



# **13. DEUTSCHES TALSPERRENSYMPIOSIUM**

## **Talsperren im 21. Jahrhundert**

**Weimar, Oktober 2004**

### **Die Sanierung der Ruhrverbandstalsperren - Ein Überblick**

**Volker Bettzieche, Christian Heitefuss und Peter Klein**

#### **1 Einleitung**

Die Talsperren des Ruhrverbands sichern die Grundlagen der Wasserversorgung von etwa 5 Millionen Einwohnern im Ballungsraum "Ruhrgebiet".

Die Errichtung dieser Anlagen erfolgte in einem Zeitraum zwischen dem Beginn des 20. Jahrhunderts und dem Jahr 1965, als die größte Talsperre des Ruhrverbands, die Biggetalsperre, in Betrieb ging.

Im Laufe der letzten 15 Jahre wurden die Talsperren des Ruhrverbands systematisch saniert und an die allgemein anerkannten Regeln der Technik angepasst. Diese Arbeiten wurden stets von einer Modernisierung und Anpassung der messtechnischen Überwachungseinrichtungen der einzelnen wasserbaulichen Anlagen begleitet.

Im Zuge dieser Sanierungsmaßnahmen kam eine Reihe von innovativen, technischen Verfahren zur Anwendung, die weltweit einmalig eingesetzt wurden.

Im Folgenden wird über die wichtigsten Sanierungsmaßnahmen und die dabei gewonnenen Erfahrungen berichtet.

## **2 Beispiel Möhnetalsperre – Sanierung der Grundablässe, der Schiebertürme und des luftseitigen Mauerwerks**

Anfang der 90er Jahre hatte sich bei der 1913 fertiggestellten Möhnetalsperre gezeigt, dass an den Grundablässen, Schiebertürmen und dem luftseitigen Bruchsteinmauerwerk grundlegende Instandsetzungsarbeiten erforderlich waren. Das Mauerwerk aller vier Schiebertürme war zunehmend undicht. Die in den Schiebertürmen vorhandenen Verschlussorgane, sowie die Leiter- und Podestgalerien waren durch Korrosion stark geschädigt, so dass ein Austausch unumgänglich war. Untersuchungen durch Taucher in den Einlaufbereichen der Grundablässe zeigten, dass auch das Gewölbemauerwerk der Einlaufstollen geschädigt war.

Das luftseitige Mauerwerk der vorwiegend aus Grauwackesteinen bestehenden Möhnetalsperre war im Laufe des über 80jährigen Betriebs der Talsperren großflächig geschädigt. Schäden an der sehr rau gestalteten Oberfläche des Natursteinmauerwerks werden hervorgerufen durch Temperaturspannungen, Besiedlung mit Pflanzen und schwefelhaltige Niederschläge. Der Zerstörungsprozess beschleunigt sich an diesen Mauerflächen der Talsperre insbesondere dort, wo durch die Mauer sickendes Wasser oberflächennahen Frostbeanspruchungen ausgesetzt ist. In den 20er, 50er und 70er Jahren wurden bereits Teilsanierungs- und Reparaturmaßnahmen an der mittlerweile unter Denkmalschutz stehenden 2,5 ha großen Luftseite der Mauer durchgeführt.

Anfang der 90er Jahre entschied der Ruhrverband die Möhnetalsperre grundlegend zu sanieren. Aufgrund der Bedeutung für die Wasserversorgung des Ruhrgebiets war eine Entleerung oder Teilabsenkung der Möhnetalsperre für die Sanierungsarbeiten nicht möglich.

Darüber hinaus mussten während der Sanierungsarbeiten zur Gewährleistung der Betriebsbereitschaft der Talsperre jederzeit zwei der vier Grundablässe zur Verfügung stehen.

Die Sanierung des luftseitigen Mauerwerks konnte nur in der frostfreien Jahreshälfte zwischen Mai und Oktober ausgeführt werden. Bei den Mauerwerksarbeiten an der Hochwasserentlastung musste darauf geachtet werden, dass die umfangreichen Gerüste nur jeweils 1/3 der Entlastung eindeckten, um sie im Bedarfsfall innerhalb kürzester Zeit wieder zurückbauen zu können.

An den Grundablässen und Schiebertürmen begannen die in drei Abschnitte eingeteilten Sanierungsarbeiten im Jahr 1992. Die Arbeiten dauerten bis zum Jahr 2001 an.

