

VERÖFFENTLICHUNGEN

des Institutes für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
der RWTH Aachen

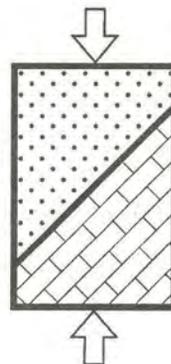
Herausgegeben von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittke

Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittke

Heft 26
Aachen 1994



SANIERUNG DER EDERSTAUMAUER

Dipl.-Ing. Bernd Aberle
WBI Aachen

1. Einleitung

Zur Speisung des Mittellandkanales wurde von 1908 bis 1914 die Ederstaumauer als gekrümmte Schwergewichtsmauer errichtet (Bild 1). Die Mauer ist zu gleichen Teilen auf unterkarbonischem Tonschiefer und auf Grauwacke gegründet. Für das Bruchsteinmauerwerk wurden Grauwacke und Trasszement verwendet. Der Querschnitt der Mauer, der an der Sohle eine Breite von 36 m und an der Krone von 6 m aufweist, ist relativ schlank ausgebildet.

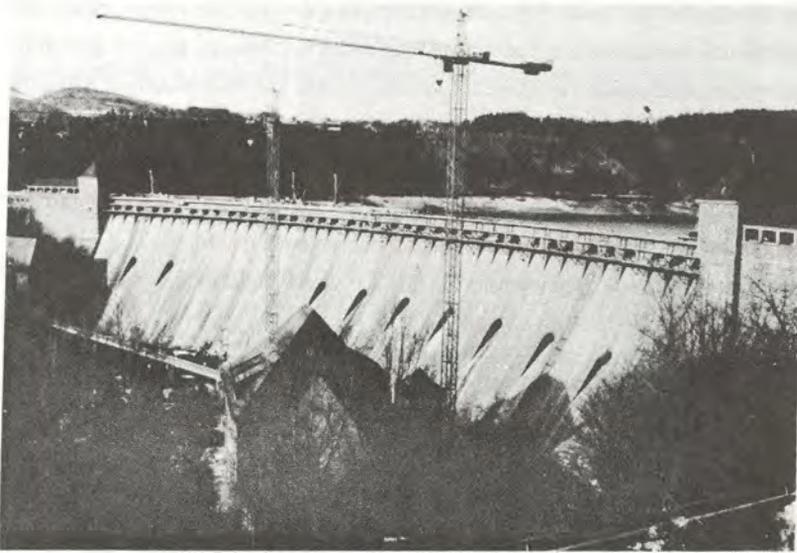


Bild 1: Die Ederstaumauer

Im Mai 1943 wurde die Mauer durch eine Fliegerbombe teilweise zerstört und im gleichen Jahr wieder instandgesetzt. In den Jahren 1946/1947 und 1961/1962 sind Injektionsmaßnahmen zur Verringerung der Durchlässigkeit der Mauer und des Untergrundes durchgeführt worden.

Mit einem Speichervolumen von 202,4 Mio. m³ zählt der Edersee zu den größten Stauseen der Bundesrepublik Deutschland. Die Stauanlage wird durch das Wasser- und Schiffsamt (WSA) Hann. Münden im Auftrag des Bundes verwaltet.

Durch die Einführung neuer Richtlinien wurden die Anforderungen an die Standsicherheit von Abperrbauwerken verschärft. Der Nachweis der Standsicherheit der Ederstaumauer war damit nur mit abgesenktem Stauziel oder mit zusätzlichen Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit zu führen.

Da das ursprüngliche Stauziel beibehalten werden sollte, wurden umfangreiche Maßnahmen notwendig. Diese Arbeiten wurden im Oktober 1991 begonnen und dauern vermutlich bis zum April 1994 an.

