Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes

EDERTALSPERRE 1994

Wasser- und Schiffahrtsdirektion
Mitte

Qualitätssicherung bei den Bohr- und Ankerarbeiten zur Instandsetzung der Ederstaumauer

DIPL.-ING. BERND ABERLE*

18

1 Einleitung

Durch die beschriebenen Instandsetzungsmaßnahmen wurde die Standsicherheit der Ederstaumauer mit Hilfe von 104 Dauerfelsankern erhöht. Die ungewöhnlich großen Ankerkräfte und die Forderung des Bauherren hinsichtlich ihrer Lebensdauer bei voller Gebrauchsfähigkeit der Mauer von 80 - 100 Jahren erforderten einen hohen Qualitätsstandard und einen sorgfältigen Korrosionsschutz.

Von Fachleuten wird Qualität beschrieben als ein Maß für den Grad der Übereinstimmung eines in Anweisungen, Konstruktionsbeschreibungen und Zeichnungen festgelegten Produktes mit der wirklichen Ausführung [1].

Die Ausführungsqualität der Arbeiten an der Ederstaumauer wurde durch Ingenieure des WSA Hann. Münden und mehrere Spezialisten für einzelne Teilbereiche überwacht. Die Überwachung der Bohr- und Injektionsarbeiten lag während der Bauzeit in den Händen des Ingenieurbüros Prof. Wittke (WBI). Zusätzlich zu der bestehenden Fremd- und Eigenüberwachung der Lieferfirma wurde jeder Anker auf Weisung des Bauherren ebenfalls von WBI überprüft.

2 Vorversuche

Von Dezember 1991 bis Februar 1992 wurden umfangreiche Vorversuche zur Eignung der Anker und besonders zu der Eintragung der Vorspannkräfte in den Untergrund durchgeführt.

Bild 1: Vorversuche im Tosbecken der Ederstaumauer

Im Tosbecken der Staumauer wurden hierbei drei Anker auf der rechten Talseite in einer Wechsellagerung aus Grauwacke und Tonstein und drei weitere Anker auf der linken Talseite in Grauwackeschichten eingebaut. Die Anker wurden einer Eignungsprüfung unterzogen und bei pull-out-tests mit maximal 8000 kN belastet. Die Ergebnisse bestätigen die Eignung der Anker für die vorgesehene Baumaßnahme (siehe Beitrag 15).

3 Überwachung der Bohr- und Injektionsarbeiten

Die abwechselnd 68 m und 73 m tiefen Bohrungen zur Aufnahme der Anker wurden mit zwei Kernbohrgeräten als Seilkernbohrungen (Ø 146 mm) von der erneuerten Mauerkrone abgeteuft.

Die ingenieurgeologische Betreuung der Bohrarbeiten durch das Hessische Landesamt für Bodenforschung (HLB) umfaßte die Aufnahme der Bohrkerne im Fels in lithologischer und tektonischer Hinsicht sowie eine Beurteilung der Krafteintragungsstrecken.

Von der Fachbauüberwachung WBI wurde die Gewinnung, Kennzeichnung und Lagerung der Bohrkerne überwacht. Zusätzlich wurden die Bohrkerne aus der Mauer und dem Untergrund fotografiert, kartiert und im Hinblick auf die folgende Injektion ausgewertet.

Aufgrund der geringen Wandstärke von rd. 2,5 m zwischen der vorhandenen Vorsatzschale und dem unteren Kontrollgang wurde vom Auftraggeber die Einhaltung einer Bohrlochabweichung von weniger als 1 % der Länge in Höhe des unteren Kontrollganges gefordert. Das heißt, daß nach 40 Bohrmetern die Bohrachse maximal 40 cm von der Sollachse abweichen durfte. Gewöhnlich ist bei Kernbohrungen mit Bohrlochabweichungen von 2 - 3 % zu rechnen. Die ausführende Firma erreichte eine Bohrlochabweichung von im Mittel 0,36 % in Höhe des unteren Kontrollgangs und von 0,45 % im Bohrlochtiefsten. Die Abweichungen von der Sollachse sind in Bild 2 dargestellt.

Die Bohrlochachse wurde mit einer Bohrlochsonde (Maxibor) vermessen. Durch Befahren einer Referenzstrecke wurde vor und nach jeder Messung die einwandfreie Funktion der Sonde nachgewiesen.

