

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	81 (1983)
Heft:	12
Artikel:	Deformationsmessungen im Rio Chixoy-Projekt
Autor:	Bélat, R.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-231662

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 03.02.2026

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

Zeichen à 4 Bit). Die redundanten Schleifen (bad loop map) werden in einem EPROM⁴, das auch das Betriebssystem enthält, gespeichert. Bezuglich Adressierung wird die einfachste Art verwendet. Das heißt: bei der Initialisierung des Speichers wird

⁴EPROM ≈ Erasable PROM ≈ ein PROM, der mehrmals wiederverwendet werden kann

ein Sektor 0 und ein Sektor 1 generiert, in denen alle Parameter (Baud Rate, Parity, Protokoll, FORMAT, REM-Daten) gespeichert werden. Von der Position dieses Sektors werden die Positionen der anderen Sektoren berechnet. Beim Ausschalten wird der Magnetblasenspeicher jeweils so positioniert, dass beim Einschalten Sektor 0 gelesen wird.

Literatur

- [1] Axel Schulte: Technologie und Einsatz von Magnetblasenspeicher. Verlag Markt & Technik, Haar bei München, 1981
- [2] Wolfgang Söll/Jörg-Hagen Kirchner: Digitale Speicher. Vogel Verlag, Würzburg 1978

Adresse des Verfassers:

Richard Wenk
Dipl. El. ing. ETH, Wild Heerbrugg AG
CH-9435 Heerbrugg

Deformationsmessungen im Rio Chixoy-Projekt

R. Bélat

Die Studien für das Wasserkraftwerk Rio Chixoy Medio in Guatemala begannen in den frühen siebziger Jahren. Die Bauausführung erfolgte von 1977 bis 1983. Das Kraftwerk mit einer Leistung von 300 MW wird den Stromverbrauch Guatamas decken und macht das Land unabhängig von teuren Erdölkäufen für seine thermischen Kraftwerke.

Mit Schwergewicht auf der Vermessung beschreibt der vorliegende Beitrag Instrumentierung und Deformationsmessung am Pueblo Viejo-Damm sowie die Überwachung einer aktiven Verwerfung. Es soll auch gezeigt werden, dass in Entwicklungsländern, wo Ausgleichungsprogramme auf Grosscomputern fehlen oder der Kunde nicht gewillt ist, die Daten im Ausland bearbeiten zu lassen, gute Resultate mit einfachen Methoden erzielt werden können.

Les études de l'aménagement hydro-électrique du Rio Chixoy Medio (Guatémala) ont commencé au début des années 70. La construction s'est déroulée de 1977 à 1983. La puissance installée de 300 MW permettra de couvrir les besoins en énergie électrique du Guatémala et d'économiser au pays l'achat du pétrole jusqu'à nécessaire à ses centrales thermiques.

Le présent rapport, tout en mettant l'accent sur la mensuration, décrit l'instrumentation et les mesures de déformation du barrage de Pueblo Viejo, ainsi que la surveillance d'une faille géologique active. On en arrive ainsi à montrer que dans des pays en voie de développement où l'on ne dispose pas de programmes de compensation des erreurs implementés sur ordinateur et où souvent le client ne désire pas procéder à un traitement des données à l'étranger, on peut aussi obtenir de bons résultats par des méthodes simples.

lange Zuleitungstunnel schneidet das grosse S des Chixoy-Flusses und führt das Wasser zum Maschinenhaus in Quixal. Die maximale Druckhöhe zwischen dem Stauspiegel und den fünf Turbinenachsen in Quixal beträgt 506 m. Eine rund 125 km lange Hochspannungsleitung bringt die Energie zum Verbrauchernetz in der Hauptstadt. Die Straub AG in Chur überwachte im Rahmen der Bauleitung des Consorcio LAMI (Lahmeyer International/D, Motor Columbus/CH IECO/USA) alle vermessungstechnischen Aufgaben auf der Baustelle. Die Errichtung des Triangulationsnetzes nahm die Jahre 1976 und 1977 in Anspruch. Während der Ausführungsphase folgte die eigentliche Bauvermessung mit der Absteckung aller Bauwerksachsen, Stollenkontrollen, Volumenbestimmungen usw. Der Ersteinstau im Jahre 1983 erforderte vor allem Überwachungsarbeiten und Deformationsmessungen.