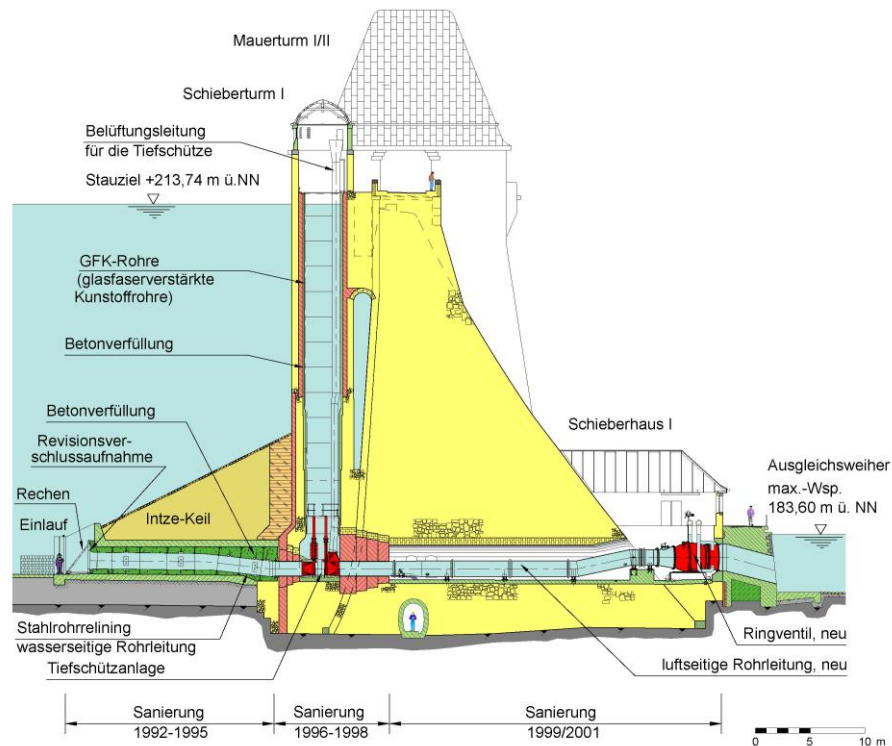


Bild 1: Längsschnitt Grundablass I - Sanierungsabschnitte

Es wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

#### 1. Bauabschnitt: Sanierung der Einlaufstollen

- Stahlrohrrelining im Bereich der Einlaufstollen mit Einbaumöglichkeit für einen Revisionsverschluss
- Einbau schwingungssicherer Grobrechen

Diese Arbeiten mussten komplett durch Taucher ausgeführt werden. Durch Setzen der neuen Revisionsverschlüsse war es dann möglich, die nachfolgenden Arbeiten im Trockenen auszuführen.

#### 2. Bauabschnitt – Sanierung der Schiebertürme

- Abdichtung der Schiebertürme durch den Einbau einer Innenschale aus glasfaserverstärkten Kunststoffrohren (GFK), Durchmesser > 3 Meter
- Ersatz der beiden alten Schieber durch zwei neue Tiefschütze in jedem Turm

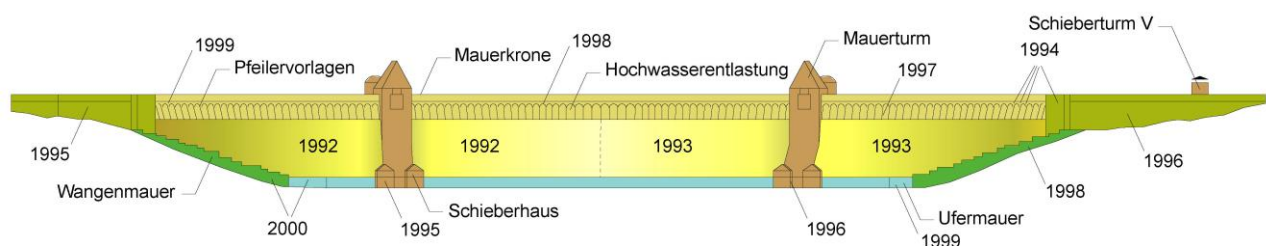
Weltweit zum ersten Mal wurden die Schiebertürme einer Intze-Mauer mit einer wasserdichten Innenschale aus GFK-Rohren abgedichtet. In jedem der vier Schiebertürme wurden 13 GFK-Rohrschüsse eingebaut. Der zwischen dem GFK-Rohr und dem Turmmauerwerk vorhandene Ringraum wurde mit einer Zementsuspension verfüllt. Das GFK-Rohr hat keine statische Funktion, es dient lediglich der Abdichtung. Nach mittlerweile nahezu 10jährigem Betrieb kann festgestellt werden, dass die GFK-Rohre weiterhin eine hundertprozentige Dichtigkeit besitzen. Die GFK-Rohre haben mit Stahl vergleichbare Festigkeitseigenschaften bei geringerem Gewicht. Sie sind leicht zu montieren und haben eine hohe Langzeitbeständigkeit. Im Gegensatz zu Stahl sind keine Korrosionsschutzarbeiten erforderlich.