Zusätzlich wurde die Lage der Bohrungen mit einem Sender im Bohrloch und einem Empfänger im unteren Kontrollgang bestimmt. Eine Horizontalbohrung als

* *Dipl.-Ing. B. Aberle, Mitarbeiter des Ingenieurbüros Prof. Dr.-Ing. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH (WBI)*

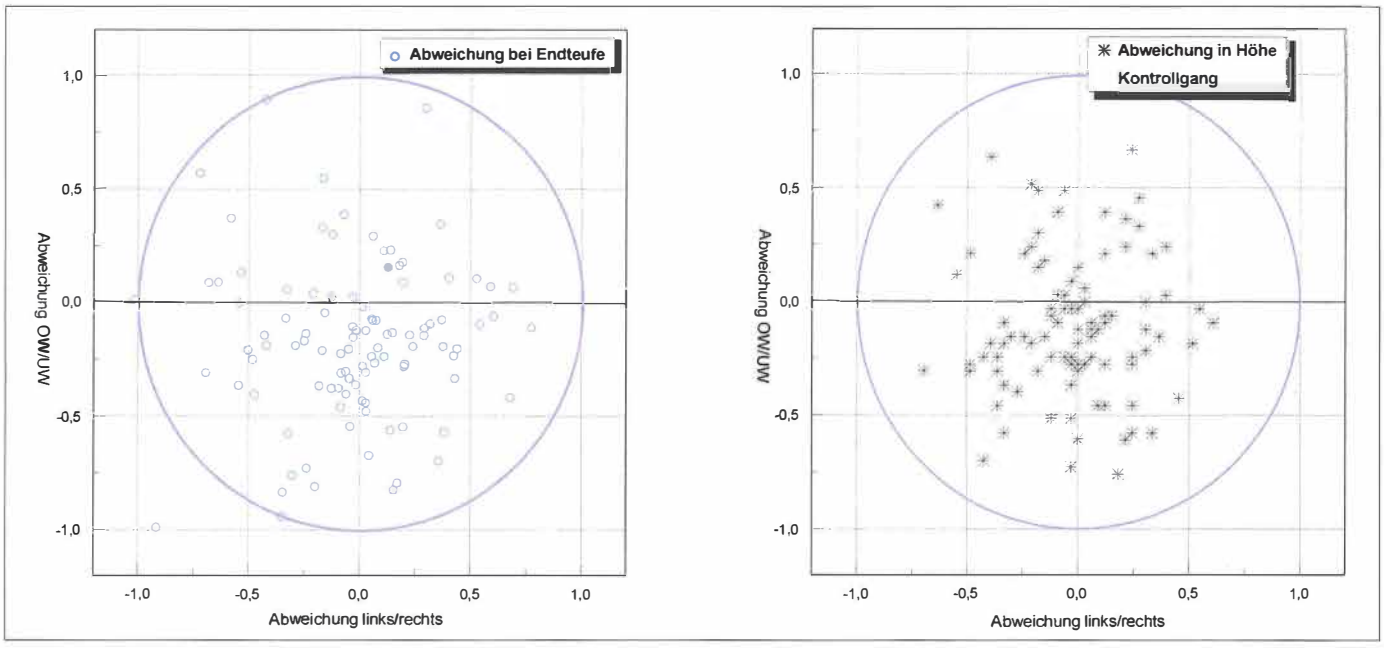


Bild 2: Abweichung von der Bohrlochachse

Stichprobe vom unteren Kontrollgang in eine bestehende Ankerbohrung bestätigte die Meßergebnisse.

Nach Abteufen der Bohrungen wurden die Bohrlöcher mit Zementsuspension verpreßt (siehe Beitrag 17).

Die Einpressungen erfolgten kontinuierlich im Tag- und Nachtschichtbetrieb vom Bohrlochtiefsten ausgehend nach oben. Die Verpreßabschnitte wurden mit Einfachpackern begrenzt. Ein Schwerpunkt der Überwachungstätigkeit lag in diesen Injektionsarbeiten. Eine Überschreitung der maximalen Verpreßdrücke hätte schwerwiegende Schäden im Mauerwerk oder in der Gründungssohle verursachen können. Die Verpreßdrücke, der W/Z-Wert (Mischungsverhältnis Wasser zu Zement), die Wartezeiten, die Abbruchkriterien u.ä. waren aufgrund der Erfahrungen aus den Vorversuchen festgelegt worden. Durch eine Bauüberwachung rund um die Uhr konnten diese Vorgaben variiert und der angetroffenen geologischen Situation angepaßt werden. Der Druck und die Menge wurden während der Verpreßzeit automatisch aufgezeichnet. Insgesamt wurden in mehr als 2000 Verpreßstunden 100 t Zement in das Gebirge und das Mauerwerk injiziert. Im Bild 3 sind die aufgebrachten Verpreßdrücke und die mittleren Zementaufnahmemengen dargestellt.

