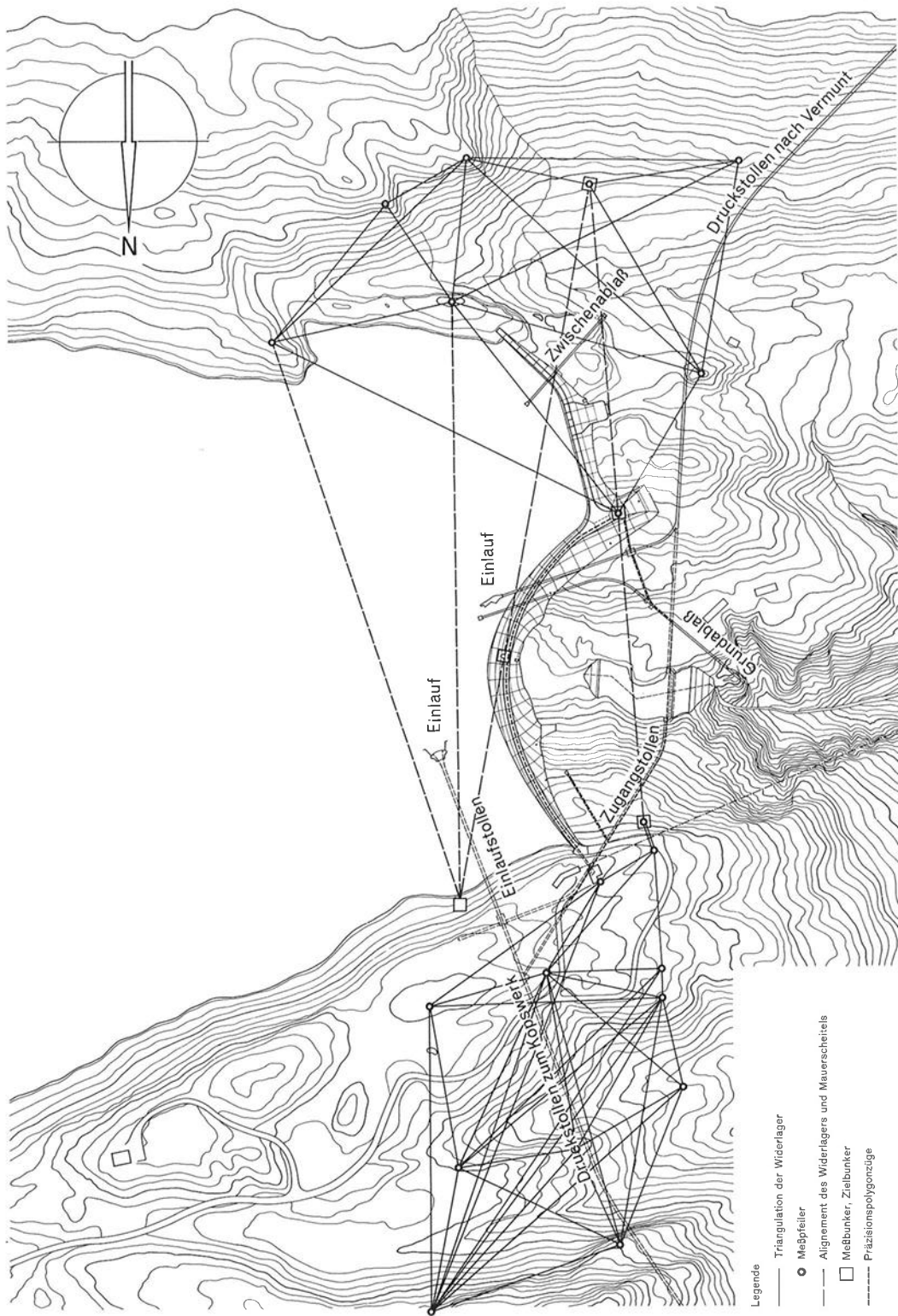


Abb. 3 Geodätische Meßeinrichtungen – Lageplan

Falls die Ergebnisse dieser Einmessungen nach einigen Betriebsjahren zeigen sollten, daß die tief im Felsuntergrund liegenden Verankerungspunkte der Schwimmlotanlagen keine die Meßgenauigkeit der Triangulationsmessungen überschreitenden Deformationen erfahren – was nach den bisherigen Erfahrungen zutreffen wird – können die Intervalle zwischen den Messungen vergrößert werden.

Die erste trigonometrische Messung soll spätestens vor dem ersten Einstau erfolgen, zu einem Zeitpunkt also, wo die Baustelle noch nicht aufgeräumt ist. Die Betonanlage, Baracken, Deponien usw. verhindern oft die Sicht zwischen den Pfeilern. Es soll daher bereits bei der Disposition des Netzes auf die ganze Baustelleneinrichtung Bedacht genommen werden, wobei ev. auch damit zu rechnen ist, daß einige Pfeiler zeitweise ausfallen, da erfahrungsgemäß immer Änderungen auf einer Baustelle eintreten.

5.12 Polygonzüge

Die Polygonzugsmessungen sind in neuerer Zeit immer mehr für Deformationsmessungen an Staumauern in den Vordergrund getreten. Früher war es meist üblich, an der Luftseite der Mauer Zielmarken zu versetzen, welche auf trigonometrische Weise eingemessen wurden. Der Polygonzug wird zweckmäßigerweise im Innern der Mauer und zwar in deren oberstem Gang angeordnet.

Gegenüber der trigonometrischen Methode hat das polygonometrische Verfahren folgende Vorteile:

Der Polygonzug gestattet die gegenseitige Lage benachbarter Punkte wesentlich genauer zu erfassen (ca. $\pm 0,2$ mm), als die Einmessung von vorwärts eingeschnittenen Punkten an der Luftseite (ca. $\pm 1-2$ mm).

Die Lageverschiebungen der auf polygonometrische Weise eingemessenen Punkte lassen sich wesentlich besser mit den Ergebnissen von Lotmessungen vergleichen. Die Lotmeßstellen liegen unmittelbar neben den Polygonzugpfeilern. Die Punkte an der Luftseite sind Deformationen durch Temperaturänderungen in weit höherem Maße ausgesetzt, als jene im Mauerinnern.

Die Messung des Polygonzuges ist von der Witterung und Jahreszeit unabhängig.

Die Messung des Polygonzuges kann auch nachts erfolgen, zu einer Zeit also, wo die Mauer keinen raschen Lageänderungen durch Temperatureinflüsse ausgesetzt ist.

Die Polygonzüge können durch Stollen bis in den Fels verlängert werden.

Die Polygonzugsmessung erfordert weniger Zeitaufwand und erfaßt daher besser den Momentanverformungszustand der Mauer als die Triangulation.

In Kops wurden zwei Polygonzüge angeordnet. Der Zug im obersten Mauergang dient zur Messung der Deformationen aller

Blöcke und ergibt somit das Verformungsbild der ganzen Kronenpartie. Weiters ist ein Vergleich der Meßergebnisse mit jenen der Lotmessungen gegeben.

Da die Endpunkte des Zuges trigonometrisch eingemessen werden können – die Verbindung zwischen oberstem Mauergang und Triangulationspfeiler wird durch die Lotanlagen hergestellt – werden absolute Verschiebungswerte längs des ganzen Zuges erhalten. Der Polygonzug stellt die Verbindung zwischen den Triangulationsnetzen an beiden Talseiten dar. Auf diese Weise lassen sich auch ev. stattfindende Verschiebungen der im Felsuntergrund liegenden Verankerungstellen der Lotanlagen ermitteln.

Der zweite Polygonzug liegt im Stollensystem auf Höhe 1717 luftseitig der Mauer. Beide Züge sind durch die Lotanlage im Liftschacht und im Künstlichen Widerlager verbunden, so daß auch die Meßergebnisse des unteren Zuges mit dem Triangulationsnetz in Verbindung stehen. Der Zweck dieses Zuges ist die Erfassung der Felsdeformation im Untergrund sowie die Einmessung der Lotmeßstellen am Ende der Beobachtungsstollen im rechten Felswiderlager.

Allgemeine Gesichtspunkte bei der Anlage von Polygonzügen:

Alle Polygonpunkte müssen aus soliden betonierten und entsprechend gegründeten Meßsockeln bestehen, welche mit durch Schutzkappen versehenen Zwangszentrierungsbolzen ausgerüstet sind.

Die Sockel sind so anzuordnen, daß im Interesse der Genauigkeit und der Wirtschaftlichkeit eine bequeme Messung durchgeführt werden kann. Auf beiden Seiten der Sockel sollen daher 1 m breite, feste ebene Standflächen vorhanden sein.

In Stollen mit Bauverkehr angeordnete Sockel sind gegen mechanische Beschädigungen, Stöße usw. entsprechend zu schützen.

Die Seitenlängen sollen gleich groß sein oder falls dies nicht möglich ist, nur wenige voneinander verschiedene Längen aufweisen. Kurze Seitenlängen sind tunlichst zu vermeiden.

Ein im Kontrollgang einer Bogenmauer anzuordnender Zug wird durch die Krümmungsverhältnisse der Mauer mitbestimmt.

Polygonzüge sollen nur in gedeckten Gängen oder Stollen angeordnet werden. Die Genauigkeit von im Freien geführten Zügen wird durch Witterungs- und Temperatureinflüsse, sowie Seitenrefraktion stark abgemindert.

Für eine zureichende Beleuchtung, vor allem des Bereiches bei den Sockeln, ist Sorge zu tragen.

In der Nähe der Anlage soll eine in einem ruhigen, von Belastungsänderungen durch Stauspiegelschwankungen oder Temperatureinflüssen geschützten Stollen anzuordnende Eichstrecke zur Kontrolle der Invar-Meßbänder vorhanden sein. Grundsätzlich soll bei der Projektierung der Gänge und

Schächte in jedem Mauergang und der nicht wasserführenden Stollen in der Umgebung eine Sperre deren Verwendbarkeit für Meßzwecke im Auge behalten bleiben. Der oberste Mauergang soll daher stets polygonal mit gleichen Seitenlängen verlaufen. Auch wenn vorerst keine Polygonzugmessungen vorgesehen sind, soll die Möglichkeit einer späteren Anordnung offen bleiben.

Bei einer Blocklänge in Kops von ca. 16 m wurde eine Seitenlänge von 32 m gewählt, wobei sich alle 16 m ein Zwischenpunkt befindet. Alle Polygon- und Zwischenpunkte – von den Endpunkten abgesehen – liegen annähernd in der Mitte jedes Blockes.

Durch die Lage- und Winkelverhältnisse der zum Teil schon lange bestehenden Stollen auf Höhe 1717 mußten verschiedene Seitenlängen und zwar 16 m und 24 m verwendet werden.

Die Längenmessung erfolgt mit Invarbändern, welche einen Querschnitt von 0,3 mm x 10 mm und am Ende eine 0,12 m lange Skalateilung besitzen.

Wichtig ist, daß auf beiden Seiten der Sockel genügend Platz für die Spannvorrichtung vorhanden ist.

Vor und nach jeder Messung muß eine Kontrolle der Meßbänder auf der Prüfstrecke erfolgen. Eine davon unabhängige, jährlich einmal durchzuführende Überprüfung der Bänder in einem geeigneten Institut ist empfehlenswert.

Zur Winkelmessung wird der Theodolit Wild T3 verwendet.

Der geodätische Meßtrupp besteht aus einem Ingenieur, 3 Hilfstechnikern und 2 eingeschulten Hilfskräften. Für die Messung des aus 17 Haupt- und 16 Zwischenpunkten bestehenden Zuges im obersten Mauergang von rund 500 m Länge werden ca. 9 Stunden benötigt.

5.13 Nivellements

Die Nivellementmessungen sind relativ einfach, sehr genau, rasch durchzuführen und auszuwerten. Die Einrichtungen verursachen nur geringe Kosten. Diese Messungen stellen ein wichtiges Glied der Beobachtung dar. Nicht nur der Mauerkörper selbst ist zu kontrollieren, sondern vor allem die Stollen und das luftseitige Vorland der Mauer. Mit den Messungen soll und kann frühzeitig begonnen werden. Es ist selbstverständlich, daß alle Polygonpunkte durch Nivellements eingemessen werden. Wichtig ist, daß zur Erfassung möglichst absoluter Höhenänderungen in verschiedenen Höhenlagen Punktreihen bis zu jener Entfernung von der Mauer geführt werden, wo aller Voraussicht nach nur noch unwesentliche Veränderungen zu erwarten sind.

Da in den Mauergängen während des Baues wegen der darin befindlichen Installationen Messungen kaum möglich sind, wurden in Kops an der Wasser- und Luftseite der Mauerblöcke nahe dem Fundament Bolzen angeordnet und eingemessen. Nach Bauende in allen Kontrollgängen durchgeführte Nivellementmessungen vervoll-

ständigen das Bild der Deformation der Mauer durch die verschiedenen Einwirkungen.

Die Nivellements werden mit einem Nivellier Zeiß Ni2 mit Planplattenmikrometer und Kern-Invarlatten durchgeführt.

5.14 Alignements

Wie bereits erwähnt, wird die radiale Verformung des Mauer-scheitels und die etwa in Krafrichtung erfolgende Bewegung eines Punktes des Künstlichen Widerlagers durch Alignement kontrolliert. Diese Einrichtung wurde so geschaffen, daß die in kurzen Zeitabständen bei entsprechender Sicht durchzuführenden Messungen von den Staumauerwärtern selbst erfolgen können. In den auf Fels gegründeten Meßbunkern am rechten Hang befindet sich ein freistehender Pfeiler mit zwangszentriertem aber dreh- und kippbarem Fernrohr mit Fadenkreuz.