### 3. Bauabschnitt – Sanierung der luftseitigen Grundablässe

- Ersatz der luftseitigen Rohrleitungen
- Sanierung der luftseitigen Keilovalschieber
- Ersatz der beide alten Ringkolbenventile durch neue, elektromechanisch angetriebene Ringkolbenventile

Mit dem Einbau von Befahranlagen in die vier Schiebertürme im Jahr 2001 endeten die Sanierungsarbeiten in diesem Bereich.

Ebenfalls im Jahr 1992 begannen die Arbeiten zur Instandsetzung des luftseitigen Mauerwerks. Im Wesentlichen wurden bis 2000 folgende Arbeiten ausgeführt:



Jahresangaben beziehen sich auf das Jahr der Instandsetzung !

Bild 2: Staumaueransicht von der Luftseite - Sanierungsabschnitte

- Sanierung von ca. 10.000 m<sup>2</sup> Mauerwerk unterhalb der Hochwasserentlastung durch kleinflächigen Fugen- und Steinersatz mit Hilfe einer Fahrbühne, d.h. ohne stationäres Gerüst
- Einrüstung der beiden 37 m hohen und 13 m breiten Mauertürme und Beseitigung von Mauerwerksschäden insbesondere an den Ecken der Türme
- Aufbau einer speziell entwickelten stationären Rüstung zur Mauerwerkssanierung im Bereich der Pfeilervorlagen der Hochwasserentlastung, die direkt unterhalb der Pfeiler ansetzte und bis zur Mauerkrone reichte.
- Grundlegende Instandsetzung der 116 Pfeilervorlagen (davon 87 komplett erneuert) der Hochwasserentlastungsöffnungen (ca. 12.500 m<sup>2</sup> Mauerflächen)