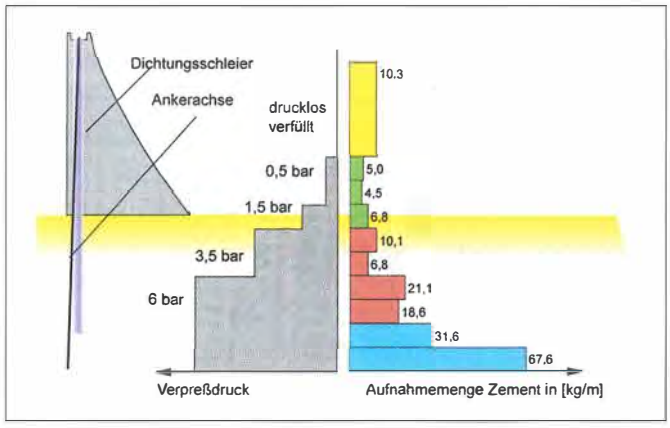


Bild 3: Verpreßdrücke und mittlere Zementaufnahmen

Die injizierten Bohrlöcher wurden in einem weiteren Arbeitsschritt mit einem Rollenmeißel aufgebohrt und anschließend mit einem Imlochhammer von 146 mm auf 273 mm aufgeweitet. Die Hammerkrone war mit einem Pilotdorn versehen, um die Einhaltung der ursprünglichen Bohrachse zu gewährleisten.

Im Anschluß an die Aufweitung wurde die Vergütung der Bohrlöcher mit Hilfe von WD-Tests überprüft. Diese wurden unter Verwendung eines Einfachpackers, mit einem maximalen Verpreßdruck von fünf bar durchgeführt. Die in den WD-Tests aufgebrachten Drücke und die vom Fels und der Mauer aufgenommene Wassermenge wurden mit einem Schreiber aufgezeichnet. Als Einbaukriterium für die Anker war eine Aufnahmemenge von weniger als ein Liter pro Minute bei einem Druck von einem bar über die gesamte Krafteintragungslänge von 10 m vorgegeben. Dieses Kriterium wurde lediglich bei acht von 104 Bohrungen nicht erfüllt. Diese Bohrungen wurden im Bereich der Krafteinleitungsstrecke nachverpreßt. Nach Überprüfung durch einen weiteren WD-Test konnte die Fachbauüberwachung die Bohrlöcher zum Einbau der Anker freigeben.

4 Überwachung der Ankerfertigung

Das tragende Element der Instandsetzung sind die 104 Dauerfelsanker. Bei diesem Ankertyp werden die Ankerkräfte mit einem Ankerkopf über einen Lastverteilungsbalken aus Stahlbeton in das Mauerwerk und am Ankerfuß über eine Verpreßstrecke in den Untergrund eingeleitet. Die Kraftübertragung vom Ankerkopf zum Ankerfuß erfolgt durch 34 Spanndraht-Litzen ST 1570/1770 mit je 150 mm² Nennquerschnitt. Jede einzelne Litze besitzt in der freien Ankerlänge eine Umhüllung aus Korrosionschutzfett und einen Kunststoffmantel (PE). Das Litzenbündel wird in der freien Ankerlänge von einem 11,4 mm starken PE-Glattrohr (∅ 200 mm) und im Bereich der Krafteintragungsstrecke mit einem gerippten PE-Rohr ummantelt (vgl. Bild 4). Der Übergang zwischen dem PE-Glattrohr und dem PE-Ripprohr wird von innen mit einer Stahlmuffe gestützt und von außen mit einem aufgeschrumpften Kunststoffschlauch abgedichtet.