2. Statische Berechnungen

Anfang der 80iger Jahre wurden die Schwergewichtsmauern der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf ihre Standsicherheit untersucht. Die Überprüfung der Ederstaumauer ergab, daß die ursprünglich getroffenen Annahmen zur statischen Berechnung der Mauer - keine Wasserdrücke in der Mauer und in der Gründungssohle - nicht mehr zutreffend waren. Die Standsicherheit war damit für den Volleinstau rechnerisch nicht mehr nachzuweisen. Als erste Maßnahme wurde deshalb der Stauspiegel um 1,5 m abgesenkt. Als Grundlage für den Entwurf weiterer Maßnahmen wurden statische Berechnungen von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) durchgeführt, die vom Ingenieurbüro Prof. Wittke (WBI) auf der Grundlage numerischer Berechnungsverfahren nach der Methode der finiten Elemente geprüft wurden. Das verwendete dreidimensionale FE-Netz ist auf Bild 2 dargestellt.

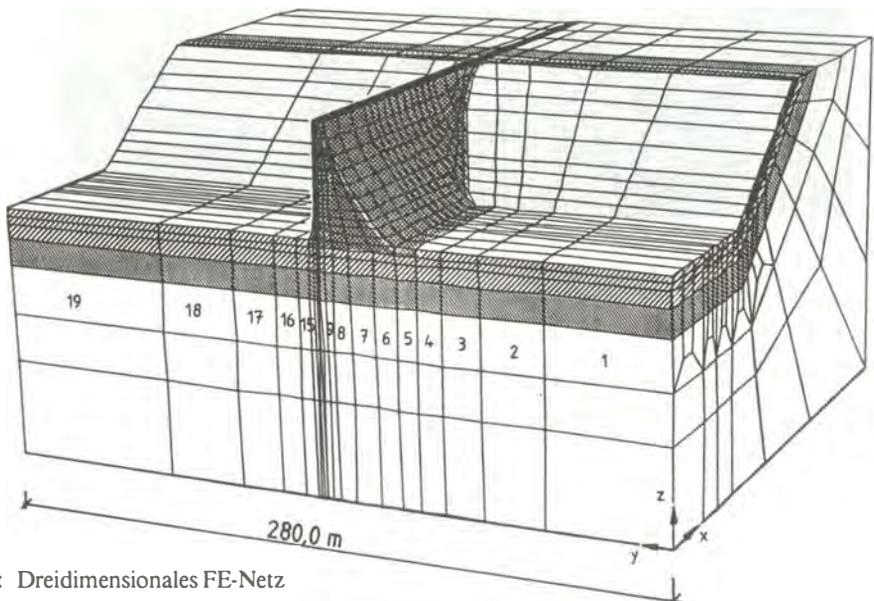


Bild 2: Dreidimensionales FE-Netz

Die Berechnungsergebnisse zeigten, daß die in der Mauer und in der Sohle wirksamen Wasserdrücke durch ein höheres Eigengewicht der Mauer kompensiert werden können. Hierzu sind jedoch zwischen den beiden Torhäusern der Mauer zusätzliche Lasten von 2000 kN pro lfd. Meter aufzubringen.

3. Sanierungskonzepte

Mit der Sanierung der Mauer sollte die volle Gebrauchsfähigkeit für die nächsten 80 - 100 Jahre sichergestellt und eine Anpassung des Bauwerkes an die heute geltenden anerkannten Regeln der Technik erreicht werden. Die Funktionsfähigkeit der Talsperre sollte während der Baumaßnahme so wenig wie möglich eingeschränkt werden. So mußte beispielsweise die Wasserregulierung im Oberlauf der Weser zur Aufrechterhaltung der Schifffahrt gewährleistet sein. Zusätzlich wurde eine kurze Bauzeit und eine möglichst geringe Beeinträchtigung des Fremdenverkehrs und der umliegenden Bevölkerung angestrebt. Die Belange des Denkmalschutzes sollten hinsichtlich der Beibehaltung des äußeren Erscheinungsbildes der Mauer in die Planung einbezogen werden. Diese Vorgaben ließen nur eine Teilabsenkung des Stausees zu.

Im Vorfeld wurden vier unterschiedliche Sanierungskonzepte untersucht (vgl. Bild 3).