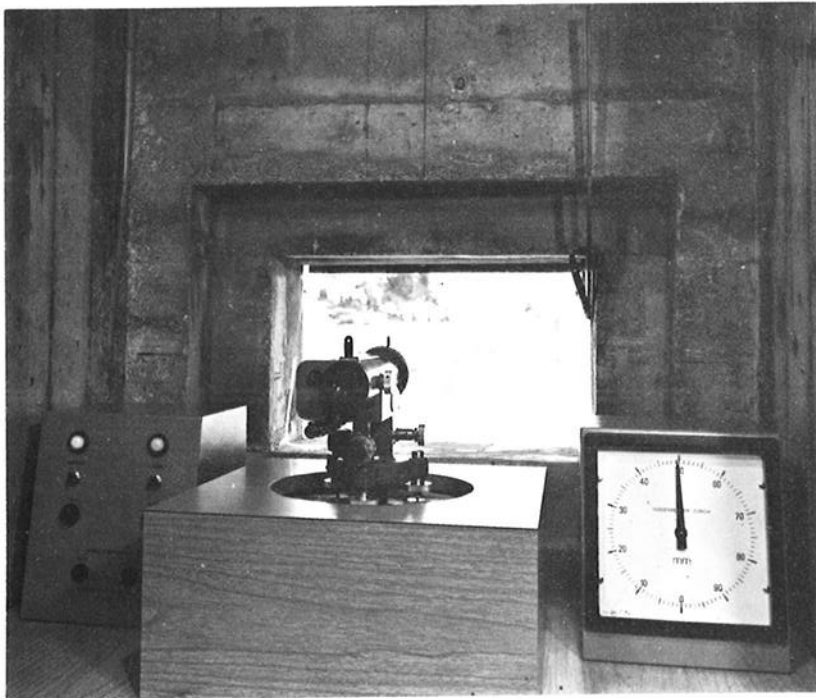


Abb. 4 Alignementmeßeinrichtung
Beobachtungsstelle

Der Wärter zielt mit diesem Fernrohr den für beide Aligmenteinrichtungen gemeinsamen Zielpunkt am linken Berghang an und kann von seinem Platz aus durch Fernsteuerung die bewegliche Mire am Mauerscheitel oder dem Künstlichen Widerlager in die Visurlinie bringen. Die Stellung der Mire kann dann vom Wärter an seinem Pult im Meßbunker abgelesen werden. Die Durchführung der Messungen ist also sehr einfach. Bei den gegebenen Entfernungen ist die Genauigkeit etwa $\pm 0,5$ mm, sie ist also wesentlich geringer als jene der Lotmessungen. Der große Wert der Aligmentmessungen liegt aber darin, daß eine unabhängige und vor allem schnelle Kontrolle der Lotmessungen bei wichtigen Punkten gegeben ist. Obwohl diese als die zuverlässigsten Einrichtungen angesehen werden können, ist ein Ausfall oder eine falsche Anzeige doch denkbar.

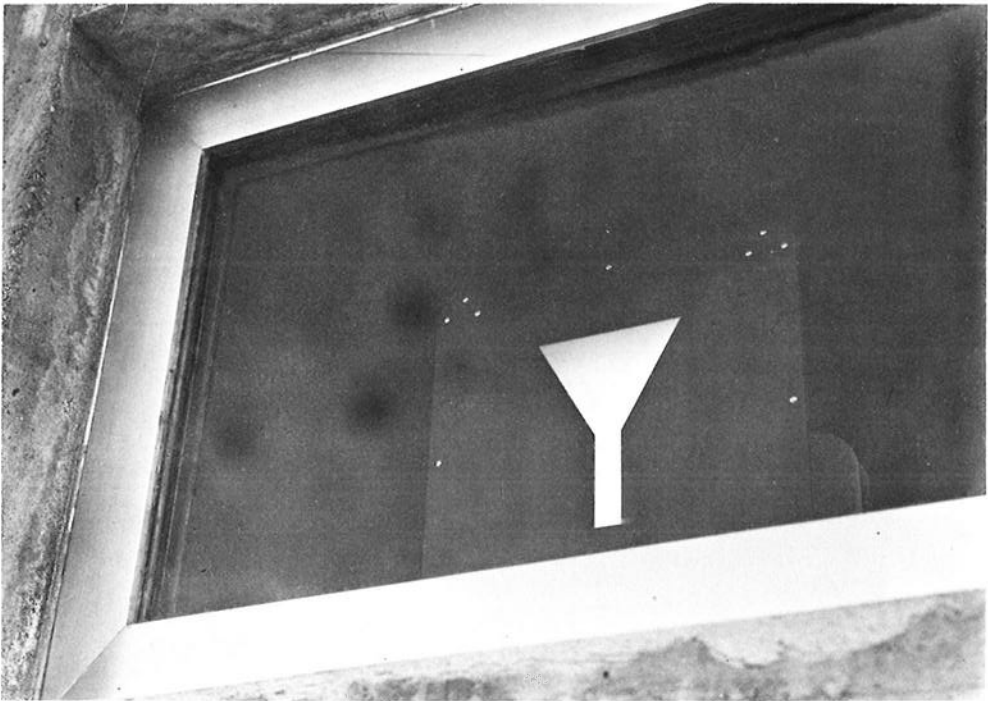


Abb. 5 Aligmentmeßeinrichtung
Bewegliche Mire, Ansicht von vorne

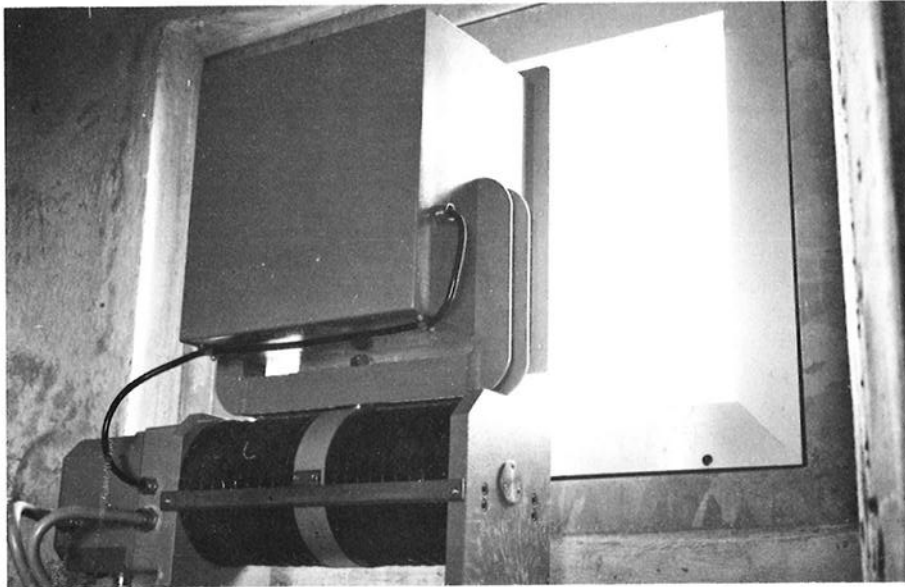


Abb. 6 Alignementmeßeinrichtung
Bewegliche Mire, Ansicht von rückwärts

Die feste und bewegliche Mire oder Zielmarke besteht aus einem auf der Spitze stehenden Dreieck mit unten anschließendem schmalen Schlitz. Beide Mirenbilder werden bei den Messungen durch eine Neonröhre beleuchtet. Die Messungen werden am besten am Morgen zur Zeit geringer Sonneneinstrahlung oder nachts durchgeführt.

Die geschilderte Meßeinrichtung erfordert verhältnismäßig große bauliche Aufwendungen. Die beweglichen Miren müssen in Meßbunkern angeordnet werden, da der Betriebsmechanismus vor Witterungseinflüssen geschützt sein muß. Das Mirenbild liegt hinter einem genau senkrecht auf die Beobachtungsrichtung stehenden Fenster aus Spezialglas. Der Pfeiler mit der Zielmarke muß so hoch sein, daß auch im Winter bei Schneelage unbehindert gemessen werden kann. Wegen seiner Höhe ist der Pfeiler empfindlich auf die Auswirkungen der Sonneneinstrahlung. Er muß daher mit einem Schutzmantel versehen werden. Da erst nach Vollendung der Hauptbauarbeiten mit der Erstellung der Bunker auf der Krone und den Installationsarbeiten, Kabelverlegungen usw. begonnen werden kann, wird der Beginn der Alignementmessungen stark verzögert. Der Aufwand für diese Einrichtung ist relativ hoch, er ist jedoch in Anbetracht der für die Beurteilung der Sicherheit der Anlage so wichtigen Meßergebnisse gerechtfertigt.

Eine weitere Alignementmeßeinrichtung wurde zur Lagekontrolle der Blöcke der Seitenmauer angeordnet. An der Krone jedes Mauerblockes wurde eine Zwangszentrierereinrichtung für eine Zielmarke eingebaut. Gemessen wird von einem am linken Hang auf Fels stehenden Pfeiler aus. Diese Messungen werden fallweise von besonderen Vermessungsfachkräften durchgeführt.

5.2 Lotanlagen

5.21 Lotanlagen in der Staumauer

Alle in der Bogenmauer und dem Künstlichen Widerlager befindlichen Lotanlagen sind mit Schwimmloten ausgerüstet. Der Verankerungspunkt des Drahtes liegt an der Sohle des Bohrloches, welches als Verlängerung der Meßstrecke in der Mauer zur Beobachtung der Verformungen des Untergrundes dient.

Die vor Beginn der Betonierung abgeteuften Bohrlöcher haben einen Durchmesser von 300 mm am oberen Rand. Nach unten zu verjüngen sie sich bis zu einer lichten Weite von 150 mm. Sie wurden nach ihrer Fertigstellung mit einem verzinkten Stahlrohr, lichte Weite 131 mm und 4,5 mm Wandstärke, ausgekleidet. Der Raum zwischen Fels und Rohrwand wurde injiziert. Die Rohre sind am unteren Ende mit Schraubkappen abgeschlossen.

Die Fortsetzung des Bohrloches erfolgte in der Mauer durch Zementrohre, \varnothing 50 cm, welche der Betonierung folgend laufend verlängert wurden. Einige Schwierigkeiten verursachten die beim Bau immer wieder vorgekommenen Abweichungen dieser Rohre vor der Lotrechten. Durch den Betoniervorgang und das Rütteln des Betons wurden die Rohre häufig aus ihrer Lage verschoben.

In der Höhe aller Mauergänge dienen kleine Nischen als Koordiskop-Meßstellen. Bei der Disposition dieser Nischen wurde darauf geachtet, daß der Beobachter stets auf derselben Seite des Drahtes abliest, damit z. B. immer steigende Werte bei einer Bewegung der Mauer gegen die Luftseite abgelesen werden. Die Schwimmlotenanlagen haben den Vorteil, daß die abgelesenen Werte direkt die relative Verschiebung gegenüber der Verankerungsstelle im Untergrund bedeuten, (Der Draht ist der ruhende Teil), während bei Gewichtslotanlagen die relative Bewegung zwischen oberem Aufhängepunkt und der jeweiligen Meßstelle ermittelt wird. Für die Auftragung der Meßwerte ist dann meist eine Umrechnung erforderlich.

Die Lotanlagen in den Viertelpunkten sind nur für Ablesung mit Koordiskop ausgerüstet. Da der Draht dabei nicht berührt wird, genügt ein Schwimmer von 520 mm Durchmesser (Auftriebskraft ca. 30 kg). Der nicht rostende Spezialdraht hat einen Durchmesser von 1,5 mm.

Zur Verhinderung eines starken Luftzuges im Schacht und gegen unbefugten Zutritt wurden die Meßnischen durch Stahltüren verschlossen. Die Öffnungen der Lotschächte wurden bis auf kleine Schlitz abgedeckt.



Abb. 7 Lotmeßstelle in der Mauer
(mit eingesetztem Koordiskop)

Die Lotanlagen im Mauerscheitel und im Künstlichen Widerlager sind außer mit Koordiskop-Meßstellen noch mit Koordinator-Fernübertragungsgeräten ausgestattet. Der Lotdraht wird dabei mit einer stets in konstanter Größe wirkenden allerdings minimalen Kraft abgetastet. Um die Auslenkung des Drahtes möglichst klein zu halten, wurden große Schwimmer mit 1010 mm Durchmesser (ca. 200 kg Auftriebskraft) verwendet. Der Lotdraht hat 2,5 mm

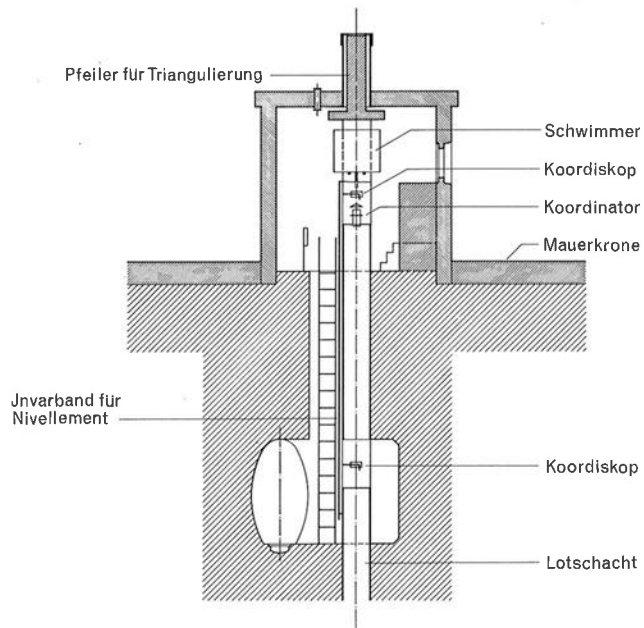


Abb. 8 Meßbunker auf der Krone des Künstlichen Widerlagers – Schnitt

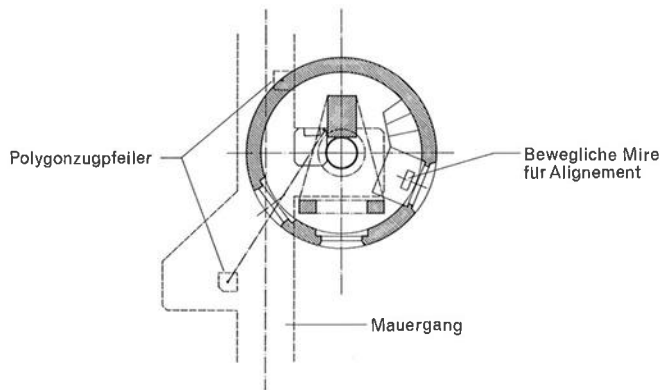


Abb. 9 Meßbunker auf der Krone des Künstlichen Widerlagers – Grundriß

Durchmesser. Die Koordinatoren befinden sich in den Meßbunkern auf der Mauerkrone. Es wird also nur der Ausschlag der Punkte an der Mauerkrone ins Wärterhaus fernübertragen und automatisch aufgezeichnet.