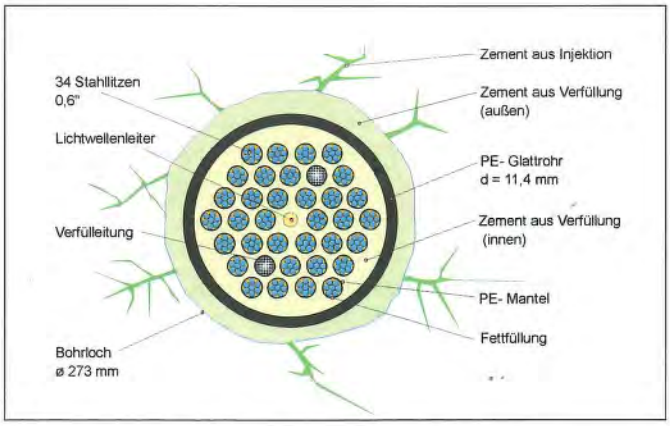


Bild 4: Schnitt im Bereich der freien Ankerlänge

Grundlage für die konstruktive Ausbildung des Ankers sind die DIN 4125 [2] und eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, die jedoch keine Gültigkeit für die hohe Gebrauchslast von 4500 kN hatte. Aus diesem Grund war eine Zustimmung im Einzelfall durch die WSV unter Einschaltung des Institutes für Bautechnik in Berlin erforderlich. In der Zulassung sind die Anforderungen für die erforderlichen Ankerkomponenten und notwendigen Arbeitsschritte zur Herstellung detailliert beschrieben. Das Dokumentationswesen wurde erweitert und an die europaweit geltenden Normen zur Qualitätssicherung ISO 9000 ff. [3] angepaßt.

Die DIN 4125 und die Zulassung verlangen für Anker diesen Typs ein Überwachungssystem bestehend aus einer Fremd- und Eigenüberwachung. Die Eigenüberwachung des Ankerherstellers, in diesem Fall die Firma SUSPA, prüft in Eigenverantwortung und nach Vorgaben der Zulassung, die verwendeten Bauteile und die erforderlichen Arbeitsschritte. Die mit der Ausführung und Prüfung betrauten Mitarbeiter der Firma zeichnen ihre Prüfergebnisse in Protokollen ab.

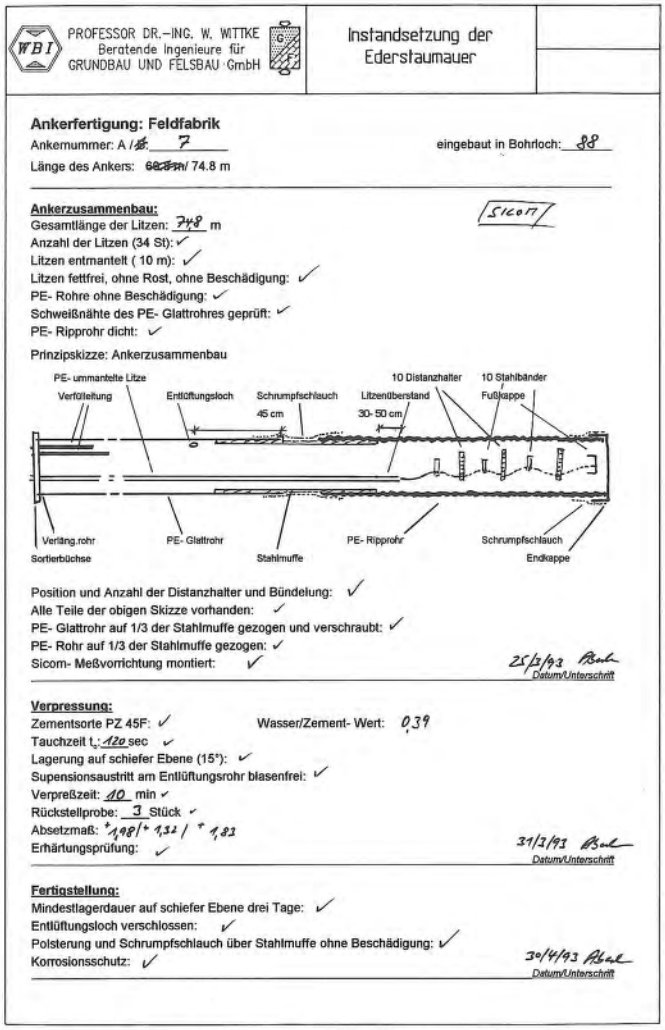
Der Fremdüberwacher, hier das Materialprüfungsamt für Bauwesen der TU München, formuliert und überprüft das Eigenüberwachungssystem der ausführenden Firma und kontrolliert stichprobenartig Material und Montage.