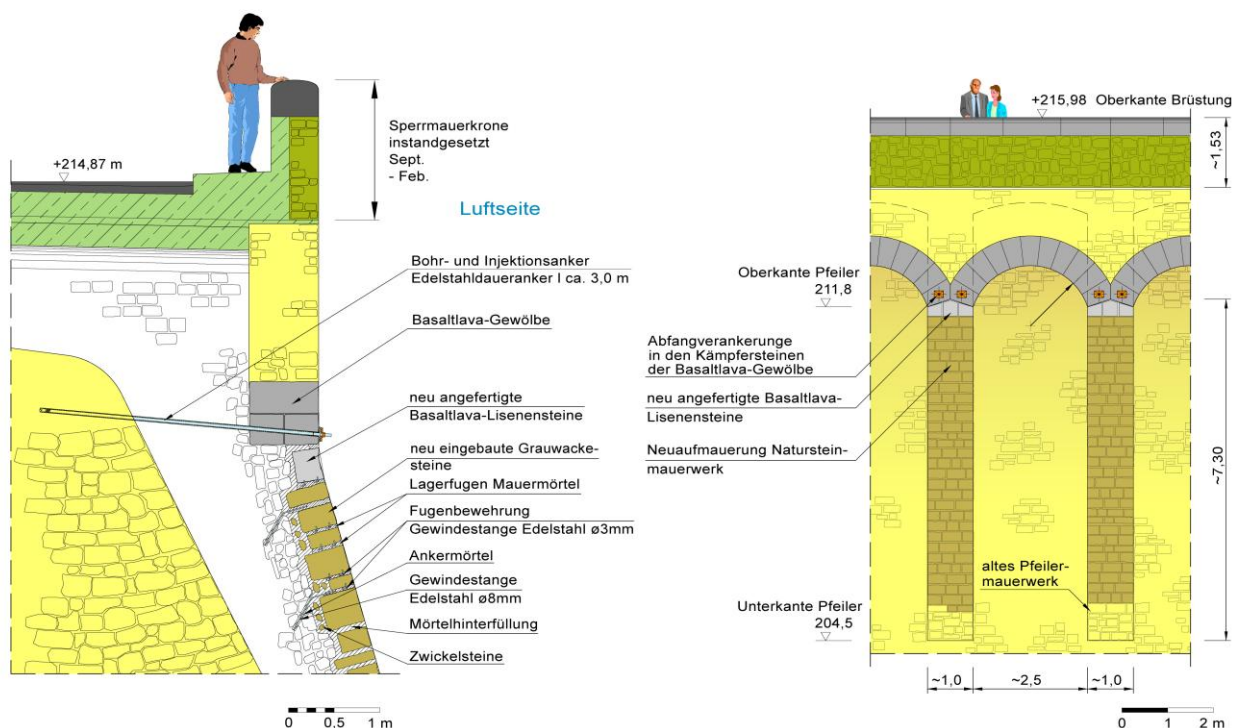


Bild 3: Schnitt und Ansicht Pfeilervorlagen - Instandsetzungskonzept

Als limitierender Faktor bei der Mauerwerkssanierung kam das nur in begrenztem Umfang stehende Steinmaterial hinzu. Steine in der gewünschten Anzahl, Größe und Qualität konnten von den wenigen noch vorhandenen Steinbrüchen nur mit Schwierigkeiten zur Verfügung gestellt werden.

Mit dem vollständigen Umbau der vier Grundablässe und Schiebertürme und der grundlegenden Instandsetzung des luftseitigen Mauerwerks genügt die Möhnetalsperre wieder in vollem Umfang den a.a.R.d.T..

Die Kosten für die Sanierungsmaßnahmen betragen insgesamt 13,5 Mio. €.

### **3 Beispiel Hennetalsperre – Sanierung der Asphaltbetonoberflächendichtung des Hauptdamms**

Das Hauptabsperrbauwerk der 1955 fertiggestellten Hennetalsperre ist ein Steinschüttdamm mit einer zweilagigen Oberflächendichtung aus Asphaltbeton. Die beiden Asphaltbetonschichten sind durch eine Drainageschicht aus bituminiertem Schotter getrennt. Die Drainageschicht ist über Entwässerungsrohre mit dem am wasserseitigen Dammfuß entlangführenden oberen Kontrollgang verbunden, um eventuelle Schäden in der oberen Dichtungslage schnell und gezielt durch Wasseraustritte erkennen zu können.

Eine Oberflächendichtung aus Asphaltbeton wird besonders durch die UV-Bestrahlung und die Temperaturschwankungen in Mitleidenschaft gezogen, da dadurch das im Asphalt als Bindemittel eingesetzte Bitumen langsam altert und versprödet. Durch die Versprödung kann es auf lange Sicht zu Rissbildungen in der Dichtung kommen, die einen ungewollten Wassereintritt in den Dammkörper zur Folge haben würden. Zum Schutz gegen die für Asphaltbeton schädliche UV-Bestrahlung ist die Asphaltbeton-Dichtung mit einer Mastixschicht überzogen, die einen Teil der UV-Strahlung abfängt, jedoch dadurch selbst umso eher altert. Sie unterliegt zusätzlich einem mechanischen Abrieb.

Untersuchungen (Bohrkerne) der Asphaltbetonoberflächendichtung der Hennetalsperre Mitte der neunziger Jahre zeigten eine Bindemittelverhärtung und Versprödung der oberen Dichtungslage im Bereich der Wasserwechselzone. Es wurde entschieden, die obere 9 cm starke Dichtungslage der Asphaltbetondichtung auf einer Stärke von 7 cm abzufräsen und zu erneuern.