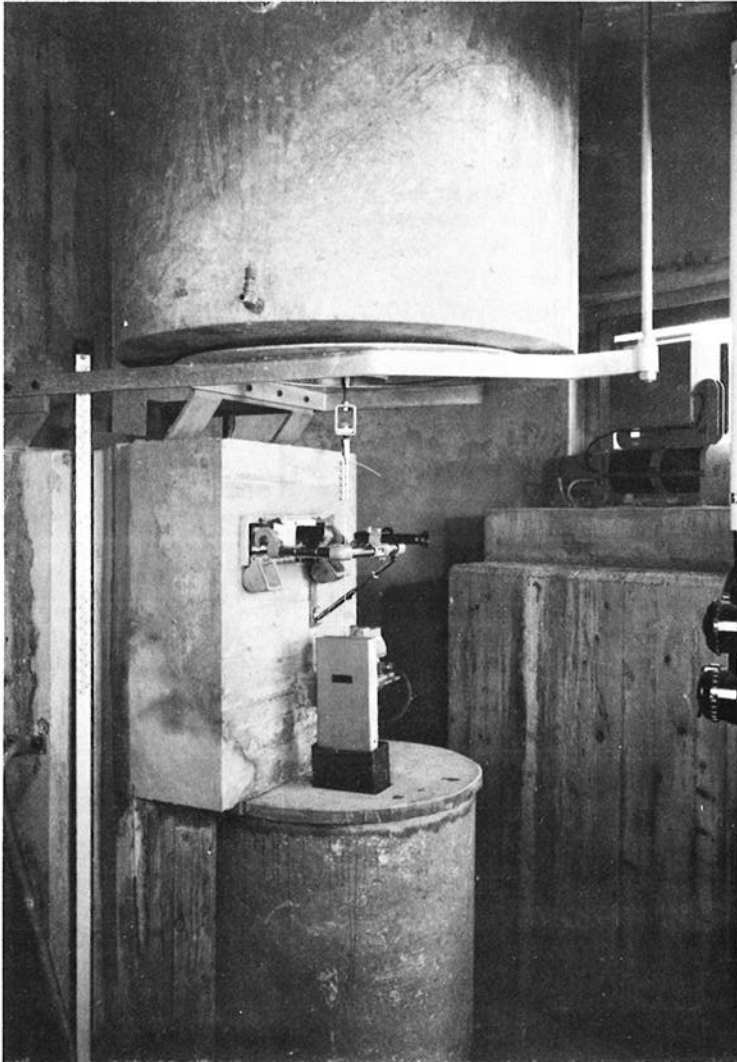


Abb. 10 Meßstelle auf der Krone des Künstlichen Widerlagers

Bei der obersten Meßstelle im Mauerscheitel ist noch die Anordnung einer Alarmvorrichtung vorgesehen. Wenn die Mauer eine außergewöhnlich starke Verformung erleiden sollte, berührt der Draht den Rand einer Kontaktscheibe und löst dabei ein kräftiges akustisches Signal aus, welches den Wärter alarmiert.

Die seit Einbau der Lotanlagen täglich durchgeführten Koordinatablesungen erfolgten sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung.

Erwünscht ist der möglichst frühzeitige Beginn der Lotmessungen. Da man in Kops damit nicht warten wollte, bis die oberste Mauerpartie mit den Meßkammern für den Schwimmer fertiggestellt war, wurden in einigen Schächten provisorische Gewichtslotanlagen angeordnet, wobei der Aufhängepunkt des Drahtes dem Baufortschritt folgend immer weiter hinauf versetzt wurde. Beim Künstlichen Widerlager war der Schwimmer zeitweise in der Meßnische in Höhe Gang 3 untergebracht.

Die in den Untergrund abgeteuften Bohrlöcher wiesen in Kops – offensichtlich gesteinsbedingt – relativ starke Abweichungen gegen die Lotrechte auf. Das verrohrte Bohrloch wurde vor dem Einbau des Verankerungsgewichtes genau ausgemessen. Das lange und schmale Gewicht (2-Zoll Rohr mit Bleifüllung oder Rundeisen, \varnothing 30 mm) wurde in die gewünschte Lage gebracht und der Raum zwischen Gewicht und Schutzrohr mittels Schlauch mit Injektionsgut verfüllt.

In der Seitenmauer wurde im höchsten Block eine zweiteilige Lotanlage eingebaut. Ein Schwimmlot führt vom Untergrund bis zum Mauergang, während in der Mauer selbst in einem Schacht ein Gewichtslot angeordnet ist, dessen Aufhängepunkt unterhalb der Krone liegt.

Die Meßstellen liegen nebeneinander im Gang der Mauer.

5.22 Lotanlagen in den Felswiderlagern

Zur Beobachtung der Deformationen des Felsuntergrundes dienen u. a. die Lotanlagen im Liftschacht und am Ende des Beobachtungsstollens an der rechten Talseite sowie die tief in den Untergrund verlängerte Anlage beim Künstlichen Widerlager.

Der mehr als 100 m hohe Liftschacht war zum Einbau einer Lotanlage sehr geeignet. Da am oberen Ende kein Platz zur Anordnung eines Schwimmers vorhanden war, kam ein Gewichtslot zur Anwendung. Die Verankerung des Drahtes liegt in der Schachtwand einige Meter unter der Felsoberfläche.

Der Spezialdraht hat einen Durchmesser von 0,8 mm. Im ölgefüllten Dämpfungsbehälter befindet sich das Lotgewicht von 15 kg. Der Lotdraht ist durch ein Kunststoffrohr von ca. 90 mm lichter Weite vor Luftzug usw. geschützt.

Diese Lotanlage stellt ein wichtiges Verbindungsglied zwischen beiden Polygonzugssystemen dar.

Die Felsdeformationen werden bei den Meßstellen in der Höhe des Injektionsstollens und des Zugangsstollens in jeweils 2 Richtungen abgelesen.

In der Erkenntnis, daß der Beobachtung der Felswiderlager große Bedeutung zukommt, wurden an beiden Talseiten eigene Beobachtungsstollen angeordnet. Auch hier bilden die Lotanlagen den wichtigsten Teil der Meßeinrichtungen.

Durch die Anlage der Stollen war es möglich, von diesen aus die Lotanlagen durch Bohrlöcher tief in den Untergrund zu verlängern.

An der rechten Talseite war es aus Gründen der Beobachtung nicht zweckmäßig, ein durchgehendes Schwimmlot anzuordnen, sondern die Anlage in ein oberes Gewichtslot und ein unteres Schwimmlot zu unterteilen. Die Meßstellen liegen nebeneinander im Stollen. Da die Gewichtslotanlage neben der Koordiskopablesestelle noch mit Koordinator ausgerüstet ist, mußte ein großes Lotgewicht von 200 kg und ein Drahtdurchmesser von 2,5 mm verwendet werden. Das Lotgewicht besteht aus einem Stahlzylinder, der sich in einem ölgefüllten Behälter befindet.

Die Lotanlage unter dem Künstlichen Widerlager ist ähnlich ausgebildet, nur wurde hier ein durchgehendes Schwimmlot von rund 135 m Gesamthöhe mit 5 in verschiedenen Höhenlagen befindlichen Meßstellen geschaffen. Schwierig war die richtige Fixierung des Lotdrahtes, es mußte geachtet werden, daß bei den gegebenen Abweichungen der Bohrlöcher und Schächte vom Lot noch genügend Spiel zwischen Draht und Bohrlochverrohrung bleibt. Eine Verrohrung der Bohrlöcher im Fels ist unbedingt zu empfehlen, um zu verhindern, daß sich unter Umständen ein Gesteinsbrocken von der Bohrlochwand löst, hinunterfällt und gegebenenfalls einen plötzlichen bleibenden Ausschlag des Lotes auslösen kann. Weil man die Ursache dann nicht kennt, könnten falsche Schlüsse gezogen werden.

Da vor allem zur Zeit des Baubetriebes mit den beschwerlichen Kontrollwegen des Wärters eine Beschädigung des mitgetragenen Koordiskopes möglich ist, sollte ein Reserveinstrument vorhanden sein. Wichtig ist, daß nach jedem Ableserundgang eine Ablesung an einer Kontrollsetzstelle (mit fix montiertem Draht), die am besten im Keller des Wärterhauses angeordnet ist, gemacht wird. An dieser Kontrollstelle muß mit demselben Instrument stets derselbe Wert abgelesen werden. Falls diese Kontrollmessungen nicht durchgeführt werden, kann es bei Veränderung des Instrumentes zu einer Unterbrechung der kontinuierlichen Messungen kommen.

5.3 Klinometer

Klinometer sind Instrumente zur Messung der Änderung der Neigung. Die wichtigsten Teile sind die hochempfindliche Libelle und die Mikrometerschraube mit der dazugehörigen Ablesetrommel.

Die Klinometermessungen haben den Zweck, die Lotmessungen zu kontrollieren und zu ergänzen.

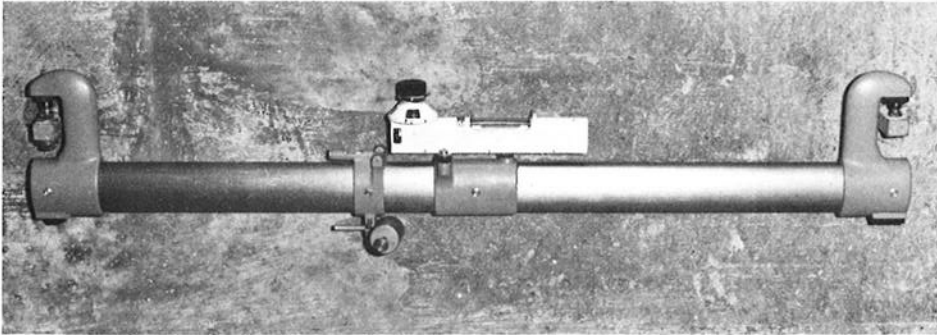


Abb. 11 Klinometermeßstelle

In Kops wurden alle Lotmeßstellen mit Klinometersetzstellen ausgestattet, so daß zusammen mit den Werten der Lotablesungen sich ein sehr genauer Verlauf der Verformungslinien der Mauer ermitteln läßt. Von besonderer Bedeutung ist die Feststellung der Drehung nahe der Gründungssohle. Hier liefern die Klinometermeßergebnisse wichtige Auskünfte über das Verhalten des Felsuntergrundes.

Da die Änderung der Neigung zwischen zwei benachbarten Punkten (ca. 1 m Entfernung) gemessen wird, dürfen möglichst keine örtlichen Veränderungen, wie Temperatureinflüsse, Schwinden usw. stattfinden. Klinometermessungen sollen daher nicht an den Außenflächen oder der Krone einer Mauer durchgeführt werden.

Die Instrumente sind gegen Stoß und dgl. sehr empfindlich. Die Messungen selbst sind mit großer Sorgfalt durchzuführen. Die Meßgenauigkeit beträgt ca. ± 2 bis ± 3 Sekunden. Die Erfahrung zeigt, daß die Ergebnisse zwar je nach Beobachter etwas streuen, aber doch in sehr befriedigender Weise mit den Resultaten der Lotmessungen übereinstimmen. Diese Geräte, die neuerdings auch mit automatischer Aufzeichnung der Meßwerte ausgestattet werden, sind vor allem dort zu empfehlen, wo keine Lotanlagen angeordnet werden können oder ein nachträglicher Einbau einer Meßeinrichtung wünschenswert ist.

In Kops werden derzeit die Klinometermessungen in der Mauer nur in radialer Richtung durchgeführt.

Unbedingt zu empfehlen ist eine Kontrollsetzstelle an einer möglichst von den Veränderungen des Staués unbeeinflussten Stelle, am besten in einem weit von der Mauer und dem Speicher entfernten Stollen. Diese Kontrollmessungen sollen nach jedem Rundgang erfolgen.

5.4 Einrichtungen zur Messung der Betonspannungen

In der Staumauer Kops wurden 40 Telepreßmeter und 7 Teleformeter zur Messung der Spannungen eingebaut.

Die zur Messung der Druckspannungen dienenden Telepreßmeter liegen größtenteils nahe der Gründungssohle an der Luftseite der Mauer. Diese Geräte sind damit an Stellen angeordnet, wo sich rechnergemäß und den Ergebnissen des Modellversuches entsprechend relativ hohe Betonspannungen ergeben, welche auf den Gründungsfels übertragen werden. Die Geräte sollen also zeigen, ob diese Spannungen, welche etwa den Felspressungen entsprechen, in der Natur wirklich vorhanden sind und ob sich im Laufe der Zeit Veränderungen ergeben, welche in erster Linie auf Änderungen im Felsgefüge zurückzuführen wären.