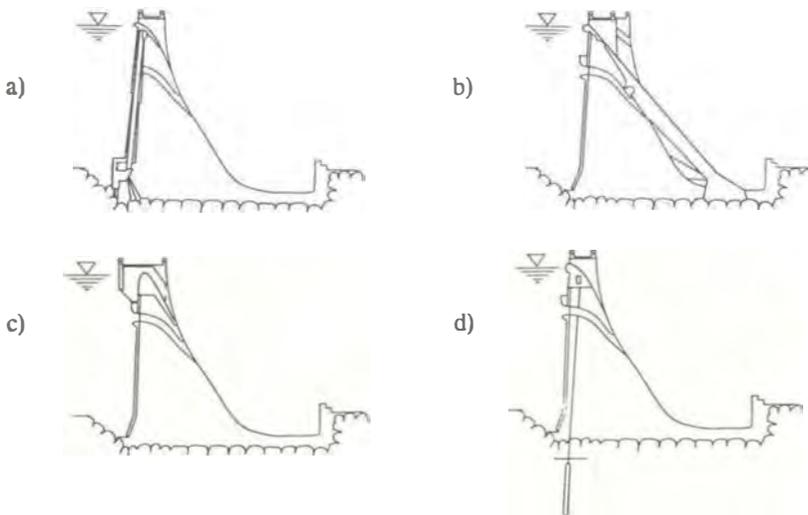


Bild 3: Sanierungskonzepte (aus Prospekt des WSA "Bauarbeiten an der Ederstaumauer")

- a) Abdichtung des Untergrundes durch einen Injektionsschleier und der Mauer durch eine Voratzschale
- b) Abstützungen zur Luftseite
- c) Erhöhung des Eigengewichtes der Mauer durch Auflast auf der Krone
- d) Verankerung der Mauer im Fels mit Dauerankern

Zu diesen Konzepten wurden mehrere Varianten und Sondervorschläge untersucht.

Unter anderem, auch aus wirtschaftlichen Gründen, kam eine Lösung mit 104 Dauerfelsankern zur Ausführung, mit denen die Mauer im Untergrund verankert wurde. Zur Einleitung der Vorspannkräfte mußte hierzu ein Lastverteilungsbalken im Bereich der Mauerkrone neu errichtet werden. Bei dem gewählten Ankertyp handelt es sich um Vorspannanker des Systems Stump/VSL mit einer zulässigen Ankerkraft von 4575 kN. Die Gebrauchslast der zwischen den beiden Torhäusern in einem Abstand im Mittel von 2,25 m angeordneten Anker wurde zu 4500 kN ermittelt. Die Länge der Krafteintragungsstrecke wurde zu 10 m gewählt.

Die Herstellung des Lastverteilungsbalkens machte den Abriß der Mauerkrone erforderlich. Im Rahmen dieser Maßnahmen wurde die Hochwasserentlastung an die Anforderungen der DIN 19702 angepaßt. Diese Norm verlangt die Berücksichtigung eines 1000jährigen Hochwasserereignisses, daß hier mit $1100 \text{ m}^3/\text{sec}$ berechnet wurde. Die vorhandenen Hochwasserüberläufe (vgl. Bild 4) waren mit $590 \text{ m}^3/\text{sec}$ nur für ein hundertjähriges Hochwasserereignis ausgelegt.