Das Wasserkraftwerk Rio Chixoy Medio des Instituto Nacional De Electrificación (INDE) liegt rund 200 Strassenkilometer nördlich der Hauptstadt auf der Grenze der drei Provinzen Alta Verapaz, Baja Verapaz und Quiché. Der Stausee bedeckt die trockenen Ausläufer der Cuchumatanes-Bergkette, während das Maschinenhaus 30 km weiter nördlich bereits im Gebiet des tropischen Regenwaldes liegt, der sich gegen die Provinz Petén und Mexico ausdehnt.

Zu den Hauptbauteilen gehören der 110 m hohe Damm mit einem Schüttvolumen von 3,2 Mio. m³, Umleitungstunnel, Grundablässen, Hochwasserentlastung und 3 km Injektionsgalerien. Der Damm staut das Wasser der Flüsse Chixoy, Salamá und Carchelá und bildet einen See von 40 km Länge. Der 26 km



Abb.1 Vermessungsgruppen in Guatemala sind gross und immer von einer Köchin begleitet

Eine Hauptaufgabe bestand auch in der Schulung von einheimischem Personal des Kunden. Guatamaltekische Vermesser erlernen, da jegliche theoretische Ausbildungsmöglichkeit fehlt, ihre Arbeit auf dem Feld. Zunächst überrascht vor allem die Grösse der Vermessungsgruppen. Sie umfassen acht bis zehn Mann, immer von einer Köchin begleitet, welche das Camp in Schwung hält und das Essen zubereitet. In der Gruppe herrscht eine strenge Hierarchie. Die eigentlichen Gruppenchefs, die *topografos* und *niveladores* haben alle Stufen vom Arbeiter zum Messgehilfen und Schreiber durchlaufen, bevor sie am Instrument arbeiten. Die Arbeiter lernen von den Messgehilfen, der Gehilfe vom Schreiber, und dieser wird vom Gruppenchef in die Arbeit mit Theodolit und Nivelliergerät eingeführt. Die Guatamalteken arbeiten sehr gut, beständig und seriös. Der Verfasser überliess das Messen meist den Einheimischen, da er selten Satzmittel unter $\pm 1.5\text{ cm}$ erreichte.

Damm: Instrumentierung und geodätische Deformationsmessung

Der Pueblo Viejo-Damm des Chixoy-Projektes ist ein Steinschütt-damm mit zentralem geneigtem Kern (Durchlässigkeit $k = 10^{-9} \text{ cm/sec}$) und beidseitig angrenzender Filter- und Drainschicht. Wasser- und luftseitige Stützkörper bestehen aus gebrochenem Fels, die wasserseitige Böschung ist mit einer Grobblockschicht gegen Wellenschlag geschützt. Der Vordamm, der den Chixoy während der Bauzeit in die Umleitungstunnel wies, ist Bestandteil des Dammes. Eine Injektionsgalerie



Abb. 2 Der Pueblo Viejo-Damm staut den Rio Chixoy zu einem 40 km langen See

unterquert den Damm entlang des Kerns. In den seitlichen Auflagern wird die Galerie in zwei, z. T. in drei Niveaus weitergeführt. Gesamthaft wurde ein Dichtungsschleier mit einer Fläche von $325\,000 \text{ m}^2$ injiziert, um den aus Kalkstein bestehenden Untergrund wasserundurchlässig zu machen. Die in tropischen Ländern üblicherweise grosse Hochwasserentlastung ist für ein 10 000jähriges Hochwasser mit $3880 \text{ m}^3/\text{sec}$ ausgelegt. Die beiden Grundablässe, die ein rasches Absenken des Seespiegels in einer Notsitu-

tion ermöglichen, bewältigen bis $645 \text{ m}^3/\text{sec}$.

In den Damm wurde eine umfangreiche Instrumentierung eingebaut. Sie erlaubt die bodenmechanische Beurteilung des Verhaltens des Dammes und soll anormale Situationen, welche die Sicherheit des Bauwerkes gefährden, frühzeitig anzeigen. Geodätische Messungen bilden die Grundlage der mechanischen Messungen im Dammkörper und ergänzen diese an der Oberfläche. Im einzelnen handelt es sich um folgende Instrumente (siehe Abb. 3):