Diese Instrumente wurden in der Richtung der modelltechnisch

Diese Instrumente wurden in der Richtung der modelltechnisch ermittelten Hauptspannungen eingebaut.

Eine weitere Gruppe von Telepreßmetern wurde im Mittelschnitt der Mauer in verschiedenen Höhen wasser- und luftseitig angeordnet. Sie sollen Aufschluß über die tatsächlichen Bauwerksspannungen geben.

Die 12 am theoretischen Übergang Bogenmauer – Künstliches Widerlager liegenden Geräte wurden waagrecht über den ganzen Querschnitt verteilt, eingebaut. Aus den gemessenen Spannungen läßt sich die waagrecht auf den Widerlagerkörper wirkende Kraft ermitteln.

Die Kenntnis dieser Kraft ist zusammen mit den übrigen Meßergebnissen bei der Beurteilung der Sicherheit dieses Bauteiles von Bedeutung.

Eine genaue Beschreibung des eingebauten Telepreßmeter-Typs, Bauart Carlson, befindet sich im Buch "Talsperren-Meßtechnik" von Dr. A. U. Huggenberger, erschienen im Springer-Verlag 1951. Diese Telepreßmeter bestehen in der Hauptsache aus zwei kreisrunden Platten, die den auf sie wirkenden Druck über eine dünne Quecksilberschicht auf eine Membran übertragen. Die Ausbiegung dieser Membran bewirkt eine Änderung des elektrischen Widerstandes, welcher durch eine Meßbrücke gemessen wird. Dieses Gerät hat den Vorteil, daß es auch die Messung der Temperatur gestattet.

Der Einbau der Telepreßmeter erfordert größte Sorgfalt. Die Einbettung des Gerätes soll den örtlichen Spannungszustand möglichst wenig verändern, der Teller und der Verfüllbeton darf nicht als Fremdkörper im Staumauerbeton liegen.

Da trotz aller Vorsicht mit örtlich anderen Verhältnissen gerechnet wurde, sind die Geräte in Kops größtenteils paarweise eingebaut worden. Die nunmehr vorliegenden mehrjährigen Beobachtungsergebnisse zeigen jedoch, daß die in 1-2 m Abstand eingebauten Geräte nur sehr geringe, vernachlässigbare Unterschiede in der Anzeige aufweisen. Der paarweise Einbau hat jedoch den Vorteil, bei eventueller Beschädigung eines Gerätes oder der Kabelzuführung sowie bei ev. Ausfall, ein weiteres Instrument zur Verfügung zu haben.



Abb. 12 Telepreßmeter-Einbau

Die Geräte wurden stets in der obersten Schicht der 3 m hohen Betonlage eingebaut. Unmittelbar nach Beendigung des Rüttelvorganges wurde an der Einbaustelle eine ca. 0,6 m x 0,6 m x 0,6 m große Grube im frischen Beton ausgehoben, in welche eine Holzkiste eingelegt wurde, deren eine Seitenfläche genau senkrecht auf die Richtung der gewünschten Meßrichtung stand. Nach Fixierung in dieser Lage wurde der ausgehobene Beton um diese Kiste eingebracht und eingerüttelt.

Nach Kontrolle der Lage der Kiste mußte nun solange gewartet werden (1-2 Stunden), bis der Beton so weit abgebunden hatte, daß eine sorgfältige Entfernung der Kistenteile (die Kiste wurde daher leicht zerlegbar gebaut) ohne Einsturz der Grubenwände möglich war. An der für das Aufsetzen der Dose bestimmten ebenen Grubenwand ist ein ca. 5 cm hoher plastischer Mörtelkuchen aufgebracht worden, worauf die Dose unter drehenden Bewegungen fest aufgedrückt wurde. Die Mörtelzwischenlage soll möglichst dünn sein, jedoch an der ganzen Tellerfläche einen innigen Kontakt ohne Hohlräume mit dem Beton herstellen.

Bei senkrechter oder stark geneigter Tellerfläche muß das Gerät in diese Stellung fixiert werden, damit es während des Verfüllens der Grube nicht abrutscht oder seine Lage verändert. Die Geräte wurden in diesem Fall durch einen federnden Flach- oder Rundeisenbügel zur gegenüberliegenden Grubenwand verstrebt oder an Drähten aufgehängt.

Die Grube soll nun mit einem Beton verfüllt werden, welcher möglichst denselben E-Modul aufweist wie der umliegende Mauerbeton. Die Beschaffung einer so kleinen Menge Original-Mauerbeton ist nicht immer leicht. Die Betonierung findet zu diesem Zeitpunkt bereits bei einem anderen Mauerblock statt, außerdem kann aus einem Betonierkübel meist keine kleine Menge abgegeben werden.

Dennoch soll angestrebt werden, die Verfüllung mit normalem Mauerbeton durchzuführen (die großen Steine sind daraus zu entfernen) und im Notfall einen eigenen Beton an Ort und Stelle zu mischen. Es ist selbstverständlich, daß die Einbringung des Betons, vor allem in der Nähe des Instrumentes mit aller Sorgfalt (von Hand und mit Kelle) erfolgen muß. Zur Verdichtung diente ein kleiner Handrüttler. Nach Beendigung der Arbeiten wurde der allenfalls verwendete Stahlbügel entfernt.

Die von der Grube abgehenden Kabel wurden ca. 15 cm tief in eine im frischen Beton gegrabene Rinne verlegt. Nach Verfüllung wurde der Beton wieder eingerüttelt und die Kabeltrasse durch eine Reihe von Rundeisenstäben mit roter Farbe gekennzeichnet. Nur durch so eine Kennzeichnung ließen sich Beschädigungen der Kabel vermeiden. Zur Behandlung der Arbeitsfuge wurde die Betonfläche einige Stunden nach der Betonierung mit scharfem Wasserstrahl abgespritzt. Da der Beton an der Stelle des eingebauten Gerätes und längs der Kabeltrasse jünger ist als der übrige Beton an der Arbeitsfuge, ist auf Beschädigungen besonders zu achten. Eine Aufsichtsperson aus dem Meßpersonal muß bei diesen Arbeiten immer zugegen sein.

Die Geräte müssen unmittelbar nach ihrem Einbau und dann in kurzen Zeitabständen kontrolliert werden, um vor Aufbringen der nächsten Betonlage etwaige Beschädigungen, vor allem in der Kabelführung, noch rechtzeitig entdecken und reparieren zu können.

Die Kabel wurden an den Blockfugen in Kunststoffrohren bis zum nächsten Mauergang geführt und dort in provisorisch in Nischen untergebrachten Verteilerkästen zusammengeführt, wo während der Bauzeit auch die Messungen mit der Meßbrücke erfolgten.

Man darf sich von diesen Messungen am Anfang nicht zuviel versprechen. Die Wärmeentwicklung und die ganzen sehr komplizierten Vorgänge beim Abbinden und Erhärten des Betons beeinflussen das Meßergebnis noch zu sehr. Die Messungen haben in dieser Zeit vor allem den Zweck der Kontrolle des Funktionierens des Gerätes und der Beobachtung des Verlaufes der Betontemperatur.

Da die Temperaturänderung einen Einfluß auf das Meßergebnis hat, muß diese bei der Auswertung der Meßergebnisse berücksichtigt werden. Die Errechnung der Spannungswerte erfolgt am besten tabellarisch und geht relativ rasch. Zum Zweck der Erfassung aller nicht aus der Spannungsänderung bewirkten Änderungen der Meßergebnisse wurden in Kops an zwei Stellen sogenannte Null-Telepreßmeter eingebaut. Diese Geräte liegen in einem Betonblock, welcher nur an einer Seite mit dem übrigen Mauerbeton verbunden und daher spannungsfrei ist. Der Hohlraum um den Block wurde entwässert.

Mit Ausnahme von zwei Instrumenten am Übergang zum Künstlichen Widerlager liegen alle Telepreßmeter in Kops in etwa 1,5 m Entfernung von der Maueroberfläche, also noch im Vorsatzbeton. Diese Lage der Instrumente wurde gewählt, weil in größerer Entfernung vom Fundament auch die größten Spannungen an der Oberfläche des Mauerkörpers auftreten werden.

In der Außenhaut treten durch die Wärmeunterschiede im Beton bedeutende Zusatzspannungen auf. Das Mitmessen dieser Zusatzspannungen erschwert den Vergleich mit den aus Rechnung und Modellversuch ermittelten Werten. Es ist also zu überlegen, ob man künftig nicht besser die Geräte in größerer Entfernung von der Oberfläche, vor allem an der Luftseite, anordnet.

Wünschenswert wären mehrere, in einer Reihe von der Wasser- zur Luftseite einige Meter über der Gründungssohle angeordnete Instrumente. Man würde dann wichtige Erkenntnisse über die Größe und Verteilung der Fundamentspannungen erhalten.

Die am luftseitigen Mauerfuß eingebauten Geräte und der umliegende Beton sind in Kops größtenteils durch eine Anschüttung weitgehend vor starken Temperaturänderungen geschützt.

Nach Fertigstellung der Mauer wurden alle Geräte durch Sammelkabel mit der Meßzentrale verbunden. Die Ablesungen der Widerstandsänderungen erfolgen nach Fertigstellung dieser Arbeiten im Meßraum des Wärterhauses.

Die Meßwerte von 12 ausgesuchten Telepreßmetern werden durch einen Linienschreiber kontinuierlich aufgezeichnet. Etwaige abnormale Änderungen des Widerstandswertes, welcher ja ganz ähnlich verläuft wie die Spannungen, können daher vom Wärter selbst ohne Auswertung rasch entdeckt werden. Vor allem durch die zusätzliche Anordnung des 12-Kanal-Linienschreibers haben die Spannungsmessungen die Bedeutung von Sicherheitsmessungen, denn eine gefährliche Situation in der Mauer oder dem Untergrund ist ohne bedeutende Veränderung des Spannungsbildes undenkbar.

Da mittels der Telepreßmeter keine Zugspannungen gemessen werden können, wurden in Kops im mittleren Mauerteil nahe der Gründung an der Wasser- und Luftseite einige lotrecht eingebaute Teleformeter angeordnet.

Gemessen wird wie bei Telepreßmeter die Änderung des elektrischen Widerstandes. Die Geräte gestatten ebenfalls die Messung der Betontemperatur. Der Einfluß der Temperaturänderung auf die Spannungen ist bedeutend. Die Auswertung der Meßergebnisse ist nach unseren Erfahrungen etwas heikel. Die Anordnung von Null-Teleformetern ist zu Vergleichszwecken unbedingt zu empfehlen.

5.5 Einrichtungen zur Messung der Betontemperatur

Die Kenntnis der Betontemperatur ist in der Bauphase zur Kontrolle des Wärmehaushaltes, der Überprüfung der Wirkung der künstlichen Kühlung, sowie zur Erfassung des richtigen Zeitpunktes für die Fugenauspressung usw. von großem Interesse. Später ist die Messung der

Temperatur für die Auswertung der Ergebnisse aller Messungen an der Mauer notwendig.

In Kops wurden bei der Bogenmauer und dem Künstlichen Widerlager alle Blöcke mit Lotanlagen sowie der Block 3 am rechten Mauerflügel mit von der Wasser- zur Luftseite führenden Thermometerreihen ausgestattet.

Von den je 6 in einer Reihe liegenden Geräten befinden sich die äußersten direkt an der wasser- oder luftseitigen Außenfläche, 2 weitere Thermometer wurden in einer Entfernung von 1,5 m von beiden Außenflächen angeordnet, während die restlichen 2 Geräte, der jeweiligen Mauerstärke entsprechend, gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sind.

Die Erfahrung zeigt, daß die gewählte Anordnung der Thermometer in der Außenzone der Mauer nicht ganz befriedigt. Die Außenthermometer zeigen die jeweilige Luft- oder Wassertemperatur an. Bei direkter Sonnenbestrahlung zeigen die Geräte Temperaturen bis zu $+30^{\circ}\text{C}$. Für die Auswertung sind diese Angaben nur von geringem Wert. Andererseits wirken sich bekanntlich starke Lufttemperaturänderungen schnell und kräftig auf die Mauerverformungen aus.

Für eine bessere Beurteilung der Ergebnisse der Temperaturmessungen wäre eine vermehrte Anordnung von Thermometern in der Außenzone, etwa im Abstand von 10, 30, 60, 100 und 150 cm von der Außenfläche der Mauer, wünschenswert. Man würde durch eine solche Anordnung einen guten Einblick in die Temperaturverteilung in der Randzone und das Eindringen der Außentemperatur in den Mauerkörper erhalten. Um dann keine zu große Zahl von einzubauenden Geräten zu bekommen, könnte dieser vermehrte Thermometereinbau ev. auf wenige charakteristische Punkte im oberen Mauerbereich, vor allem an der Luftseite, beschränkt werden.

Das Anordnen in einer Reihe hat den Vorteil, daß beim Einbau der Geräte und Kabel in die oberste Schicht einer Betonlage nur wenig Gräben gezogen werden müssen und daß vor allem die Kabel gemeinsam in einem Schutzrohr in den nächsten Mauergang geführt werden können. Das Einbetten der Thermometer in den Beton erfordert keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen. Die Geräte können direkt in den Graben eingelegt oder in Löcher versenkt werden. Die Kabelgräben wurden nach deren Verfüllung ähnlich wie beim Einbau der Telepreßmeter zum Schutze gegen Beschädigungen besonders gekennzeichnet.

Die Thermometer sind relativ billig, einfach und zuverlässig, so daß bei der Bestückung einer Mauer mit diesen Geräten nicht gespart werden sollte.