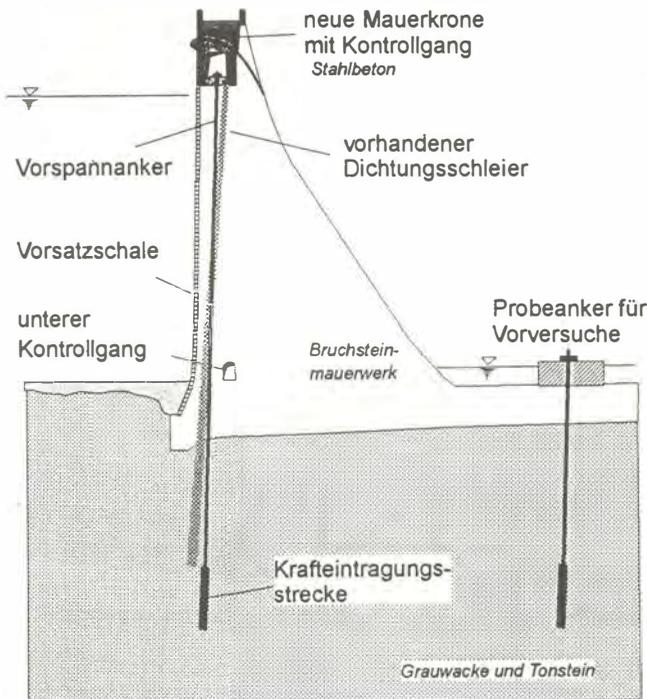


Bild 4: Querschnitt durch die Staumauer

4. Vorversuche

Aufgrund der erforderlichen hohen Tragfähigkeit der vorgesehenen Anker wurden vom Dezember 1991 bis Februar 1992 umfangreiche Vorversuche zur Eignung der Anker und besonders zu der Eintragung der Vorspannkräfte in den Untergrund durchgeführt.

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

5. Baudurchführung

Zur Herstellung des Lastverteilungsbalkens wurde ein Teil der alten Mauerkrone mittels Vorspaltsprengung vom verbleibenden Baukörper getrennt und der abzutragende Teil durch Lockerungssprengungen für den Abtrag vorbereitet (vgl. Bild 5, a). Die luftseitige Fassade blieb dabei stehen, um die alten Sandsteinbögen über der Hochwasserentlastung zu erhalten. Anschließend wurde der Lastverteilungsbalken (b) und darüber der obere Kontrollgang (c) hergestellt. Nach Fertigstellung der Überlaufkrone (d) wurden die Pfeiler (e) für die spätere Fahrbahn (f) betoniert. Die Sandsteinbrüstung wurde, soweit möglich, mit Originalsteinen wieder aufgebaut. Abschließend wurde die wasserseitige Fassade der erneuerten Mauerkrone mit Bruchsteinen verkleidet.

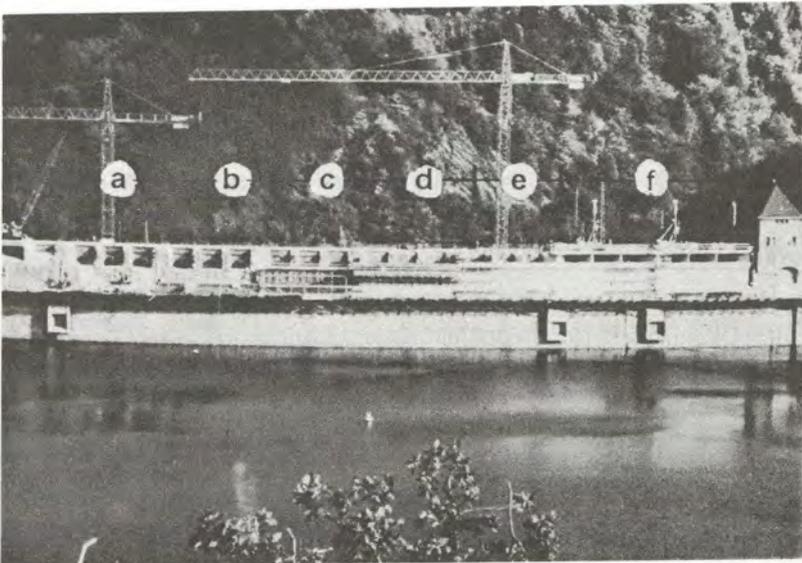


Bild 5: Ansicht der Mauer von der Wasserseite

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

Die Vorversuche hatten gezeigt, daß eine gegenseitige Beeinflussung der Bohr- und Verpreßarbeiten an benachbarten Bohrlöchern zu erwarten war. Deshalb wurde im Pilgerschrittverfahren gebohrt und injiziert. Die einzelnen Arbeitsschritte zur Herstellung der Bohrungen sind auf dem Bild 6 skizziert.