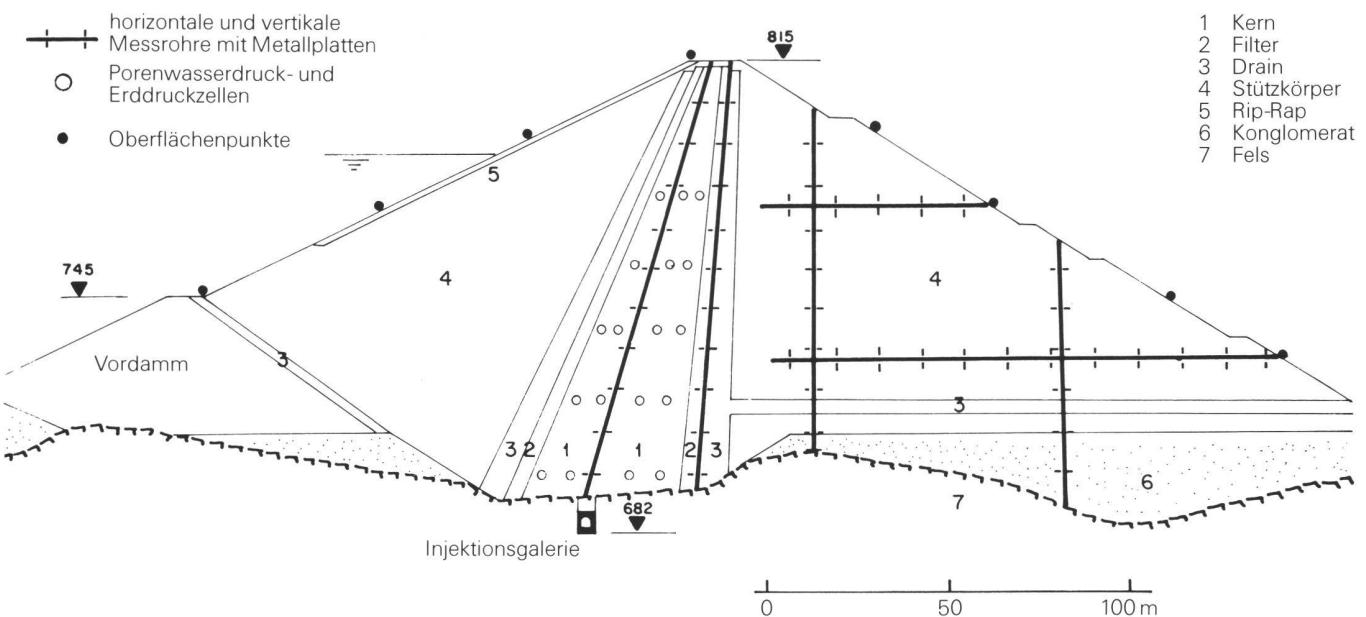


Abb. 3 Längsschnitt A-A durch den Dammkörper mit Instrumentierung: Messrohre, Porenwasser- und Erddruckzellen, Oberflächenpunkte