5.6 Einrichtungen zur Messung der Fugenweite zwischen den Mauerblöcken

Die Kenntnis der Änderung der Fugenweite zwischen den Mauerblöcken ist vor allem während der Bauzeit und der ersten Betriebsjahre von Bedeutung. Die im allgemeinen abschnittsweise Durchführung der Verpressung der Blockfugen bei Bogenmauern führt zu beträchtlichen Deformationen der Blöcke in radialer Richtung gegen die Wasserseite.

Dies deshalb, weil die Blockfugen nicht parallel zueinander stehen und der Injektionsdruck neben einer Druckwirkung in den Bogen eine zur Wasserseite gerichtete Ablenkraft ergibt. Diese Ablenkraft muß entweder durch die vertikalen Konsolen durch Biegung aufgenommen werden, oder durch Zugbeanspruchung jener Bogen, die schon ausinjiziert sind. Da die Injizierung nicht gleichzeitig bei allen Fugen derselben Höhenlagen durchgeführt werden kann, werden die einzelnen Blöcke auch in tangentialer Richtung auf Biegung beansprucht.

Das Auspressen der Blockfugen bringt bedeutende Beanspruchungen und Deformationen mit sich, die kaum genau zu berechnen sind. Umso wichtiger ist es, während der Ausführung dieser Arbeiten einen verstärkten Beobachtungsdienst einzurichten und neben den anderen Beobachtungen auch laufend die Fugenweite zwischen den Mauerblöcken zu kontrollieren.

Die Veränderung der Fugenweite während der Injektionsphase gibt zusammen mit der Einpreßmenge einen guten Anhalt über das Gelingen der Injektion, d. h. ob tatsächlich die ganze Fugenfläche durch eine Injektion erfaßt wurde.

Die laufend durchgeführten Messungen der Fugenweite zwischen den Mauerblöcken zeigen, daß auch nach der Verpressung Veränderungen stattfinden. Bei Anstau im Speicher verengen sich die Fugen offensichtlich durch die Zunahme der Bogendruckspannungen und erweitern sich wieder bei der Absenkung. Im obersten Mauerbereich, welcher im Winter eine durchgehende Betontemperatur unter Null Grad C aufweist, findet bei leerem Speicher ein Öffnen der Fugen statt. Diese Erscheinung macht sich besonders an den Randblöcken bemerkbar. In den ersten Betriebsjahren werden erfahrungsgemäß Nachinjektionen der Blockfugen in jenen Bereichen notwendig, wo ein starkes Öffnen erfolgt.

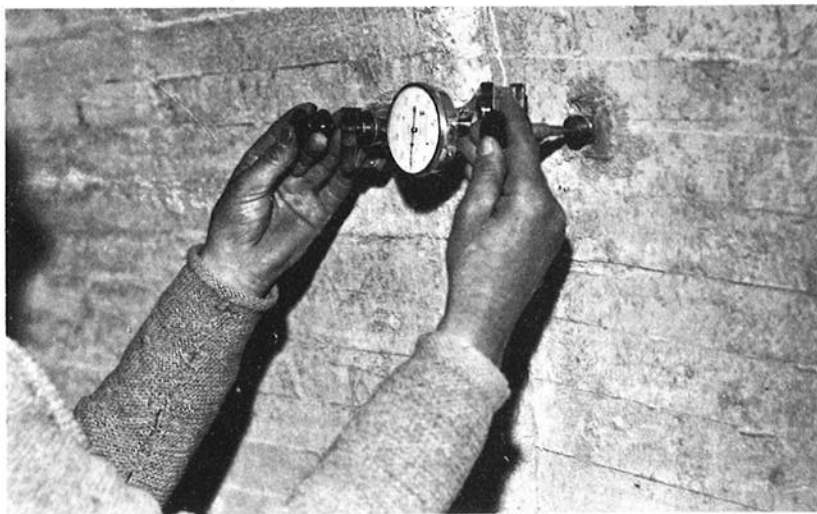


Abb. 13 Messung der Fugenweite mit Deformometer

Die Messung der Fugenweite zwischen den Blockfugen ist während der ganzen Lebenszeit einer Mauer erforderlich, dies auch deshalb, weil die Ursache für ein eventuelles starkes Öffnen der Fugen in einem verstärkten Nachgeben des Untergrundes liegen kann.

In Kops wurden bei allen Schnittpunkten der Mauergänge mit den Blockfugen Fugenmeßstellen angeordnet. An der wasserseitigen Ulme der Gänge wurden in ca. 1,6 m Höhe über Gangsohle beidseits der Fuge im Abstand von 30 cm Bolzen versetzt. Diese Bolzen sind mit einer aufschraubbaren Schutzkappe versehen. Gemessen wird mit einem Deformeter, welches eine Ablesegenauigkeit von mindestens 0,01 mm aufweist.

5.7 Einrichtungen zur Messung des Sohlenwasserdruckes

Da bei einer Bogenmauer der Kenntnis des Sohlenwasserdruckes weniger Bedeutung zukommt, wurden in Kops nur das Fundament des Künstlichen Widerlagers und die Sohle des höchsten Blockes der Seitenmauer mit Einrichtungen zur Messung des Sohlenwasserdruckes versehen.

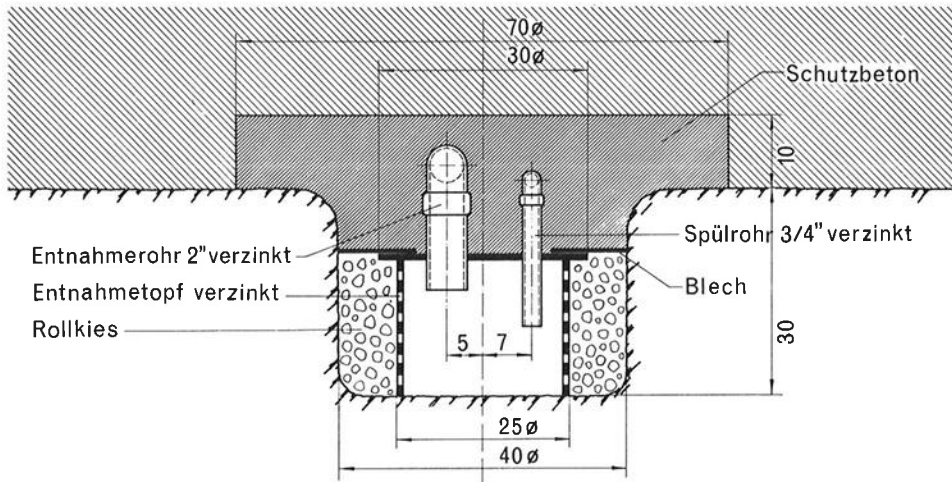


Abb. 14 Sohlenwasserdruckmeßeinrichtungen
Entnahmetopf

In der Gründungssohle des Künstlichen Widerlagers liegen 10 Entnahmestellen, die über die ganze Sohle verteilt sind. Im Fundament des Blockes der Seitenmauer sind 7 Meßstellen, von der Wasser- zur Luftseite in einer Reihe liegend, angeordnet.

Die gelochten Entnahmetöpfe wurden in kleine Gruben im Fundamentfels versetzt und mit grobem Rollkies umgeben. Um ein rasches Verstopfen zu verhindern, wurden die Entnahmeleitungen aus 2"-Rohren

hergestellt. Zur Spülung des ganzen Systems wurde ein eigenes $3/4''$ -Rohr angeschlossen. Eine Spülmöglichkeit ist vor allem dann wichtig, wenn nach Einbau der Einrichtungen noch mit Injektionsarbeiten im Untergrund in der Nähe der Entnahmestelle zu rechnen ist.

Die Entnahme- und Spülrohre wurden in für mehrere Meßstellen gemeinsame Nischen im unteren Mauer gang geführt. Die Rohrleitungen sind durchwegs von den Entnahmestellen zu den Nischen steigend eingebaut, um eine Entlüftung zu gewährleisten.

Die Entnahme des Spülwassers erfolgt durch ein Rohr, welches zur Wasserseite der Mauer führt. Die Spülungen können daher nur bei entsprechend hohem Wasserstand im Speicher durchgeführt werden.

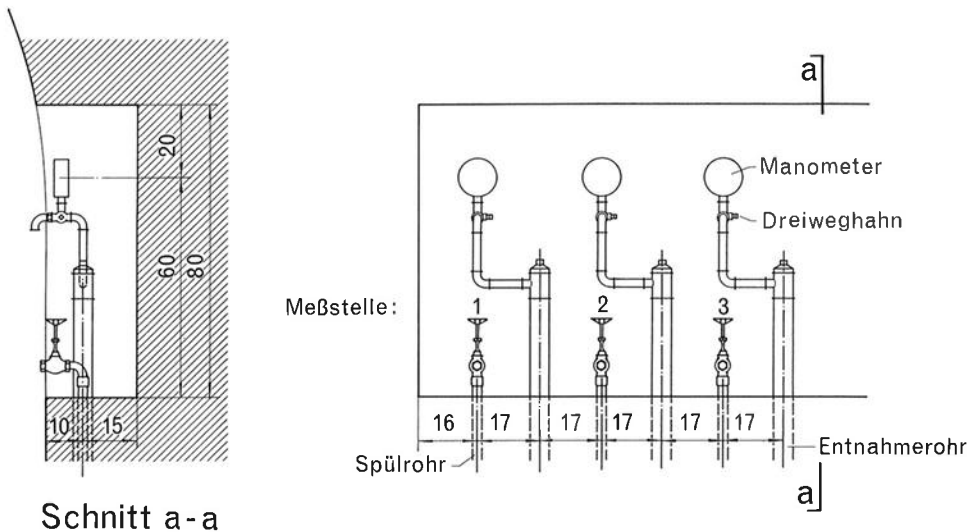


Abb. 15 Sohlenwasserdruckmeßeinrichtungen
Armaturennische

Im Zusammenhang mit den Sohlenwasserdruckmessungen wird nachstehend ein Vorschlag gebracht, welcher vor allem bei Gewichtsmauern Anwendung finden könnte.

Der Vorschlag geht dahin, an der Gründungssohle mittels Betonschalen voneinander abgeschlossene Hohlräume zu schaffen, die durch Rohre mit dem untersten Kontrollgang in Verbindung stehen.

Aus den Abbildungen 16 bis 18 ist die prinzipielle Anordnung zu entnehmen.

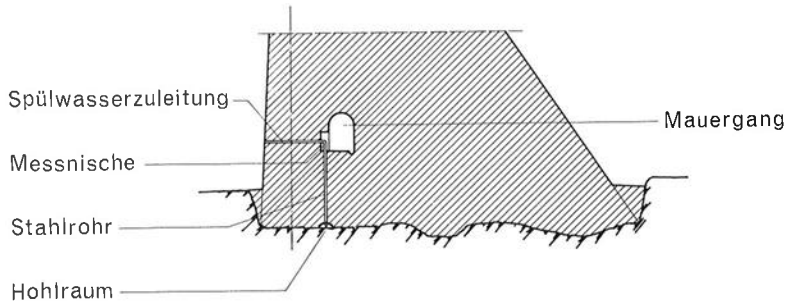


Abb. 16 Gewichtsmauer mit Hohlräumen an der Sohle
Querschnitt

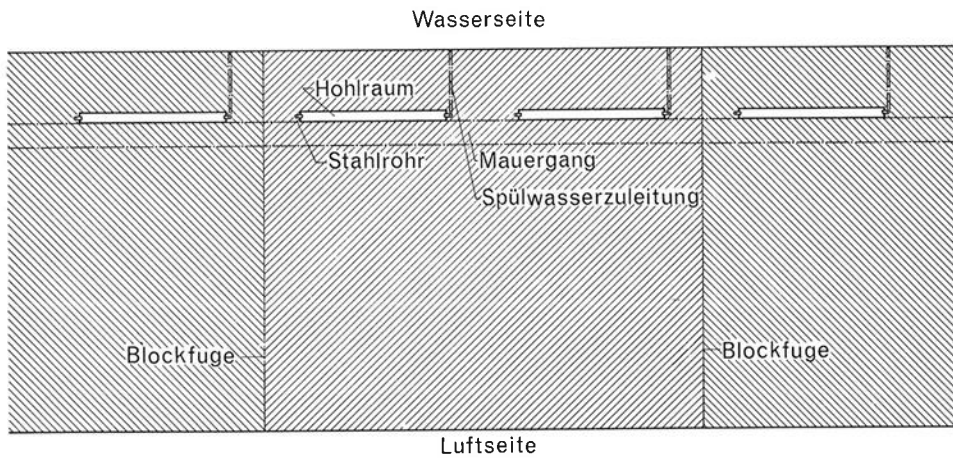
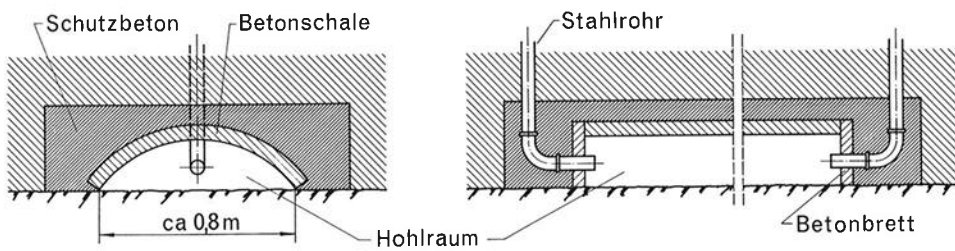


Abb. 17 Gewichtsmauer mit Hohlräumen an der Sohle
Grundriß



Querschnitt durch Hohlraum

Längenschnitt durch Hohlraum

Abb. 18 Gewichtsmauer mit Hohlräumen an der Sohle
Detail

Die Anordnung solcher Hohlräume hätte den Zweck, den Sohlenwasserdruck im luftseitigen Fundamentbereich stark herabzusetzen. Ein in den Gang mündendes Rohr müßte dann dauernd geöffnet sein. Bei beidseits geschlossenen Rohren kann durch ein aufgesetztes Manometer der Sohlenwasserdruck gemessen werden. Eine Schwierigkeit liegt vielleicht darin, daß während der Durchführung der Konsolidierungsinjektionen Injektionsgut in die Hohlräume eindringt und diese verlegt. Als Abhilfe müßte während dieser Arbeiten ein dauernder Spülstrom hindurchgeleitet werden. Die in den Kontrollgang führenden Rohre sollten daher einen großen Durchmesser erhalten.