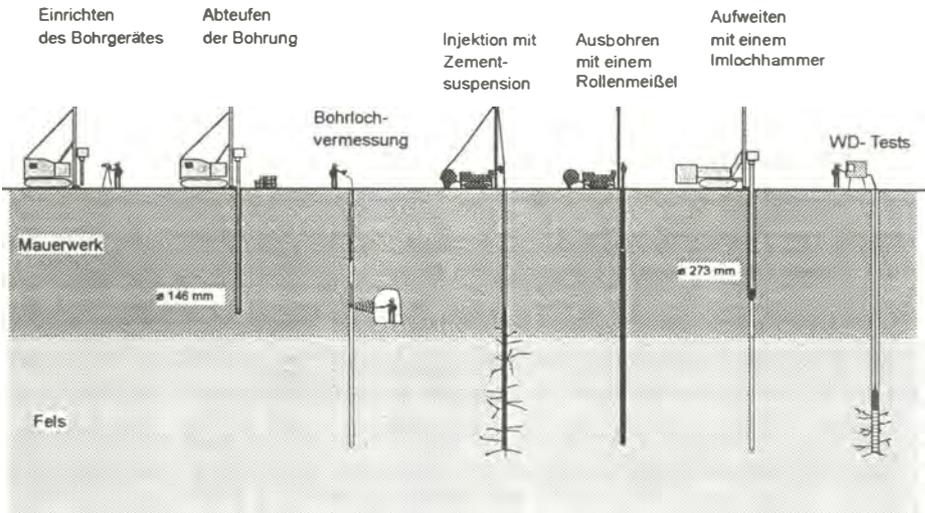


Bild 6: Schematische Darstellung der Bohr- und Injektionsarbeiten

Die gewonnenen Bohrkern wurden fotografiert und kartiert. Dabei zeigte sich, daß der Mörtel des Mauerwerks weder ausgelaugt noch verwittert war. Die Erkundungsergebnisse zeigten weiterhin, daß der Fels unter der Gründungssohle häufig kleinstückig zerlegt war. Die Trennflächen und Schichtfugen wiesen rostbraune Bestege auf.

Reste des alten Dichtungsschleiers aus den Injektionsmaßnahmen von 1946/47 und 1961/62 konnten nachgewiesen werden.

Aufgrund der geringen Wandstärke von ca. 2 m zwischen der vorhandenen Vorsatzschale und dem unteren Kontrollgang (vgl. Bild 4) wurde vom Auftraggeber die Einhaltung einer Bohrlochabweichung von weniger als 1 % der jeweiligen Bohrtiefe gefordert. Das heißt, daß zum Beispiel nach 40 Bohrmeter die Bohrachse nicht mehr als 40 cm von der Sollachse abweichen durfte. Mit modernen Bohrgeräten, einem abgestimmten Bohrregime und einer erfahrenen Bohrmannschaft konnte eine Bohrlochabweichung im Mittel von 0,36 % auf Höhe des Kontrollgangs und 0,45 % bei Endteufe erreicht werden. Die Bohr-

lochachse wurde mit einer Bohrlochsonde (Maxibor) vermessen. Zusätzlich wurde die Lage der Bohrungen mit einem Sender im Bohrloch und einem Empfänger im unteren Kontrollgang bestimmt.

Aus den Zwangspunkten für die Bohrungen auf Höhe des unteren Kontrollganges und des Lastverteilungsbalkens ergab sich eine erforderliche Neigung der Bohrachse von $3,2^\circ$ zur Vertikalen in Richtung der Wasserseite. Da die Bohrachse den alten Dichtungsschleier damit schneidet, wurden die Bohrlöcher auf der gesamten Länge mit einer Zementsuspension injiziert. Weiterhin wurde mit dieser Injektion eine Verbesserung und Abdichtung des anstehenden Gebirges, eine Reduzierung des Wasserzutritts an den Ankern und eine Vermeidung des Nachfalls aus der Bohrlochwand erreicht.