Nach Ausschreibung und Vergabe der Bauleistungen wurde im Juni 1998 mit den Bauarbeiten begonnen. Nach dem Einrichten der Baustelle wurde der wasserseitige Bereich der Dammkrone freigeräumt. Dann wurde auf einer Fläche von rund 10.000 m<sup>2</sup> die obere Lage der vorhandenen Oberflächendichtung maschinell in einer Stärke von 7 cm abgefräst bzw. in den Randbereichen von Hand aufgenommen. Auf die abgefräste und gereinigte Fläche wurde nach eingehender Prüfung des neu einzubauenden Materials die neue Dichtungslage in einer Stärke von ebenfalls

7 cm aufgebracht. Als Bindemittel für den neu eingebauten Asphalt mit der Körnung 0/16 mm wurde ein polymermodifiziertes Bitumen PmB65 eingesetzt.

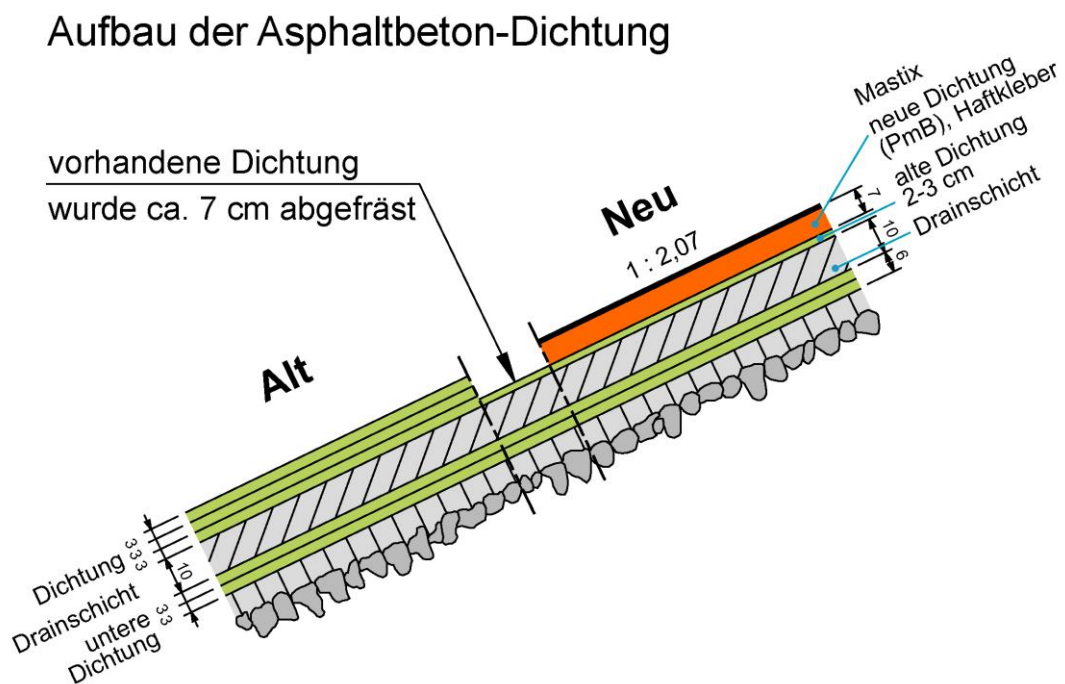


Bild 4: Aufbau der alten und der neuen Asphaltbetondichtung

Das Aufbringen der neuen Dichtungslage erfolgte maschinell im Vertikaleinbau, in den Randbereichen musste zweilagig von Hand eingebaut und verdichtet werden.



Bild 5: Vertikaleinbau der neuen Asphaltbetondichtung auf dem Hennedamm

Durch einen Windenwagen auf der Dammkrone wurden Fertiger, Beschicker und Walze geführt und gesichert. In einem weiteren Arbeitsabschnitt wurde auf die neue Dichtung ein bitumenreicher Heißmastix mit min.  $2 \text{ kg/m}^2$  aufgezogen. Im Zuge der Erneuerung der Oberflächendichtung wurde auch an den Betonbauwerken im Stauraum gearbeitet. Dabei wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Sanierung des Betons des oberen Kontrollstollens durch Abtrag der verwitterten Schutzbetonschicht und Aufbringen einer neuen Schicht im Trockenspritzverfahren

- Sanierung des Betons der Überlaufschwelle und der Gerinnesohle der Hochwasserentlastungsanlage mit SPCC nach vorherigem Abtrag der alten Putzschicht.