5. 8 Einrichtungen zur Messung der Höhe des Wasserspiegels im Gebirge

In der rechten Talflanke wurden im luftseitig der Mauer gelegenen Felsvorland 10 Bohrlöcher von 40 bis 50 m Länge und 60 mm Durchmesser abgeteuft, um die Höhe des Kluftwasserspiegels im Berginnern



Abb. 19 Piezometermeßstelle

laufend messen zu können. In die Bohrlöcher sind verzinkte Stahlrohre von 1,5 Zoll Durchmesser eingebaut. Um den Einfluß von Tagwasser weitgehend auszuschalten, sind die Stahlrohre im oberen 15 bis 20 m langen Bohrlochabschnitt durch Injektionen dicht mit dem Fels verbunden. Im unteren, frei im Bohrloch liegenden Bereich sind die Rohre perforiert.

Die Rohre reichen ca. 1,5 m über die Felsoberfläche und sind mit Schraubkappe und Entlüftung versehen. Die Höhe des jeweiligen Bergwasserspiegels wird mit einem Kabellichtlot der Firma Spohr, Frankfurt am Main, gemessen. Das Gerät wird auf das Rohrende aufgesetzt. Beim Abspulen des Kabels wird der Lotkörper in das Rohr abgesenkt. Sobald die im Gerät eingebaute Elektrode den Wasserspiegel berührt, leuchtet eine Signallampe auf. Die Tiefe kann an dem mit einer Einteilung versehenen Kabel abgelesen werden. Die Höhe der Rohrenden wurde durch Nivellement eingemessen.

Die Anlage funktioniert seit längerer Zeit einwandfrei.

5.9 Einrichtungen zur Messung von Längenänderungen im Fels

5.91 Telerocmeter – Extensometer

Bekanntlich sind die Möglichkeiten, Felsdeformationen rasch und wirklich zuverlässig messen zu können, sehr gering. Außer den Lotmessungen sind es vor allem die erst in jüngster Zeit in vermehrtem Umfang zur Anwendung kommenden Längenmeßeinrichtungen, welche zu Kontrollen des Verhaltens der Felswiderlager von Staumauern angeordnet werden.

Zur Durchführung der Längenmessungen werden in Bohrlöchern in Kunststoffrohren gleitende Stahlstangen oder Drähte eingebaut. Die Stangen oder Drähte werden im Meßraum aus den Kunststoffrohren herausgeführt und an der Verankerungsstelle im Berginnern durch Injektionen mit dem Fels verbunden. Die Längenänderungen werden an Meßuhren abgelesen.

In Kops wurden 4 Stück Dreifach-Telerocmeter in beiden Felswiderlagern nach Bauart Dr. Huggenberger eingebaut. Zur Längenmessung werden dabei Stahlstangen verwendet, welche in den Drittpunkten des Bohrloches enden. Im Fundament des Künstlichen Widerlagers ist weiters ein Dreifach-Extensometer, Bauart Interfels, angeordnet worden. Hier wurden an Stelle der Stahlstangen gespannte Invardrähte verwendet. Die Interfels baut auch Extensometer mit Stahlstangen. Mit Telerocmeter oder Extensometer werden Meßeinrichtungen bezeichnet, welche demselben Zwecke dienen und ähnlich gebaut sind.

In der nachstehenden Abbildung 20 ist der prinzipielle Aufbau eines Telerocmeters dargestellt.

Je ein Dreifach-Telerocmeter von insgesamt 55-60 m Länge liegt im rechten und linken Felswiderlager etwa in der Richtung der eingeleiteten Kraft. Aus den Meßergebnissen ist sehr gut der Verlauf der Längenänderungen des Gebirges im Zusammenhang mit der Änderung der Stauhöhe zu ersehen. Durch die Unterteilung

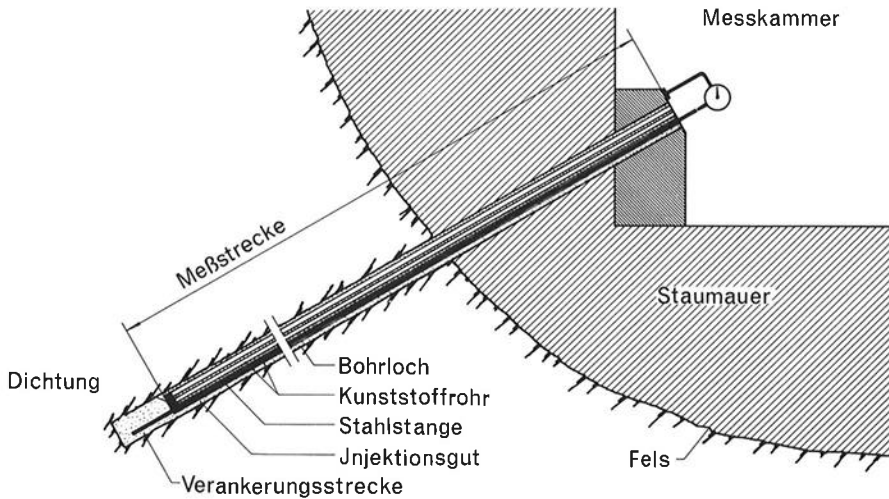


Abb. 20 Prinzipieller Aufbau eines Telerometers
(nicht maßstäblich)

der Strecken in mehrere Abschnitte können aus den Meßergebnissen wertvolle Rückschlüsse auf die Spannungsausbreitung im Untergrund gezogen werden. Messungen in der Krafrichtung sind empfehlenswert. Die beiden im rechten Felswiderlager etwa senkrecht zur Mauerachse und senkrecht zur Felsoberfläche führenden Telerometer enden in der Meßkammer, wo sich eine Lotanlage und ein Endpunkt des Polygonzuges befindet. Die durch die Telerometer gemessenen Längenänderungen des Gebirges können also auf einen durch Lot und Polygonzug eingemessenen Punkt bezogen werden.

Um den Einfluß von Temperaturänderungen erfassen zu können, sind in den Bohrlöchern je 3 Thermometer eingebaut. In Kops zeigte es sich, daß die Temperaturschwankungen in einer Entfernung von rund 10 m von der freien Felsoberfläche nur noch ca. 2°C betragen (ca. $+5,4^{\circ}\text{C}$ im Juni und ca. $+7,4^{\circ}\text{C}$ Ende November). In 20 m Entfernung von der Oberfläche tritt praktisch keine Änderung mehr ein. Das Gebirge hat das ganze Jahr über eine Temperatur von ca. $+6,5^{\circ}\text{C}$.

Eine Temperaturdifferenz von 2°C bewirkt bei einer Länge von 10 m eine Änderung von ca. 0,2 mm. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß außer den Stahlstangen auch das Gebirge eine Deformation durch Temperaturänderung erfährt, so daß sich die Auswirkungen zum größten Teil aufheben.

Wenn keine Thermometer eingebaut werden und keine Temperaturänderung berücksichtigt wird, ist der dabei gemachte Fehler jedenfalls sehr klein.

Die Reibung zwischen Stahlstangen und Kunststoffrohr bewirkt einen Fehler in der Messung.

Je kleiner die Bohrlochneigung und je länger die Meßstrecke, umso größer der Einfluß der Reibung. Bei einem Reibungswert $\varphi = 0,1$ (Stahl auf P. V. C.) und einer 50 m langen waagrechten Meßstrecke bewirkt die Reibung etwa einen Fehler von ca. 0,05 mm. Bei Umkehr der Bewegungsrichtung erhöht er sich auf den doppelten Betrag, also auf ca. 0,1 mm.

Die Telerocmeter ermöglichen die Durchführung genauer und zuverlässiger Messungen von Längenänderungen des Gebirges.

Die Geräte können leicht auf richtiges Funktionieren überprüft werden.

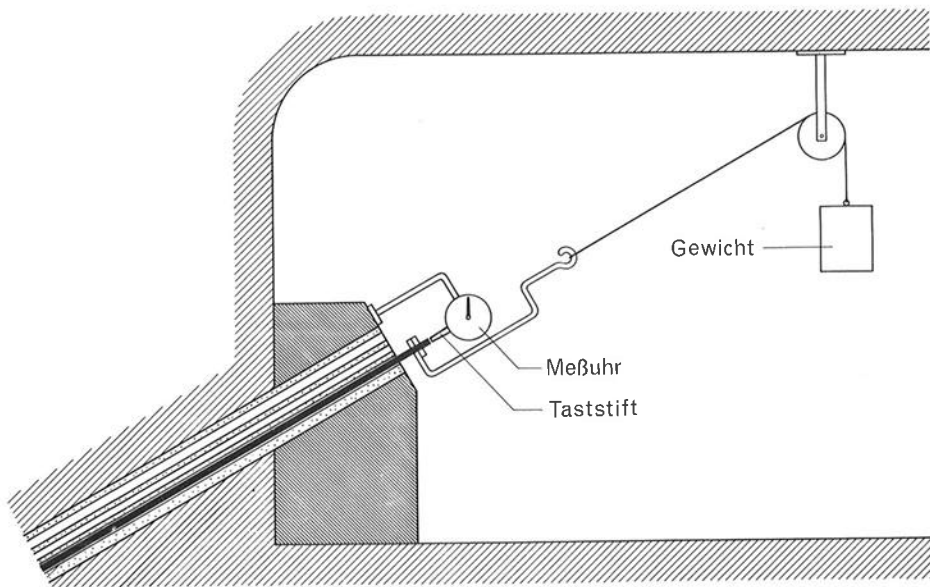


Abb. 21 Prüfvorrichtung für Telerocmeter
(Prinzipskizze)

Wenn an die Telerocmeterstange ein Gewicht angehängt wird, so muß die an der Meßuhr angezeigte Verlängerung dem Wert $\Delta l = \frac{\sigma}{E} \cdot L$ entsprechen. Die Größe des Reibungseinflusses kann festgestellt werden, indem man die Stange hineindrückt, entspannt, an der Meßuhr abliest, herauszieht, entspannt und wieder abliest. Die Differenz der Ablesungen ist der bei Umkehr der Bewegungsrichtung sich einstellende Fehler durch die Reibung.

Die Geräte sollten nach dem Einbau und etwa jährlich einmal überprüft werden. Es ist denkbar, daß die Stahlstangen im Kunst-

stoffrohr durch eine größere örtliche Bewegung im Gebirge geklemmt werden und sich dann falsche Meßwerte ergeben.

Die Bohrlöcher für die Dreifach-Telerocmeter erhielten in Kops einen Durchmesser von 85 mm.

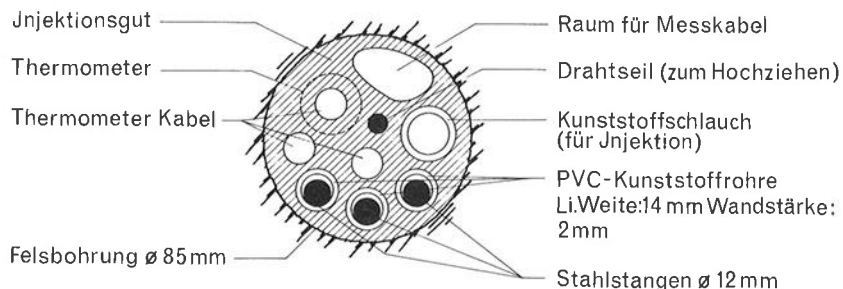


Abb. 22 Schnitt durch Dreifach-Telerocmeter

Eingebaut wurden drei aus nicht rostendem Stahl bestehende Stangen, \varnothing 12 mm, welche in PVC-Kunststoffrohren mit einer lichten Weite von 14 mm und 2 mm Wandstärke gleiten. Die 3,0 m langen Stangen wurden durch ein Feingewinde verschraubt. Die Kupplungsstelle ist durch einen Passstift gesichert. Die Kunststoffrohre besitzen Muffenverbindungen, welche beim Montagevorgang zusammengeklebt wurden. Der Montagevorgang ist mit größter Sorgfalt durchzuführen. Die Kunststoffrohre müssen genügend Festigkeit auf Außendruck aufweisen, damit sie beim Injizieren nicht zerdrückt oder die Muffenstellen undicht werden. Ein Eindringen von Zementmörtel in den Hohlraum zwischen Stange und Kunststoffrohr macht die ganze Meßstrecke unbrauchbar. Im Bohrloch befinden sich weiters drei Thermometer (Gerätedurchmesser ca. 25 mm) sowie der Schlauch zum Injizieren und das Drahtseil für das Einziehen des ganzen Rohr- und Kabelstranges. Das Gewicht dieses Stranges beträgt ca. 4 kg/m. Bei 50 m Bohrlochlänge insgesamt rund 200 kg. Man kann ein solches Paket nicht in ein Bohrloch hinaufschieben. Daher wurden in Kops die aufwärts führenden Meßstrecken von oben zugänglich gemacht. Die Bohrlöcher münden entweder ins Freie oder in einen Mauergang. Das Paket konnte also als Ganzes am Drahtseil hochgezogen werden.