Die Einpressungen erfolgten kontinuierlich im Tag- und Nachtbetrieb vom Bohrlochtiefsten ausgehend nach oben. Die Verpreßabschnitte wurden mit Einfachpackern begrenzt. Auf vorhergehende WD-Tests wurde verzichtet, da aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche im Allgemeinen von einer Zementaufnahme auszugehen war.

Im Bild 7 sind die durchschnittlichen Zementaufnahmen je Bohrloch in den einzelnen Verpreßabschnitten angegeben. Insgesamt wurden 100 t Zement in das Gebirge und das Mauerwerk injiziert.

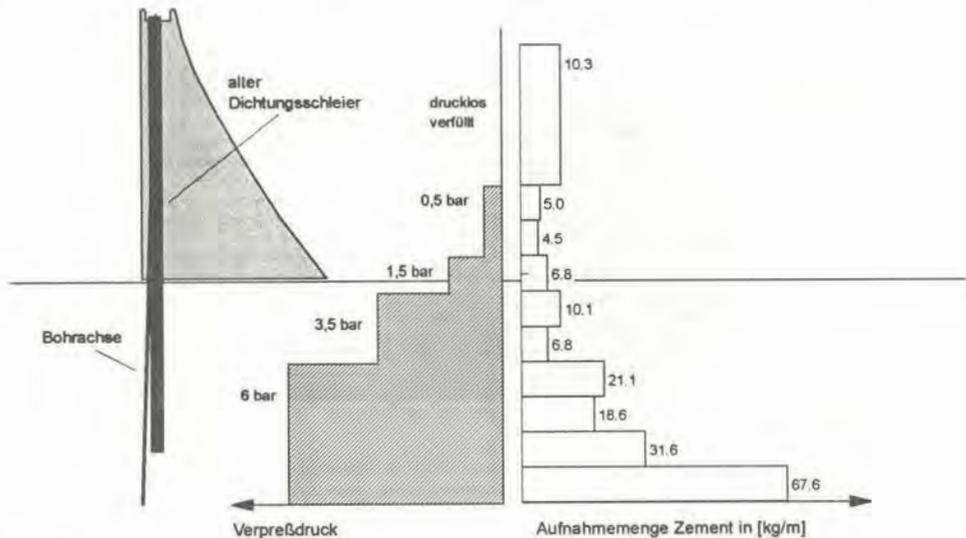


Bild 7: Durchschnittliche Zementaufnahme

Die verfüllten Bohrlöcher wurden mit einem Rollenmeißel aufgebohrt und anschließend mit einem Im-Loch-Hammer 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 geprüft. Die WD-Tests wurden unter Verwendung eines Einfachpackers, mit einem maximalen Verpreßdruck von fünf bar, durchgeführt. Als Einbaukriterium für die Anker war eine Aufnahmemenge von weniger als ein Liter pro Minute bei einem Druck von einem bar über die gesamte Krafteintragsstrecke von 10 m vorgegeben. Dieses Kriterium wurde lediglich bei acht von 104 Bohrungen nicht erfüllt. In diesen Bohrungen wurde nachinjiziert.

6. Ankerfertigung

Jeder Anker besteht aus 34 Spanndraht-Litzen ST 1570/1770 mit je 150 mm^2 Nennquerschnitt (vgl. Bild 8). Jede einzelne Litze besitzt in der freien Ankerlänge eine Umhüllung aus Korrosionsschutzfett und einen Kunststoffmantel (PE). Das Litzenbündel wird in der freien Ankerlänge von einem 11,4 mm starken PE-Glattrohr ($\varnothing 200 \text{ mm}$) und in der Krafteintragsstrecke mit einem gerippten PE-Rohr ummantelt. 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.