Die Kosten für die gesamt Sanierungsmaßnahme betragen ca. 1 Million Euro.

#### 4 Beispiel Sanierung der Bruchsteinstaumauern

Zwischen 1900 und 1920 wurden in Deutschland rund 30 Gewichtsstaumauern errichtet, deren Bauweisen auf den Entwürfen von Prof. Intze beruhen. Grundlage des sog. "Intze"-Prinzips war u.a. die wasserseitige Abdichtung der Staumauern durch einen Anstrich und die Fassung des Restsickerwassers im Mauerkörper mit Hilfe eines Drainagesystems.

Im Laufe der langen Betriebszeit verschlechterten sich die Wirkungen dieser Maßnahmen bei allen Staumauern deutlich, so dass eine Sanierung unumgänglich wurde. Dies galt auch für die Lister-, die Möhne- und die Ennepestaumauer des Ruhrverbands.

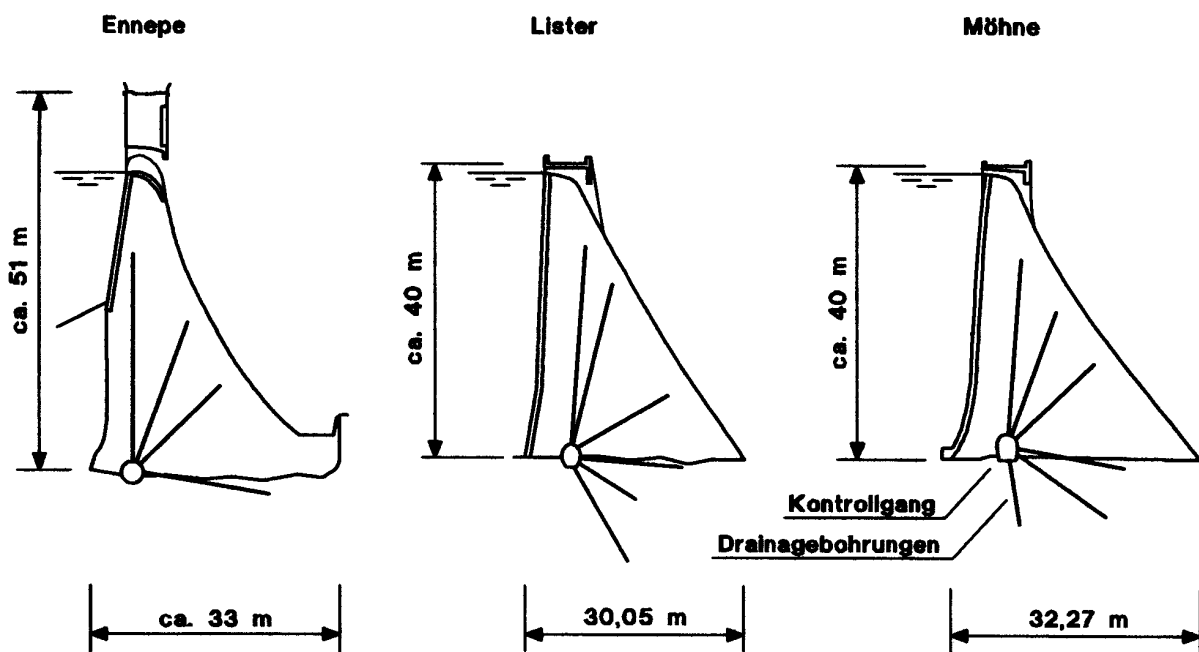


Bild 6: Staumauern des Ruhrverbands mit nachträglich eingerichteten Drainagegestollen und -bohrungen

Bei den genannten Staumauern ergab sich der Sanierungsbedarf z.T. aus weiteren Gründen: die Möhnestaumauer war im II. Weltkrieg schwer beschädigt worden. Die damalige Reparatur erfolgte ohne eine Rekonstruktion des "Intze"-Drainagesystems. Die Listerstaumauer wurde durch den Einstau der Biggetalsperre 1965 luftseitig bis zu einem Drittel der Höhe eingestaut. Daher war die Auffahrung eines Drainagesystems zur Sicherung der Standsicherheit erforderlich. Die

Ennepestaumauer wurde 1997 durch den Ruhrverband übernommen, mit der Verpflichtung, die Staumauer umgehend zu sanieren.