Nach aufwärts führende Mehrfach-Telerocmetermeßstrecken sind nur dann zu empfehlen, wenn das obere Bohrlochende zugänglich ist. Telerocmeter mit nur einer Stange im Bohrloch sind bedeutend einfacher einzubauen. Wenn möglich und zweckentsprechend, sollen Telerocmetermeßstrecken schräg nach abwärts führend angeordnet werden. Die Montage ist bei ca. 30° Neigung am leichtesten durchführbar. Nach erfolgter Montage wird die

Injektion durchgeführt und der Raum zwischen den Kunststoffrohren und dem Fels auf die ganze Bohrlochlänge satt verfüllt. Bei nach oben führenden Bohrlöchern, die im Berginnern enden, ist noch ein Entlüftungsrohr vorzusehen. Erfahrungsgemäß sackt das Injektionsgut nach dem Einbringen etwas nach. Bei nach oben führenden Telerocmetern ist die am oberen Bohrloch liegende Verankerungsstrecke der Stahlstangen genügend lang zu machen, damit man sicher ist, daß sie auch nach dem Absetzen des Mörtels noch einen festen Verbund mit dem Fels besitzt.

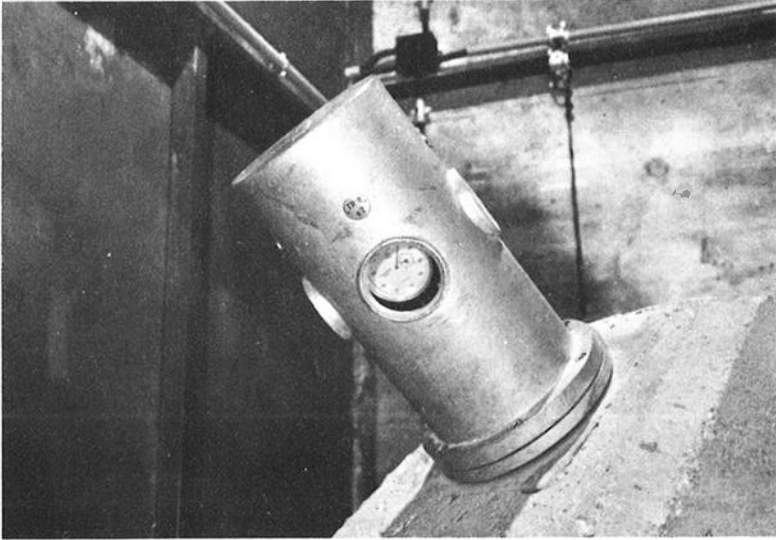


Abb. 23 Telerocmeter-Meßkopf

Die Meßuhren sind abgekapselt im Meßkopf angeordnet, welcher durch Setzplatten mit dem Beton der Meßkammer fest verbunden ist. Die Ablesung der Verschiebungswerte an den Uhren erfolgt durch eigene Fenster am Meßkopf. In Kops wurden bei den längsten Strecken aller Telerocmeter elektrische Geber eingebaut, welche den Meßwert ins Wärterhaus fernübertragen, wo er jederzeit an der Tafel abgelesen werden kann. Außerdem werden diese Werte automatisch laufend aufgezeichnet.

Bei dem in Kops eingebauten Dreifach-Extensometer, Bauart Interfels, bestehen die Meßstrecken aus gespannten Invardrähten, die einerseits in Ankerbüchsen im Bohrloch durch Verpressung fixiert und andererseits in der Kammer im Meßkopf befestigt sind. Das Bohrloch hat bei einem Durchmesser von 65 mm eine Länge von rd. 40 m. Die Meßstrecken sind unterteilt in 13,5 m, 27 m und 40 m. Die Drähte mit einem Durchmesser von 1 mm liegen in einem PVC Kunststoff-Schutzrohr von 40 mm lichter Weite und

2,3 mm Wandstärke. Die Drähte werden mit einem Gewicht von 10 kg gespannt. Nach erfolgter Montage wurde das Bohrloch wie bei den Telerocmetermeßstrecken mit Injektionsgut verfüllt. Die Invar-Meßdrähte übertragen die Felsbewegungen auf den Meßkopf und bringen die Längenänderungen auf Meßuhren, die im Meßkopf untergebracht sind, zur Anzeige.

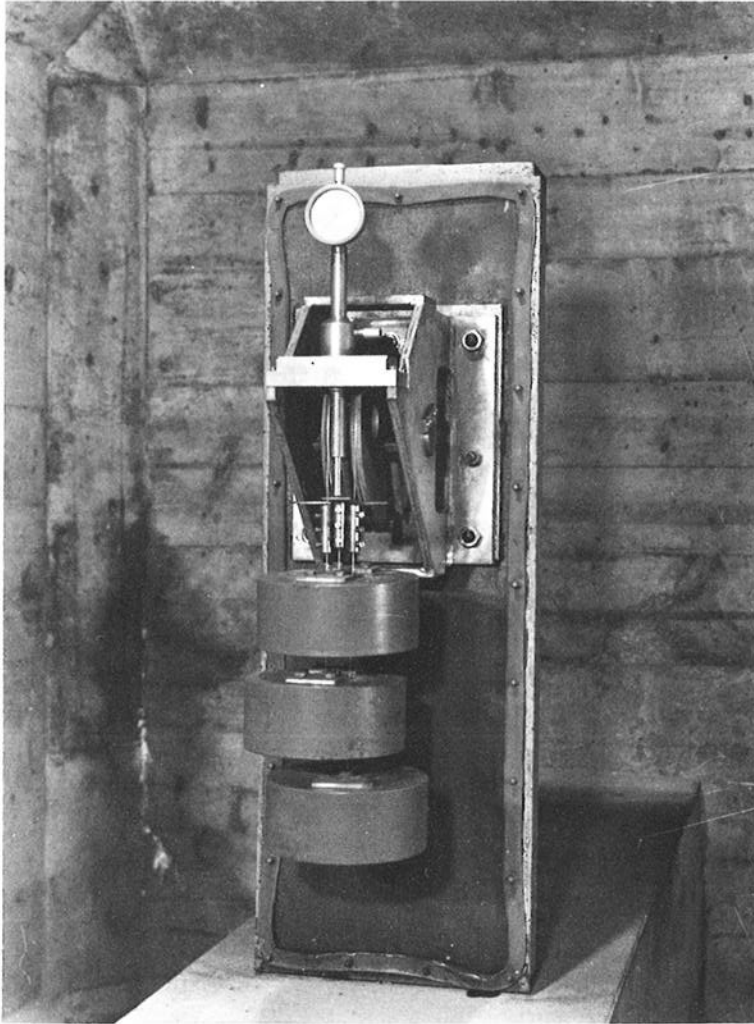


Abb. 24 Extensometer-Meßstelle
(Schutzhaube abgenommen)

5. 92 Verwendung von Telerocmetern zur Einmessung absoluter Felsdeformationen (Telerocmeter-Dreibein)

Um in einen Felsbereich zu gelangen, wo mit Sicherheit keine Deformationen durch Mauer- oder Wasserlast mehr auftreten, ist es üblich, ein Triangulationsnetz an einer oder beiden Talseiten bei der Sperrenstelle zu errichten. Die äußeren Pfeiler des Netzes müssen dabei weit genug von der Sperrenstelle entfernt sein.

Eine andere Möglichkeit, in einen "ruhigen" Bereich zu gelangen, ist in die Tiefe zu gehen. Diesem Zweck dienen die im Felsuntergrund angeordneten Lotanlagen.

Beide Meßmethoden sind für diese Aufgabe nicht ganz befriedigend.

Die Errichtung eines Triangulationsnetzes ist teuer. Es ist außerdem oft schwierig, während der Bauzeit und darüber hinaus bis zur Aufräumung der Baustelle Messungen durchzuführen, da durch die Baustelleneinrichtung die Sicht zwischen den Pfeilern nicht immer gegeben ist.

Die Triangulationsmessungen sind stark wetterabhängig, können nur von hochqualifiziertem Personal und nur in der schneearmen Jahreszeit durchgeführt werden. Die Messungen und die Auswertung erfordert viel Zeit.

Die Meßgenauigkeit ist eher bescheiden und beträgt je nach Meßanlage 1-3 mm.

Mittels Lotanlagen ist es erfahrungsgemäß kaum möglich, größere Tiefen als max. 60-80 m zu erreichen. Dann werden die Abweichungen der Bohrungen von der Lotrechten so stark, daß sie für diese Meßzwecke nicht mehr benutzt werden können. In Kops konnten offenbar wegen der Gesteinsverhältnisse nur Tiefen von ca. 45 m erreicht werden. Diese Großbohrlöcher sind außerordentlich teuer.

Es zeigt sich, daß bei größeren Stauanlagen die meßbaren Felsdeformationen bis in sehr große Tiefe reichen. Es ist anzunehmen, daß diese Bewegungen, welche natürlich je nach Anlage und den geologischen Verhältnissen sehr verschieden sein können, bis in eine Tiefe reichen, welche etwa der größten Sperrhöhe entspricht.

Bei den Lotmessungen ist zu beachten, daß durch sie keine Parallelverschiebungen gemessen werden können, daß also im Untergrund eine solche Bewegung stattfinden kann, ohne durch diese Einrichtungen gemessen zu werden.

Es soll nun hier der Vorschlag gemacht werden, in Hinkunft Telerocmeter zur Erfassung absoluter Felsdeformationen heranzuziehen und damit die umständliche und nicht ganz befriedigende Methode der Triangulation bei der Sperrbeobachtung zu erspa-

ren. Für Kops kommt dieser Vorschlag zu spät. Erst die ausgezeichneten Erfahrungen mit den Telerocmetern ließen den Gedanken aufkommen, diese Meßmethode zum Zwecke der Erfassung großräumiger Untergrundverformungen zu verwenden.

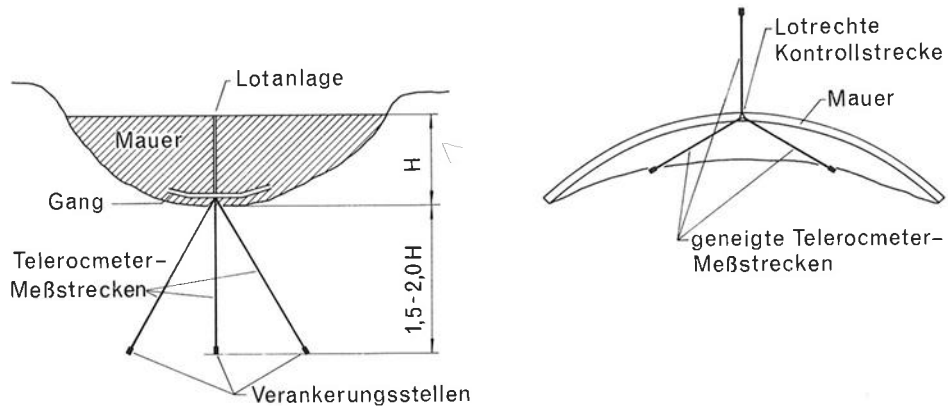


Abb. 25 Telerocmeter - Dreibein

Der Vorschlag geht dahin, von einer Nische im untersten Kontrollgang aus, drei Bohrlöcher von ca. 45 bis 65 mm Durchmesser in der in Abb. 25 angegebenen Richtung abzuteufen. Ein weiteres Bohrloch soll für Kontrollzwecke lotrecht angeordnet werden. Die Tiefe der Bohrlöcher sollte etwa die eineinhalb- bis zweifache Sperrenhöhe betragen. In diese Tiefe ist man mit sehr großer Wahrscheinlichkeit in einem "ruhigen" Bereich. In die Bohrlöcher können in üblicher Weise Telerocmeterstangen versetzt und am unteren Ende durch Injektion mit dem Fels verbunden werden. Durch Beobachtung der Längenänderungen aller Stangen in der Nische im Kontrollgang kann die Lage- und Höhenänderung dieser Stelle in bezug auf die Verankerungspunkte angegeben werden. Das lotrechte Bohrloch gibt direkt die Höhenänderungen und außerdem eine Kontrolllänge. Dieses Bohrloch sollte, wenn möglich, unmittelbar nach dem Fundamentausbruch abgeteuft werden. Die Weiterführung in den Kontrollgang kann durch ein Rohr erfolgen.

Eine rasche Fertigstellung der lotrechten Meßstrecke hätte den großen Vorteil, die Höheänderungen schon während der Bauphase, ohne die bei Nivellementmessungen auftretenden baubedingten Schwierigkeiten, laufend messen zu können.

Durch Anordnung eines "Telerocmeter-Dreibeines" erhält man die absolute Lage- und Höhenänderung nur eines Punktes. Es kann zweckmäßig sein, zwei solche Einrichtungen zu schaffen, z. B. an den Endpunkten von Polygonzügen usw.

Gegenüber der Triangulation hätten diese Messungen den Vorteil, daß sie witterungsunabhängig, laufend, relativ genau und vom Wärter selbst jederzeit durchgeführt werden können.

Die Einmessung der Lageänderungen mit dem Telerocmeter-Dreibein ist mit kleinen Fehlern behaftet.

Bei den schrägen Bohrlöchern wirkt sich die Reibung zwischen den Stangen und Kunststoffrohren aus. Dieser Fehler kann bis zu ca. 0,4 mm betragen. Weiters ist zu beachten, daß durch die Fundamentverformungen eine leichte Krümmung der Bohrlöcher eintreten wird, wodurch sich ein weiterer Fehler ergibt. Diesbezüglich angestellte Untersuchungen lassen jedoch erwarten, daß der dadurch entstehende Fehler nur wenige Zehntel Millimeter betragen wird.