Das bestehende Kontrollsystem aus Fremd- und Eigenüberwachung wurde von einer ständigen Überwachung durch WBI ergänzt. Ziel der ständigen Überwachung war eine lückenlose Kontrolle eines jeden Ankers von der Anlieferung der Ankerkomponenten auf der Baustelle über die Montage, den Einbau und das Spannen bis zu den abschließenden Korrosionsschutzmaßnahmen. Nachverbesserungen waren in der Bauzeit nur beschränkt möglich und sollten deshalb auf ein Minimum beschränkt werden. Die Montage der Anker wurde in einzelne Schritte gegliedert, die jeweils von der Fachbauüberwachung mit einer Checkliste abgenommen und protokolliert wurden (siehe Bild 5). Diese Abnahmen mußten in die laufende Ankerproduktion eingepaßt werden, ohne dabei den Arbeitsablauf zu hemmen oder zu stören.

Da die Anker aufgrund ihrer Länge von 70 bzw. 75 m und ihres Gewichts von rd. 4 t weder auf der Straße noch auf der Bahn transportiert werden konnten, wurden sie in einem Baustellenwerk unmittelbar neben der Staumauer zusammengebaut. Durch die enge Verzahnung zwischen Montage und Einbau war eine schnelle Rückkopplung zwischen Produktion und Einbau möglich, so daß notwendige Änderungen im Bauablauf sofort umgesetzt werden konnten.

Die Ankerkomponenten wurden im Herstellerwerk in Königsbrunn vorbereitet und auf der Baustelle angeliefert. Hier wurden die Ankerbestandteile auf Beschädigungen und Maßhaltigkeit überprüft. Beispielsweise wurden die Ripprohre von innen her durchleuchtet, um kleinste Risse oder Löcher festzustellen.

Die PE-Glattrohre wurden ungerollt in drei Teilen angeliefert und auf der Baustelle mit einem Heizspiegelschweißgerät miteinander verschweißt. Die Stahllitzen wurden auf Trommeln angeliefert und einzeln in das PE-Glattrohr eingeschoben. In der Krafteintragungsstrecke wurden Distanzhalter und Bündelungselemente für eine optimale Mörtelausbreitung zwischen den Litzen angeordnet. Zuvor erfolgte die genaue Kontrolle, ob die Litzen der Krafteintragungsstrecke auch tatsächlich völlig frei von Fett und Flugrost waren. Mögliche Fettreste wurden mit Spiritus entfernt.


PROFESSOR DR.-ING. W. WITTKE
Beratende Ingenieure für
GRUNDBAU UND FELSBAU GmbH

Instandsetzung der
Ederstaumauer

Ankerfertigung: Feldfabrik

Ankernummer: A / 7 — eingebaut in Bohrloch: 88

Länge des Ankers: ~~68.75 m~~ / 74.8 m

Ankerzusammenbau: SICON

Gesamtlänge der Litzen: 748 m
Anzahl der Litzen (34 St): ✓
Litzen entmantelt (10 m): ✓
Litzen fettfrei, ohne Rost, ohne Beschädigung: ✓
PE- Rohre ohne Beschädigung: ✓
Schweißnähte des PE- Glattrohres geprüft: ✓
PE- Ripprohr dicht: ✓

Prinzipskizze: Ankerzusammenbau

Position und Anzahl der Distanzhalter und Bündelung: ✓
Alle Teile der obigen Skizze vorhanden: ✓
PE- Glattrohr auf 1/3 der Stahlmuffe gezogen und verschraubt: ✓
PE- Rohr auf 1/3 der Stahlmuffe gezogen: ✓
Sicom- Meßvorrichtung montiert: ✓ 25/3/93 Datum/Unterschrift

Verpressung:

Zementsorte PZ 45F: ✓ Wasser/Zement- Wert: 0,39
Tauchzeit t: 120 sec ✓
Lagerung auf schiefer Ebene (15°): ✓
Supensionsaustritt am Entlüftungsrohr blasenfrei: ✓
Verpreßzeit: 10 min ✓
Rückstellprobe: 3 Stück ✓
Absetzmaß: +1,98/+1,32/+1,83
Erhärtungsprüfung: ✓ 31/3/93 Datum/Unterschrift

Fertigstellung:

Mindestlagerdauer auf schiefer Ebene drei Tage: ✓
Entlüftungsloch verschlossen: ✓
Polsterung und Schrumpfschlauch über Stahlmuffe ohne Beschädigung: ✓
Korrosionsschutz: ✓ 30/4/93 Datum/Unterschrift

Bild 5: Beispiel für eine Checkliste

Nachdem das Ripprohr aufgezogen und mit der freien Ankerlänge verbunden war, wurde die Krafteintragungsstrecke auf einer geneigten Verpreßebene mit Zementmörtel vollständig verfüllt (vgl. Bild 6). Dies war dann erreicht, wenn der Zementmörtel blasenfrei aus einer Kontrollbohrung oberhalb der Stahlmanschette austrat.