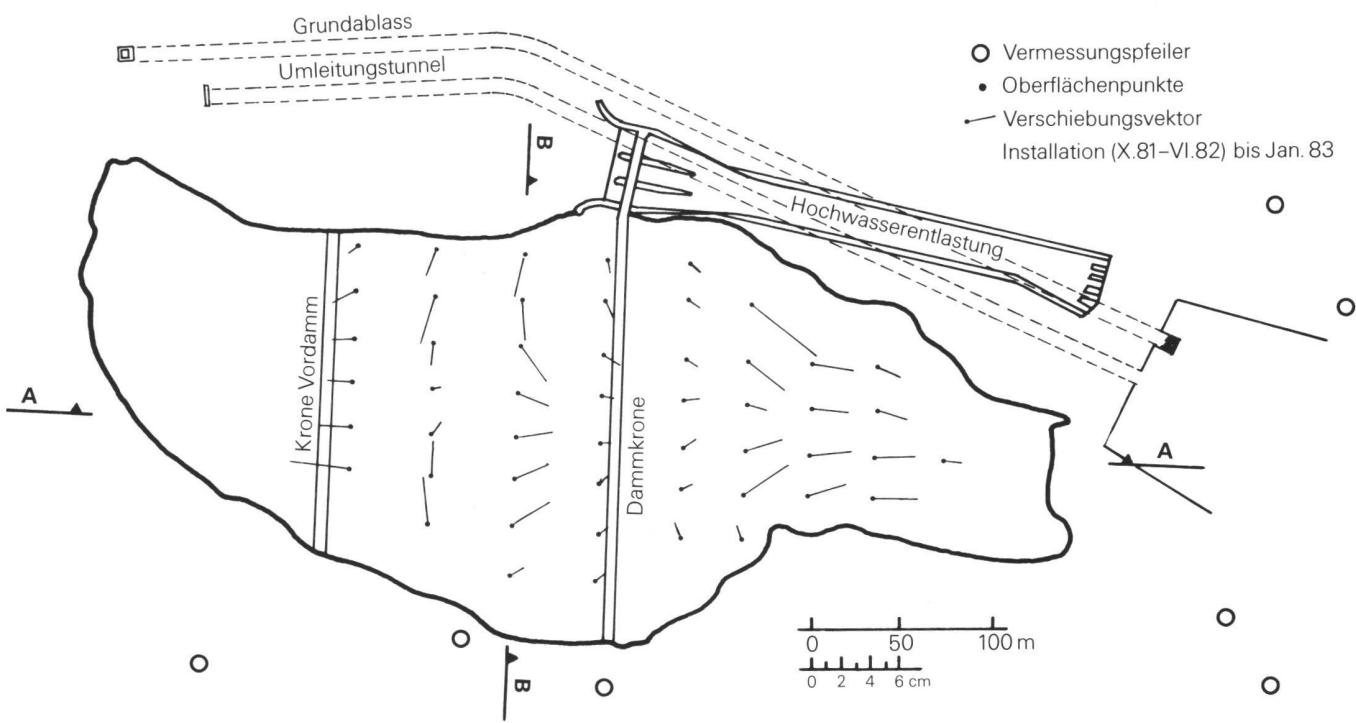


Abb. 4 Damm, Situation: Horizontalverschiebungen der Oberflächenpunkte

Porenwasser- und Erddruckzellen: Porenwasser- und Erddruck hängen von den Lasten des Überbaus und des aufgestauten Wassers ab. Im Damm sind 80 dieser Instrumente installiert, 65 davon im Kern, 15 im Stützkörper und im Untergrund. Die Entwässerung des Kerns nach Ende der Bauzeit bewirkte ein Absinken der Porenwasser- und Erddrucke, der Ersteinstau wirkte ein Ansteigen. In den Taiflanken und den Injektionsgalerien wurden zudem 200 mit Manometern ausgerüstete Piezometer eingebaut, mit deren Hilfe der Wasserhaushalt in der Umgebung des Damms sowie die Wirkung des Schleiers überwacht werden.

Vertikalmessrohre: Zehn vertikale und geneigte Messrohre aus Kunststoff wurden in die Aufstandsfläche eingebettet und gemeinsam mit der Schüttung bis an die Oberfläche hochgezogen. In Abständen von zehn Metern befinden sich Metallplatten, welche die Messrohre umschließen, jedoch alle Setzungen des Damms mitmachen können. Die Ortung der Platten geschieht mit Hilfe einer innerhalb des Pegelrohres an einem Messkabel bewegten Sonde. Diese enthält einen Hochfrequenzschwingkreis mit Verstärker, dessen Schwingungsfrequenz durch den ringförmigen Leiter beim Durchfahren verändert wird (Methode Dr. Idel). Das so gewonnene Signal wird am Empfangsgerät angezeigt und die zugehörige Position der Sonde am Messkabel

abgelesen. Die Zunahme der Tiefe der aktuellen Messung im Vergleich zur Nullmessung ergibt die Setzung.

Neigungsmessungen: In den gleichen Messrohren verwendet man Inklinometer zum Erkennen von horizontalen Verschiebungen im Damm. Der Inklinometer übermittelt in Abständen von zwei Metern die Neigung des Messrohres in Richtung der Dammachse und rechtwinklig dazu an ein Empfangsgerät an der Oberfläche. Nach dem Prinzip des Bussolenzugs lässt sich die Position der Messpunkte bzw. deren Veränderung gegenüber der Nullmessung bestimmen.

Horizontalmessrohre: Die sechs horizontalen Messrohre im luftseitigen Stützkörper sind ebenfalls mit Metallplatten ausgerüstet. Wie in den vertikalen Messrohren wird mit der Idel-Sonde die Distanz vom Oberflächenreferenzpunkt zur Platte gemessen. Ein horizontaler Druck auf den luftseitigen Stützkörper wirkt sich in einer Verschiebung zur Oberfläche, d. h. in einer Verkürzung der Messstrecke zwischen der Metallplatte und dem Oberflächenreferenzpunkt aus.