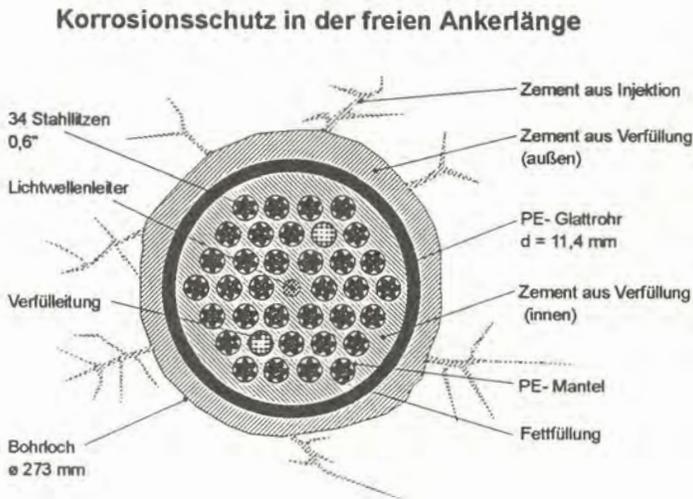


Bild 8: Schnitt durch den Anker

Grundlage für die konstruktive Ausbildung des Ankers sind die DIN 4125 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 das Institut für Bautechnik in Berlin erforderlich.

Die Länge von 70 m bzw. 75 m und das Gewicht von 4 t pro Anker erforderten eine Montage der Anker in einem Baustellenwerk unmittelbar neben der Staumauer. Die Stahllitzen wurden auf Trommeln angeliefert und einzeln in das PE-Glattrohr eingeschoben. In der Krafteintragungsstrecke wurden Distanzhalter für eine optimale Mörtelausbreitung zwischen den Litzen angeordnet. Nachdem das Ripprohr aufgezogen und mit der freien Ankerlänge verbunden war, wurde die Krafteintragungsstrecke auf einer geeigneten Verpreßebene mit Zementmörtel verfüllt (vgl. Bild 9).

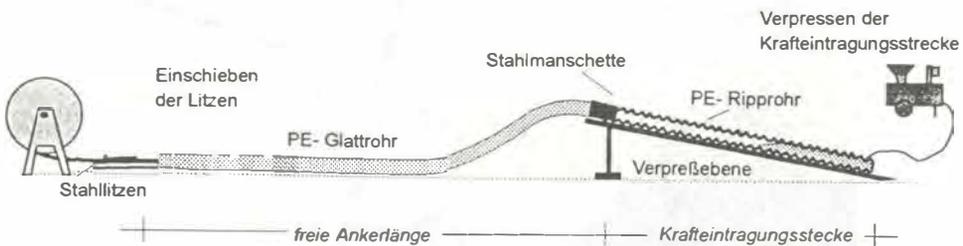


Bild 9: Ankermontage

Die besonderen Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich der Dauer bei voller Gebrauchsfähigkeit der Mauer von 80 - 100 Jahren erforderten einen hohen Qualitätsstandard der Anker und einen sorgfältigen Korrosionsschutz. Die nach DIN 4125 geforderte Fremd- und Eigenüberwachung der Ankerherstellung wurde deshalb durch ein zusätzliches Kontrollsystem, der Fachbauüberwachung durch WBI, ergänzt. Ziel war eine lückenlose Überwachung der Produktion, des Einbaus und Spannens der Anker.

Die Montage der Anker wurde in einzelne Schritte gegliedert, die jeweils von der Fachbauüberwachung abgenommen wurden. Die einzelnen Ankerkomponenten wurden auf Beschädigungen und Maßhaltigkeit überprüft. Beispielsweise wurden die Ripprohre durchleuchtet, um kleinste Risse oder Löcher festzustellen.

7. Transport, Einbau und Spannen der Anker

Von der Herstellung bis zum Einbau der Anker war die Krafteintragungsstrecke gegen mechanische Beschädigung durch eine zusätzliche Umhüllung mit Folien geschützt. Die Anker wurden mit Trans-

portrollen 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 10). Dabei verhinderten die am Anker angebrachten Abstandshalter eine Beschädigung des äußeren Hüllrohres durch die raue Bohrlochwandung. Mit vorher montierten Verpreßleitungen wurde sodann die Krafteintragungsstrecke und der Ringraum zwischen dem Anker und der Bohrlochwand mit Zementsuspension verfüllt. Der Raum zwischen den Litzen innerhalb des PE-Glattrohres in der freien Ankerlänge wurde beim Einbau mit Zementmörtel verfüllt.