Die Genauigkeit des Meßverfahrens ist jedenfalls wesentlich größer als jene der Triangulation.

Durch die Anordnung von Mehrfach-Telerocmetern in den Bohrlöchern oder knapp neben den tiefreichenden Meßstrecken liegenden kurzen Strecken, könnten wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Größe der Fundamentdeformationen in den verschiedenen Tiefen gewonnen werden.

Beim Einbau tiefreichender Meßstrecken müssen besonders außendruckfeste Kunststoffrohre oder verzinkte Stahlrohre verwendet werden.

6. Meßzentrale

Für die Sicherheit einer Stauanlage ist es von größter Bedeutung, daß die "Lebensäußerungen" des Mauerkörpers und des Untergrundes also die Verformungen und Spannungsänderungen laufend unter Kontrolle gehalten werden. Es ist anzustreben, die wichtigsten Meßergebnisse an eine zentrale Stelle zu übertragen.

In Kops wurde diese Meßzentrale im Wärterhaus untergebracht, welches sich in der Nähe des rechten Mauerflügels befindet. Der Wärter kann von seinem Schreibtisch aus die wichtigsten Anzeigen mit einem Blick übersehen, so daß eventuell eintretende abnormale Veränderungen von ihm frühzeitig erkannt und baldmöglichst an die übergeordneten Stellen weitergeleitet werden können. In diese Zentrale werden folgende Meßergebnisse übertragen:

a) Lotmessungen

(mit automatischer Aufzeichnung)

Bewegung des Mauerscheitels an der Krone

Bewegung des Künstlichen Widerlagers an der Krone

Bewegung des rechten Felswiderlagers

b) Telerocmetermessungen

Bewegung der längsten Meßstrecken der 4 eingebauten Telerocmeter (mit automatischer Aufzeichnung)

c) Spannungsmessungen

Die Meßergebnisse von 12 ausgesuchten Telepreßmetern werden automatisch aufgezeichnet (12-Kanal-Linienschreiber). Die Meßergebnisse der übrigen Telepreßmeter und Teleformeter können nach Einstellung des betreffenden Gerätes am Drehknopf abgelesen werden.

d) Temperaturmessungen

Die Temperaturen bei allen in der Mauer und den Felswiderlagern eingebauten Thermometern werden nach Wahl am Drehknopf direkt angezeigt.

Die Werte aller elektrischen Instrumente können also im Wärterhaus abgelesen werden. Es ergibt sich daraus eine wesentliche Erleichterung und Zeitersparnis bei der Kontrolltätigkeit, die wiederum im Interesse der Sicherheit der Anlage gelegen ist. Die Wärter sollen weitgehend über die Wirkungsweise aller Instrumente und den Sinn und die Bedeutung der Anzeigen Bescheid wissen. Es sollen ihnen Diagramme übergeben werden, aus denen sie auf einfache Weise entnehmen können, welche Instrumentenanzeigen – einschließlich der Toleranz – sich bei einem bestimmten Stau normalerweise einstellen müssen. Das erste Urteil, ob eine Anzeige normal ist oder nicht, müssen ja die Wärter selbst fällen. Sie müssen also entsprechend unterrichtet und mit Unterlagen versehen sein.

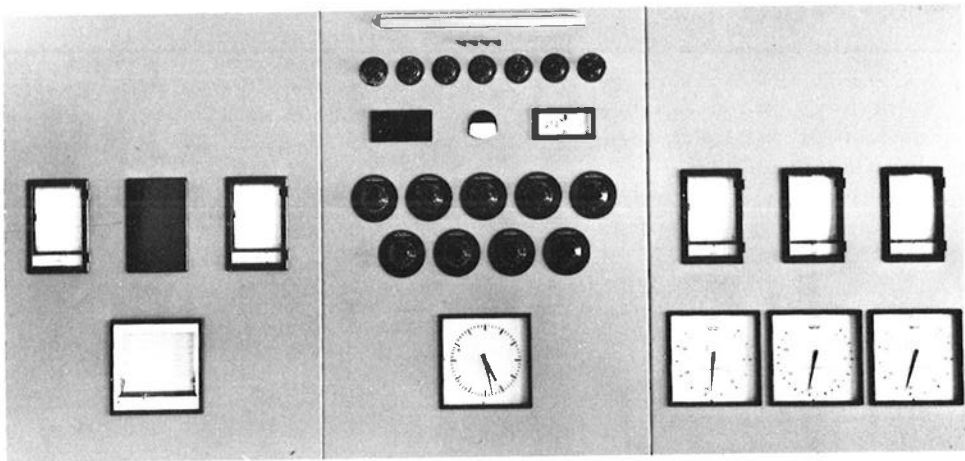


Abb. 26 Instrumentenwand im Meßraum

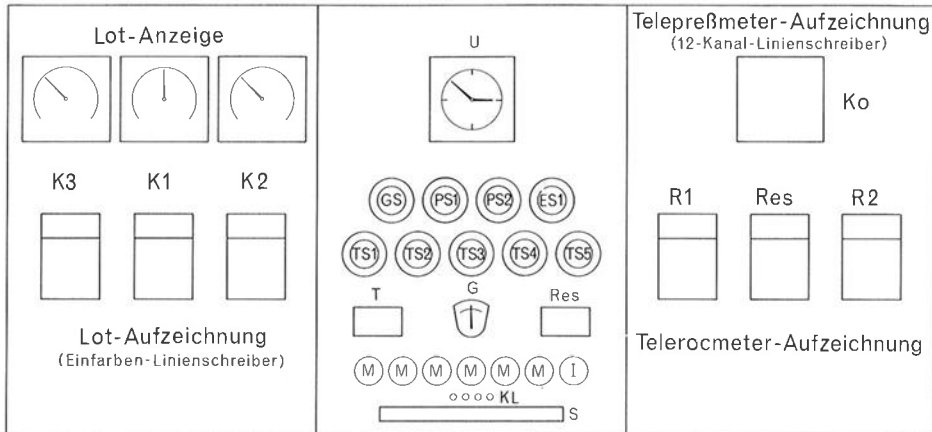


Abb. 27 Instrumentenwand im Meßraum

- K1 Telekoordinator für Lot im Mauerscheitel (Meßstelle Kanzel)
- K2 Telekoordinator für Lot im rechten Widerlager
- K3 Telekoordinator für Lot im linken Widerlager (Meßstelle Bunker auf der Krone)
- U Schalttafeluhr
- GS Gruppenwahlschalter
- PS1, PS2 Meßstellenumschalter für Telepreßmeter P1-P40
- ES1 Meßstellenumschalter für Teleformeter E1-E7
- TS1-TS5 Meßstellenumschalter für Telethermometer T1-T106
- T Temperaturanzeige für Telethermometer
- G Galvanometer für Schalttafel-Teleohmmeter
- M Meßbrücke für Schalttafel-Teleohmmeter
- KL Anschlußklemmen für mobiles Teleohmmeter
- I Instrumentenwahlschalter
- S Schreibplatte (ausziehbar)
- Ko Kompensograph (12-Kanal-Linienschreiber) f. Telepreßmeter
- R1 Telerocmeter-Zweifarbenninienschreiber (rot-blau) für Telerocmeter R1 im rechten Widerlager (blau) und Telerocmeter R4 im linken Widerlager (rot)
- R2 Telerocmeter-Zweifarbenninienschreiber (rot-blau) für Telerocmeter R2 im rechten Widerlager Luftseite (blau) und Telerocmeter R3 im rechten Widerlager Wasserseite (rot)
- Res Schalttafel-Reserveöffnung

Durchführung der Telepreßmeter-, Teleformeter- und Temperaturmessungen an der Schalttafel

a) Telepreßmetermessungen

Mit dem Gruppenschalter GS wird eine Instrumentengruppe, z. B. PS1, gewählt. Mit diesem Schalter PS1 werden die einzelnen Meßgeräte, z. B. Telepreßmeter P5, an die in der Schalttafel fest eingebauten Widerstands-Meßbrücken angeschlossen und dann mit Hilfe der Skalen-Drehknöpfe M und des Galvanometers G die Meßwerte ermittelt.

Diese Meßwerte entsprechen dem jeweiligen Spannungs- und Temperaturzustand des betreffenden Gerätes. Die durch die Spannungen verursachten Formänderungen ergeben ebenso Veränderungen des zu messenden elektrischen Widerstandes wie Temperaturunterschiede.

Beide Einflüsse werden getrennt gemessen.

b) Teleformetermessungen

Der Vorgang ist derselbe wie bei den Telepreßmetermessungen.

c) Temperaturmessungen

Die Messung der Temperatur erfolgt bei den Thermometern in gleicher Weise wie bei den Telepreß- und Teleformetern.

Außerdem kann mit Hilfe des Instrumentenwahlschalters I die Temperatur jedes Gerätes an der Temperaturanzeige T direkt in Grad Celsius abgelesen werden.

Die Übertragung der Meßwerte ins Wärterhaus erfolgt durch Sammelkabel, die von den einzelnen in den Nischen der Mauergänge liegenden Verteilerkästen ausgehen. Die Kabel liegen in Eternittaschen, die an der Decke der Gänge befestigt sind. Sie führen in einen neben der Meßzentrale gelegenen Raum, wo die Verteilung zu den einzelnen Anzeigen an der Instrumentenwand im Meßraum erfolgt.

Bei der Disposition der Meßzentrale und der Führung der Sammelkabel in den Mauergängen wie in Kops ist es leider so, daß die Fertigstellung und volle Inbetriebsetzung der Zentrale erst geraume Zeit nach Beendigung der Betonierungsarbeiten erfolgen kann. Vor der Kabelverlegung sollen die Gänge von Bauinstallationen frei, die Stiegen müssen fertiggestellt sein, usw. Die Restarbeiten dauern bekanntlich immer sehr lange und verzögern dadurch die Fertigstellung der Meßanlage. Während der beiden wichtigen Phasen, dem Bau und der ersten Speicherfüllung war man in Kops gezwungen, alle Messungen in der Mauer selbst und den Stollen durchzuführen.

7. Schlußbemerkung

Die Entwicklung beim Entwurf, Berechnung und Ausführung der Talsperren schreitet weiter und auch die Talsperrenmeßtechnik ist in dauernder Weiterentwicklung begriffen. Die Geräte werden stets vollkommener und neue Erkenntnisse und Möglichkeiten, vor allem bei der Fernübertragung und automatischen Aufzeichnung der Meßwerte, sind gegeben.

In Kops wurde angestrebt, eine dem Zweck der Überwachung der Sperre in jeder Hinsicht und dem Stande der Technik entsprechende Meßanlage zu bauen. Besondere Bedeutung wurde der Beobachtung der Felswiderlager beigemessen.

Die bisher gemachten Erfahrungen bei der Beobachtung der Sperre zeigen, daß die Anordnung der Geräte zweckentsprechend war und daß ihre Anzahl für eine gute Erfassung des Verhaltens von Mauer und Untergrund ausreichend ist.

Über die Ergebnisse der Messungen soll zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

Schriftenreihe:

Die Talsperren Österreichs

- Heft 1: Prof. Dr. A. W. Reitz: Beobachtungseinrichtungen an den Talsperren Salza, Hierzmann, Ranna und Wiederschwing (1954) S 32,-
- Heft 2: Dipl. Ing. Dr. techn. Helmut Flögel: Der Einfluß des Kriechens und der Elastizitätsänderung des Betons auf den Spannungszustand von Gewölbesperren (1954) S 26,-
- Heft 3: Prof. Dr. A. W. Reitz, R. Kremser u. E. Prokop: Beobachtungen an der Ranna-Talsperre 1950 bis 1952 mit bes. Berücksichtigung der betrieblichen Erfordernisse (1954) S 48,-
- Heft 4: Prof. Dr. Karl Stundl: Hydrochemische Untersuchungen an Stauseen (1955) S 20,-
- Heft 5: Prof. Dr. Josef Stini: Die baugelogischen Verhältnisse der österreichischen Talsperren (1955) S 52,-
- Heft 6: Dipl. Ing. Dr. Hans Petzny: Meßeinrichtungen und Messungen an der Gewölbesperre Dobra (1957) S 36,-
- Heft 7: Dozent Dipl. Ing. Dr. techn. Erwin Tremmel: Limbergssperre, statistische Auswertung der Pendelmessungen (1958) S 30,-
- Heft 8: Dr. techn. Dipl. Ing. Roland Kettner: Zur Formgebung und Berechnung der Bogenlamellen von Gewölbemauern (1959) S 54,-
- Heft 9: Dipl. Ing. Hugo Tschada: Sohlwasserdruckmessungen an der Silvrettasperre (1959) S 30,-
- Heft 10: Dipl. Ing. Wilhelm Steinböck: Die Staumauer am Großen Mühdorfersee (1959) S 48,-
- Heft 11: Dipl. Ing. Dr. techn. Ernst Fischer: Beobachtungen an der Hierzmannsperre (1960) S 30,-
- Heft 12: Prof. Dr. Hermann Grengg: Statistik 1961, 1964 auch in englischer Sprache erschienen (1962) S 252,-
- Heft 13: Dipl. Ing. Alfred Orel: Gesteuerte Dichtungsarbeiten beim Erddamm des Freibachkraftwerkes Kärnten (1964) S 38,-
- Heft 14: Neuere Beobachtungen (1964) S 50,-
- Heft 15: Sammel-Ergebnisse des 8. Talsperren-Kongresses in Edinburgh (1964) S 100,-

DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

Dipl. Ing. Otto Ganser

*Die Meßeinrichtungen
der Staumauer Kops*

1968

WIEN 1968. IM SELBSTVERLAG DES
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

Druck: Akademische Druck- u. Verlagsanstalt
Graz / Austria

Printed in Austria

215/67