Vor jeder Messung mit Idel-Sonde und Inklinometer werden die Höhen und Koordinaten der Referenzpunkte an den Rohrenden geodätisch eingemessen und dadurch der Anschluss der mechanischen Messungen ans Grundlagennetz erreicht.

Extensometer: Diese Instrumente befinden sich 30 m unterhalb der Dammkrone, nahe der Auflagerfläche am Rand des Kerns. Diese Zonen weisen Zugspannungen auf, welche Risse verursachen können. Ein Digitalmessgerät registriert kleinste Veränderungen der Abstände von paarweise angebrachten Metallplatten.

Oberflächenpunkte: Die 50 Oberflächenpunkte auf den wasser- und luftseitigen Böschungen ergänzen die bodenmechanischen und geometrischen Messungen im Damm. Koordinaten werden mit Triangulation, Setzungen mit Präzisionsnivellier bestimmt.

Die geodätischen Messungen basieren auf einem Pfeilernetz rund um den Damm sowie auf Nivellementfixpunkten an beiden Taiflanken. Die Standortwahl für die Pfeiler war eingeschränkt durch eine fast vertikal einfallende Felswand auf der rechten und die Hochwasserentlastung auf der linken Talseite. Beim Aufstellen des Messprogrammes verzichteten wir auf den Einsatz von elektronischen Distanzmessern. Der Arbeitsaufwand mit reiner Satzmessung ist zwar grösser, doch hatten Erfahrungen aus der Bauzeit gezeigt, dass die Distanzmesser auf hohe Luftfeuchtigkeit doch ziemlich anfällig sind. In Guatemala besteht zudem nur eine Reparaturmöglichkeit für Theodoliten und Nivellierinstrumente. Das Abwarten der Ausführung einer Reparatur in Europa mit langen Fracht-, Zoll- und

Zahlungsformalitäten würde eine kontinuierliche Messfolge mit immer gleicher Messanordnung nicht gewährleisten. Auch die Berechnungen mussten den lokalen Gegebenheiten von Personal und Rechengeräten angepasst werden. Das Fehlen von einem Ausgleichungsprogramm auf einem Computer erfordert die Durchführung sämtlicher Berechnungen mit einfachen Programmen auf kleinen HP- und TI-Modellen.

Jeder Oberflächenpunkt ist von drei bis vier Pfeilern sichtbar. Dies ergibt je nach Lage zwei bis vier günstige Kombinationen für Vorwärts einschnitte. Die Resultate der verschiedenen Kombinationen werden arithmetisch gemittelt. Ein Vergleich der so bestimmten Koordinaten der Oberflächenpunkte mit den Ergebnissen einer Einzelpunktausgleichung auf der HP-41CV, welche die orientierten Azimute aller Stationen verwendet, ergab Differenzen von 0–3 mm in jeder Koordinate. Distanzmessungen und Ausgleichungsprogramme würden also sicher grosse Zeitersparnisse und leichte Genauigkeitsgewinne bringen, das jetzt angewandte System ist aber den örtlichen Gegebenheiten mit vielen Arbeitskräften und einfachen Hilfsmitteln besser angepasst. Wie der Vergleich mit den Genauigkeiten der mechanischen Messungen zeigt, genügt die am Pueblo Viejo-Damm erreichte geodätische Punktgenauigkeit von ± 1 cm voll auf. Im Gegensatz zu einer Staumauer erreichen Deformationen in einem Damm schnell einige Dezimeter, und der Bodenmechaniker denkt bei deren Beurteilung in der Größenordnung von einigen Zentimetern.

Bei den Setzungsmessungen mit der Idel-Sonde kann mit einer Genauigkeit von ± 2 cm gerechnet werden. Diese Messungen hängen vor allem vom guten Gehör des Beobachters ab. Das gleiche gilt auch für die Verschiebungsmessungen in den horizontalen Messrohren. Die Präzision der Neigungsmessungen nimmt mit zunehmender Tiefe des Messrohrs ab. Testmessungen ergaben einen Fehler von etwa $\pm 0,5\%$ der Tiefe, also in 100 m Abstand von der Oberfläche bereits ein Fehlerband von 10 cm. Systematische Fehler, verursacht zum Beispiel durch Verunreinigungen im Messrohr, beeinflussen die Resultate.