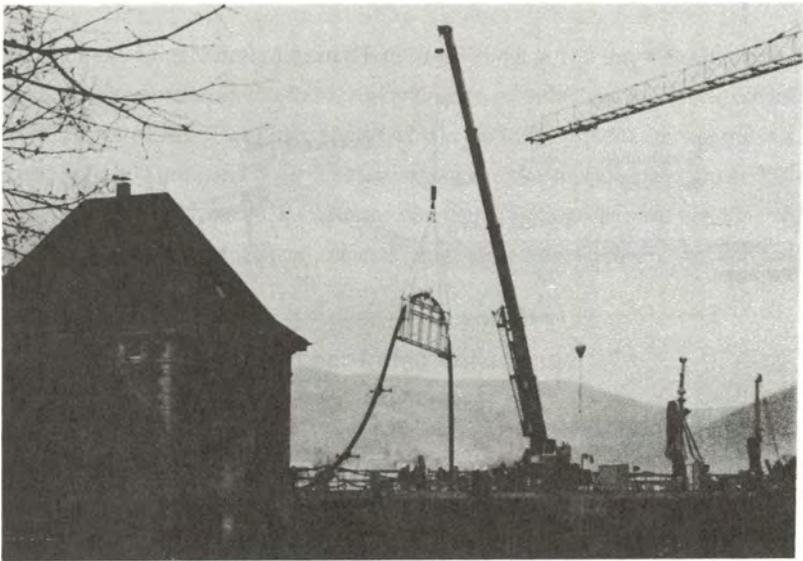


Bild 10: Ankereinbau

Das Anspannen der Anker erfolgte vom oberen Kontrollgang aus mit einer hydraulischen Presse, wobei die Litzen in der Ankerplatte verkeilt wurden. Nach der Abnahmeprüfung mit dem 1,5fachen der Gebrauchslast wurden die Anker zunächst auf 50 % der Gebrauchslast festgelegt. Nach dem Anspannen aller Anker auf diesen Wert wurden die Vorspannkkräfte dann auf 80 % und erst im dritten Durchgang auf die volle Gebrauchslast erhöht. Durch die stufenweise Erhöhung der Vorspannkkräfte sollte die Krafteintragung in Mauerlängsrichtung gleichmäßig werden.

Zur kontinuierlichen Überwachung der Ankerkräfte wurden 10 der 104 eingebauten Anker mit Druckmeßdosen und Lichtwellenleitern versehen. Mit Hilfe der Lichtwellenleiter können an diesen Ankern, ähnlich einem Extensometer, Längenänderungen innerhalb der Krafteintragungsstrecke gemessen werden. Damit sind Aussagen zur Krafteintragung im Untergrund möglich. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen Abhebeversuche durchgeführt. Ein Nachspannen der Anker ist bei Bedarf möglich.

8. Schlußbemerkung

Die gewählte Sanierungsvariante, die Verankerung der Staumauer mit Vorspannankern gegen den Felsuntergrund, erlaubt die Erhöhung der Standsicherheit der Mauer bei Einhaltung aller Forderungen des Bauherrn für den Zeitraum der Baumaßnahme. Von besonderer Bedeutung war dabei, daß die Einstauhöhe des Edersees während der gesamten Arbeiten nur unwesentlich verringert wurde.

Die ausgeführten Maßnahmen an der Edertalsperre haben weiterhin gezeigt, daß hochtragfähige Anker auch unter Baustellenbedingungen hergestellt werden können. Voraussetzung hierfür ist eine fachgerechte und sorgfältige Ausführung der einzelnen Arbeitsschritte sowie eine kontinuierliche Überwachung.

Weitere Angaben sind einer Festschrift des WSA zu entnehmen. Diese Veröffentlichung wird im Rahmen einer Feierstunde zum Ende der Sanierungsmaßnahmen im Mai 1994 erscheinen.