Alle drei Staumauern konnten mit der Auffahrung eines Drainagegestollens und Abteufen von Drainagebohrungen saniert werden. Die wichtigsten technischen Kennzahlen zeigt Tabelle 1.

<b>Staumauer</b>	<b>Ennepe</b>	<b>Lister</b>	<b>Möhne</b>
Kronenhöhe	50 m	42 m	40 m
Kronenlänge	320 m	264 m	650 m
Baujahr/ Jahr der Sanierung	1904/1997	1912/1965	1913/1976
Auffahrung des Drainagegestollens durch ...	Tunnelbohrmaschine	Sprengvortrieb	Sprengvortrieb
Anzahl der Drainagebohrungen je Drainagefächer (Staumauer/Untergrund)	3/1	3/3	3/3
Abstand der Drainagefächer	4 m	3 m	3 m
Durchmesser der Bohrungen	101 mm	60 mm	90 mm
Max. Bohrlänge	28 m	30 m	24 m

Tabelle 1: Kennzahlen der Staumauern und Drainagesysteme

Voraussetzung für die gewählten Sanierungsvarianten waren jeweils die Genehmigung der Talsperrenaufsicht. Diese forderte vor Baubeginn den Nachweis der Machbarkeit, der im Folgenden am Beispiel der Sanierung der Ennepestaumauer kurz dargestellt werden soll.

#### **4.1 Voruntersuchungen zur Sanierung der Ennepestaumauer mit Hilfe von FEM-Modellen**

Die Sanierungsplanung beruhte auf verschiedenen numerischen Modellen, mit denen untersucht wurde, ob die Standsicherheit der Staumauer wieder erreicht werden könnte. Erst aufgrund der positiven Prognose dieser Simulationen erlaubten die Aufsichtsbehörden 1998 die Auffahrung eines Drainagegestollens unter der Staumauer [2].

Drei Modelle, basierend auf der Methode der Finiten Elemente (FEM), wurden eingesetzt:

- ein Strömungsmodell zur Abbildung der Durchsickerung und Ermittlung der Wasserdruckkräfte im Inneren des Mauerkörpers,
- ein Wärmeflussmodell zur Quantifizierung des jahreszeitlichen Temperatureinflusses und der hieraus resultierenden Eigenspannungen im Bauwerk,
- ein Rissmodell zum Nachweis der Standsicherheit und Rissfreiheit, im Wesentlichen unter den anhand der ersten beiden Modelle ermittelten Belastungen.

#### 4.1.1 Strömungsmodell

Ein repräsentativer Mauerquerschnitt samt Intzekeil sowie ein Ausschnitt des Untergrundes wurden durch ein ebenes FE-Modell abgebildet, das auch die Porenwasserdruckgeber berücksichtigte. Den verschiedenen Materialbereichen (Mauerwerk, Intzekeil, Fels) wurden Durchlässigkeiten zugeordnet, die anhand von hydrogeologischen Untersuchungen festgestellt worden waren. Die Simulation zeigte, dass der Mauerkörper nach Einrichtung des Drainagesystem nur noch zwischen Wasserseite und der ersten Drainageebene durchströmt und so wesentlich vom Porenwasserdruck entlastet wird (s. Bild 7).

Voraussetzung war jedoch der Nachweis der flächigen Wirkung der senkrechten Drainagebohrungen, die im Abstand von 4 m angeordnet sind. Hierzu wurde ein dreidimensionales Strömungsmodell erstellt. Bild 8 verdeutlicht die errechneten Druckdifferenzen zwischen der Ebene, in der die Drainagen eingerichtet sind und der Ebene mittig zwischen den Drainagefächern. Die flächige Wirkung ist dadurch belegt, dass die Druckunterschiede nur im Nahbereich der Bohrungen signifikant sind.