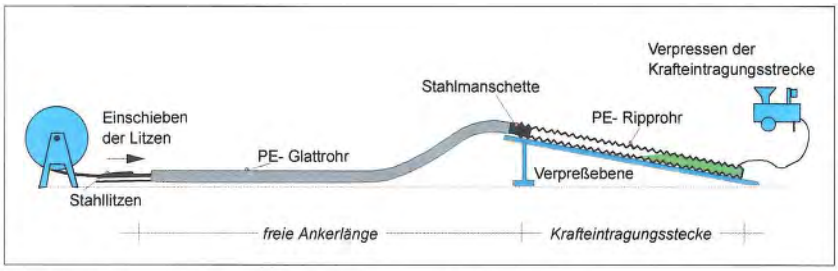


Bild 6: Schematische Darstellung der Ankerherstellung

5 Transport, Einbau und Spannen der Anker

Von der Herstellung bis zum Einbau der Anker war die Krafteintragungslänge gegen mechanische Beschädigung durch eine zusätzliche Umhüllung mit Folien geschützt. Die Anker wurden mit Transportrollen zum Bohransatzpunkt auf der Mauerkrone verfahren. Zum anschließenden Einbau wurde der Anker mit einem speziell entwickelten Einbaurahmen und einem Mobilkran in das Bohrloch eingelassen (vgl. Bild 7).

Bild 7: Ankereinbau mit Mobilkran und Einbaurahmen

Dabei verhinderten die am Anker angebrachten Abstandshalter eine Beschädigung des äußeren Hüllrohrs durch die rauhe Bohrlochwandung. Beim Einbau wurde noch einmal die Ankerhülle auf eventuelle Beschädigungen überprüft.

Während des Einbaus wurde der Raum zwischen den Litzen innerhalb des PE-Glattrohres im Bereich der freien Ankerlänge mit Zementmörtel verfüllt. Damit sollte ein Einbeulen des Hüllrohres durch den Wasserdruck im Bohrloch vermieden werden. Über vorher montierte Verpreßleitungen wurde schließlich der Ringraum zwischen dem Anker und der Bohrlochwand im Bereich der Krafteintragungslänge mit Zementsuspension verfüllt. Das verbliebene Restwasser wurde dabei nach oben verdrängt. Der komplette Einbau einschließlich Transport zum Bohrloch dauerte im Mittel 6 Stunden.

Das Anspannen der Anker erfolgte vom oberen Kontrollgang aus mit einer hydraulischen Presse. Jede Litze wurde in der Ankerplatte verkeilt. Bei der Abnahmeprüfung mit der 1,5 fachen Gebrauchslast wurden die Dehnwege der Litzen gemessen. Nach der Abnahmeprüfung wurden die Anker zunächst auf 50 % der Gebrauchslast festgelegt. Nach dem Anspannen aller Anker auf diesen Wert wurden die Vorspannkräfte auf 80 % und erst im dritten Durchgang auf die volle Gebrauchslast erhöht. Durch die stufenweise Erhöhung der Vorspannkräfte sollte die Krafteintragung in Mauerlängsrichtung gleichmäßig erfolgen. Zur kontinuierlichen Überwachung der Ankerkräfte wurden 10 der 104 Anker mit Druckmeßdosen und Lichtwellenleitern versehen (siehe Beitrag 7).

Bild 8: Ankerspannen im oberen Kontrollgang

6 Schlußbemerkung

Die Verankerung der Staumauer mit Vorspannankern gegen den Felsuntergrund führt zu einer den heutigen Anforderungen entsprechende Standsicherheit der Mauer für weitere 80 - 100 Jahre.

Die Baumaßnahmen haben gezeigt, daß hochtragfähige Anker auch unter Baustellenbedingungen hergestellt werden können. Voraussetzung hierfür ist eine fachgerechte und sorgfältige Ausführung aller Arbeitsschritte sowie eine kontinuierliche Überwachung derselben bis zum letzten Arbeitsgang.

Literatur

[1] *Rinne/Mittag, Statistische Methoden der Qualitätssicherung, Hanser, München*

[2] *DIN 4125, Kurzzeitanker und Daueranker, November 1990*

[3] *ISO 9000, Qualitätsmanagements- und Qualitätssicherungsnormen, Mai 1990*