Einige Resultate der Deformationen aus der Bauzeit und der Phase des Ersteinstaus veranschaulichen die Größenordnungen: Abbildung 4 zeigt die horizontalen Bewegungen an der Oberfläche des Damms zwischen der Installation der Punkte nach Erreichen der maximalen Schütt Höhe und dem Beginn des Einstaus im Januar 1983. Deutlich erkennt man die drei Haupttendenzen der Verschiebungen: Von den Flanken gegen das Zentrum, bö-

schungsabwärts auf der Luftseite und den tiefergelegenen Punkten auf der Wasserseite sowie in Richtung zum geneigten Kern bei den höhergelegenen Punkten auf der wasserseitigen Böschung. Die grössten Verschiebungen erreichen rund 6 cm. Während den ersten sechs Monaten des Ersteinstaus im Jahr 1983 ergaben sich keine wesentlichen Änderungen. In der Abbildung 5 sieht man die Ergebnisse der Setzungen in einem Schnitt parallel zum Dammachse. Die Setzungen nehmen als Folge der grösseren Schütt Höhe zur

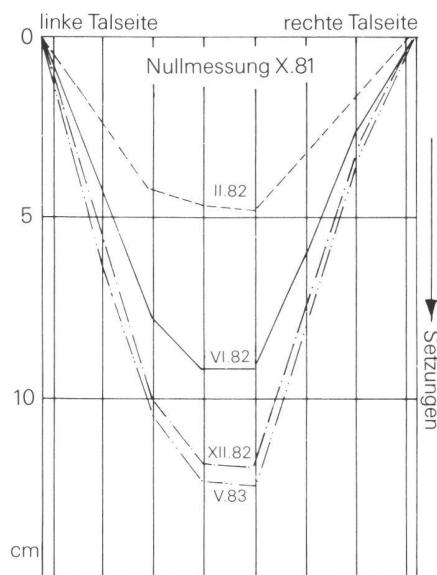


Abb. 5 Schnitt B-B parallel zur Dammachse. Setzungen der Oberflächenpunkte.

Dammitte hin zu. Im Vergleich zu den Setzungen, die im Dammkörper gemessen wurden, sind die Oberflächensetzungen relativ klein, da im Zeitpunkt der Installation der Messpunkte bei Erreichen der jeweiligen maximalen Schüttkote die Setzungen im Untergrund zum grössten Teil abgeklungen sind. Die Maximalwerte der Setzungen an der Oberfläche erreichen 12 cm und setzen sich während dem Einstau mit 1–2 mm pro Woche fort.

Die Setzungen im Dammkörper wurden während der gesamten Bauphase mit jedesmal neubestimmten, da ständig wechselnden Referenzpunkten erfasst. Maximalwerte ergaben sich immer knapp unterhalb der halben Gesamthöhe und erreichen im Kern 130 cm, im Filter 100 cm und im Stützkörper 65 cm, was 1,1, 0,8 und 0,7% der jeweiligen Schütt Höhe entspricht. Die horizontalen Verschiebungen im Dammkörper sind deutlich kleiner als die Setzungen. In den horizontalen Messrohren bestimmte man Maximalwerte von 25 cm. Die Messungen mit dem Inclinometer wurden erst kurz vor dem Einstaubeginn

aufgenommen und brachten wegen der relativ grossen Ungenauigkeit dieses Instrumentes noch keine aussagekräftigen Resultate.

Bei der Vielzahl von Instrumenten in einem Erddamm spielen die geodätischen Messungen eine eher untergeordnete Rolle. Ihre Bedeutung nimmt aber im Laufe der Zeit zu, da die Instrumente im Dammkörper auf Pannen sehr anfällig sind und sich kaum ersetzen lassen.

Es ist vorgesehen, die Messungen am Pueblo Viejo-Damm in grösseren zeitlichen Abständen während des Betriebes des Kraftwerkes weiterzuführen. Wichtig sind zusammenhängende Messreihen, vor allem auch zur Beurteilung des Einflusses von grossen Erdbeben, wie das Beispiel des unter ähnlichen Bedingungen gebauten El Infierillo-Damms in Mexico zeigt. Ein starkes Erbeben 1979, 16 Jahre nach Beendigung des Bauwerks, reaktivierte Setzungen und horizontale Verschiebungen.

Neben der Überwachung des Damms werden noch weitere geodätische Deformationsmessungen im Rahmen des Projektes durchgeführt. In der Injektionsgalerie unter dem Kern beobachtet man allfällige Setzungen des Untergrundes. Der von einem Zugangsstollen erreichbare 40 m tiefe und 65° geneigte Schrägschacht wird mit dem Nivellierinstrument in 15 Absätzen überwunden. Da die Steilheit das Aufstellen von Stativen nicht erlaubt, wurde eine Spezialkonsole entwickelt, die sich mit Flügelschrauben auf die in der Wand eingelassenen Gewinde setzen lässt.

Im Seebecken werden an den Böschungen verschiedene Stabilitätskontrollen durchgeführt. Speziell sei ein Aschehang erwähnt, der von einem urzeitlichen Vulkanauswurf stammt.

Der nächste Abschnitt beschreibt eine weitere Deformationsmessung, die Überwachung einer geologischen Verwerfung, welche acht Kilometer vom Damm entfernt die Rohrbrücke des Zuleitungstunnels kreuzt.

Rohrbrücke: Überwachung einer geologischen Verwerfung

Der 26 km lange Zuleitungsstollen wird in Agua Blanca bei der Überquerung des Chixoy-Tales in zwei Tunnel von 18 und 8 km Länge unterteilt. In diesem Tal verläuft auch die Verwerfung CCP (Cuilco-Chixoy-Polochic), zusammen mit der Motagua-Störung eine der beiden Hauptverwerfungen, welche das Land in Ost-West-Richtung durchqueren. Beim grossen Erdbeben von 1976 mit Epizentrum auf der Motagua-Verwerfung, welches Tausende von Opfern forderte und grosse Zerstörungen verursachte, wurden Querverschiebungen bis zu 2 m gemessen. Dies kann man heute noch sehr gut an Strassen erkennen.

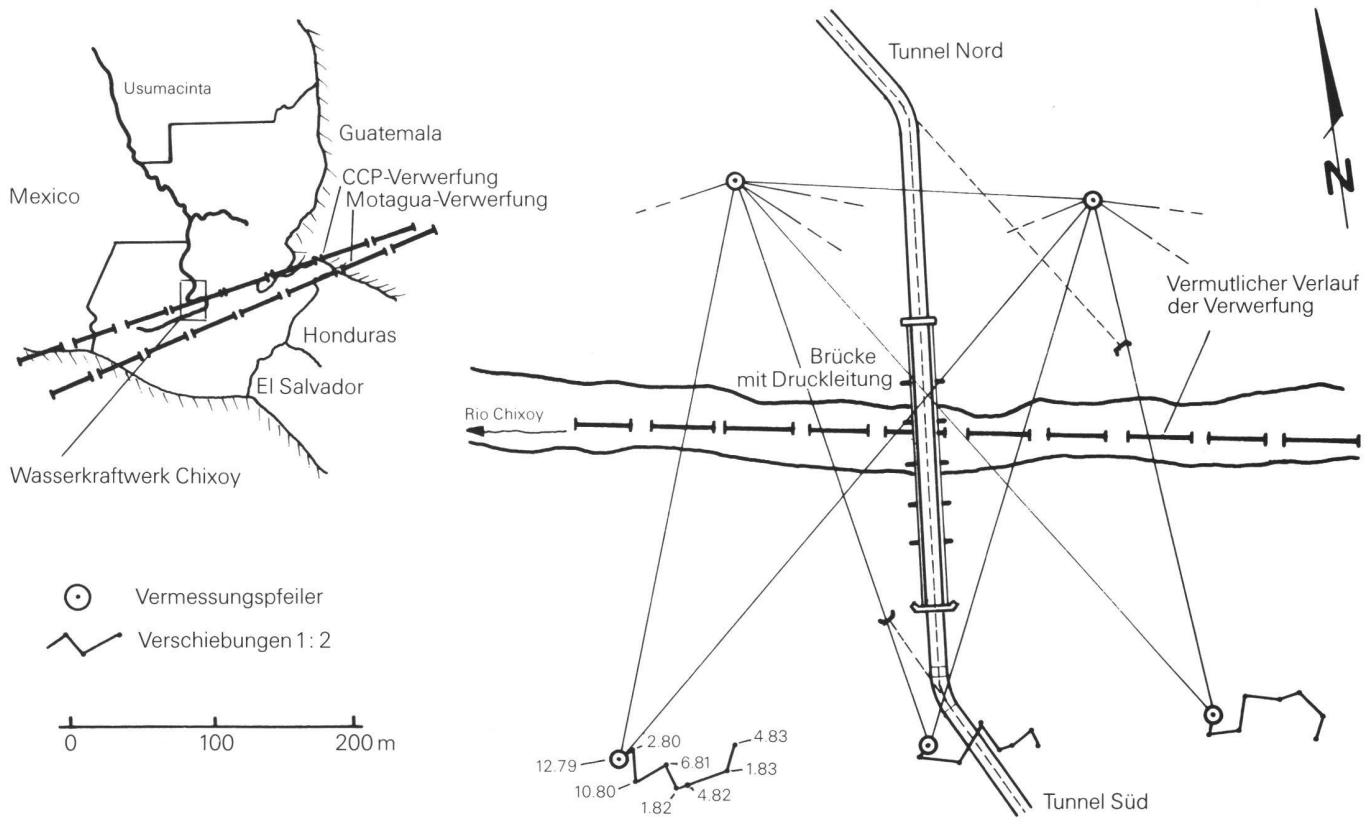


Abb. 6 Hauptverwerfungen Guatemalas, Deformationsmessungsanordnung. Relative Verschiebungen der beiden Talseiten

nen, welche die Verwerfung kreuzen. Die Erfahrungen vom Erdbeben von 1976 sowie die Nähe des Projektes zur CCP-Störung machten eine Erhöhung der Sicherheitsfaktoren für Damm und Maschinenhaus nötig. Diese sollen nun ein Erdbeben der Magnitude 8,2 auf der Richterskala schadlos bzw. ohne

katastrophale Folgen überstehen. Auch für die Brücke, welche die beiden Talseiten mit einer 200 m langen Druckleitung verbindet, wurde ein spezielles Design gewählt. Die Leitung ist an den beiden Portalen eingespannt und liegt auf sechs Pfeilern und einer Portalplatte frei auf. Das Kippen oder Versinken eines Pfeilers im Falle eines Erdbebens kann durch das selbsttragende Rohr auf einer doppelten Spannweite mühelos überbrückt werden.

Etwas neidisch las der Verfasser die Beiträge von Ingenieurvermessungssymposien, wo Methoden zur Überwachung und Ausgleichung von Netzen zur Kontrolle von Verwerfungen beschrieben werden. Da auch hier Ausgleichungsprogramme fehlen, mussten wir eine einfache Methode zur Bestimmung der Verschiebungen finden. Da die Hauptbewegungsrichtung bekannt ist, interessiert vor allem der Betrag der Verschiebungen, d. h. die relative Bewegung der beiden Talseiten gegeneinander. Ein erstes lokales Überwachungssystem besteht aus zwei Achsen, die über die Druckleitung und daneben über die Betonpfeiler laufen. Jede seitliche Bewegung kann durch einfaches Anzielen erkannt werden. Kippungen und Setzungen der Brückenpfeiler werden mit Präzisionsnivelllement bestimmt. Auf den höhergelegenen Tal-

flanken legten wir zusammen mit dem Geologen Standorte für fünf Vermessungspfeiler fest. Die Pfeiler stehen auf Betonplattformen und sind an deren vier Ecken mit Höhenbolzen versichert. Lokale Setzungen, Kippungen oder Rutschungen lassen sich dadurch erkennen und die Koordinaten des zentralen Pfeilers entsprechend korrigieren. Die Pfeiler auf der rechten Talseite bilden zusammen mit weiteren Punkten und Fernzielen ein kleines Triangulationsnetz. Von diesem aus werden die Pfeiler der gegenüberliegenden Talseite bestimmt. Abbildung 6 zeigt die Messanordnung und die relativen Bewegungen während drei Beobachtungsjahren. Widersprüche im Grundlagennetz, die während der Tunnelbauphase aufgetreten waren, konnten so erklärt werden. Die geodätische Überwachung der Druck- und Verteilleitung im Maschinenhaus schliesst den Kreis der Vielzahl von Deformationsmessungen im Rio Chixoy-Projekt. Als unerlässliche Beurteilungsgrundlage für Bau- und Maschineningenieur, Bodenmechaniker und Geologe erfüllen sie ihre Aufgabe auf dieser Grossbaustelle.



Abb. 7 Arbeit am Vermessungspfeiler