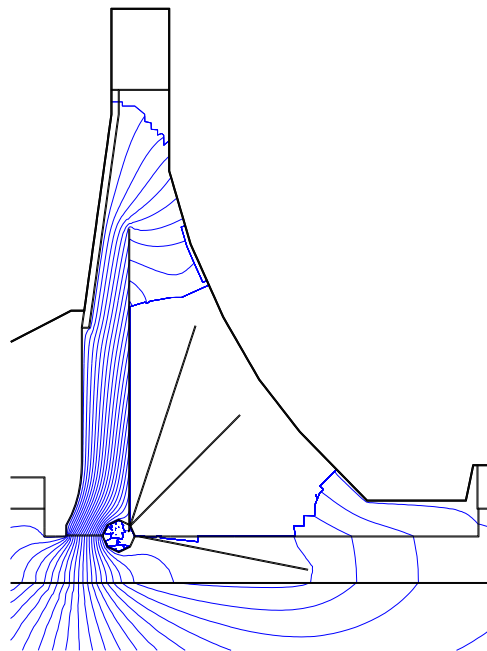


Bild 7: Isoglyphen der Porenwasserdruckhöhen bei Vollstau

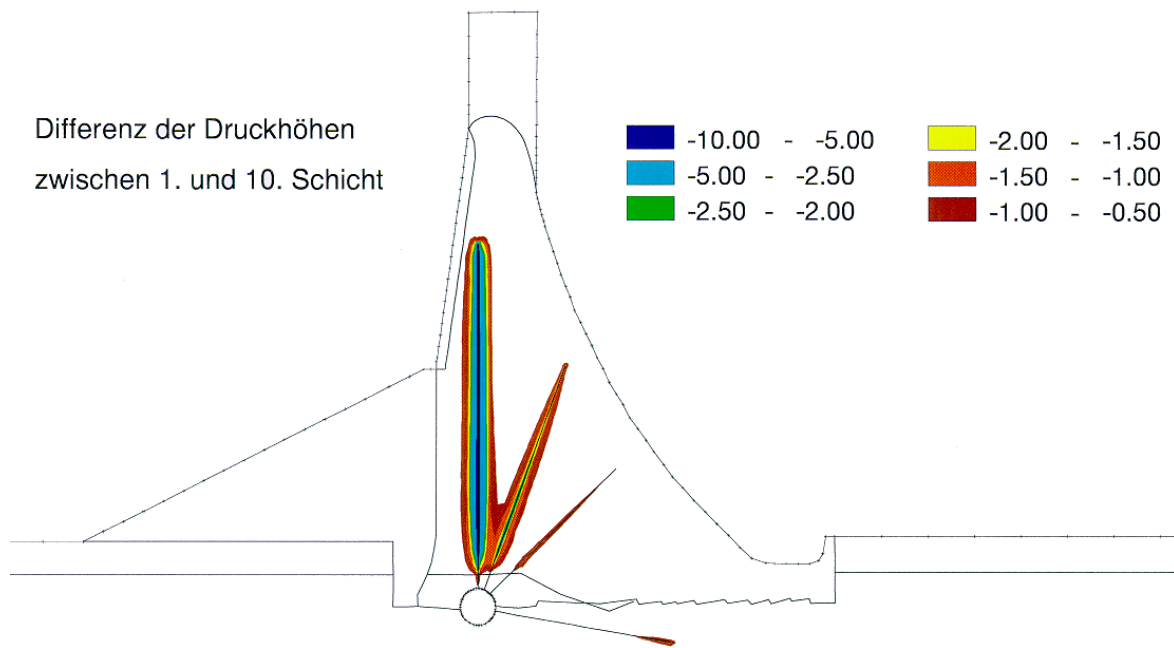


Bild 8: Differenzen der Porenwasserdruckhöhen (in m Ws) zwischen der Schnittebene der Drainagen und der Schnittebene zwischen den Drainagen

#### 4.1.2 Wärmeflussmodell

Zur Berechnung des Wärmeflusses wurde ein FE-Modell erstellt, das im gleichen Schnitt wie das Strömungsmodell liegt. Für die Berechnung des Wärmeflusses wurden von jedem Material die drei Kennwerte - Dichte, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität - benötigt. Während die Dichte von Fels, Mauerwerk und Intzeil ausreichend bekannt waren, mussten die speziell zur Berechnung des Wärmeflusses benötigten Materialdaten der Literatur [1] entnommen werden (s. Tabelle 2).

Material	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität
Einheit	g / cm <sup>3</sup>	W / (m * K)	kJ / (kg * K)
Staumauer	2,37	3,32	0,71
Fels	2,70	3,00	0,43
Lehm des Intzeils	2,00	1,20	1,38

Tabelle 2: Materialwerte bei der Simulation des Wärmeflusses

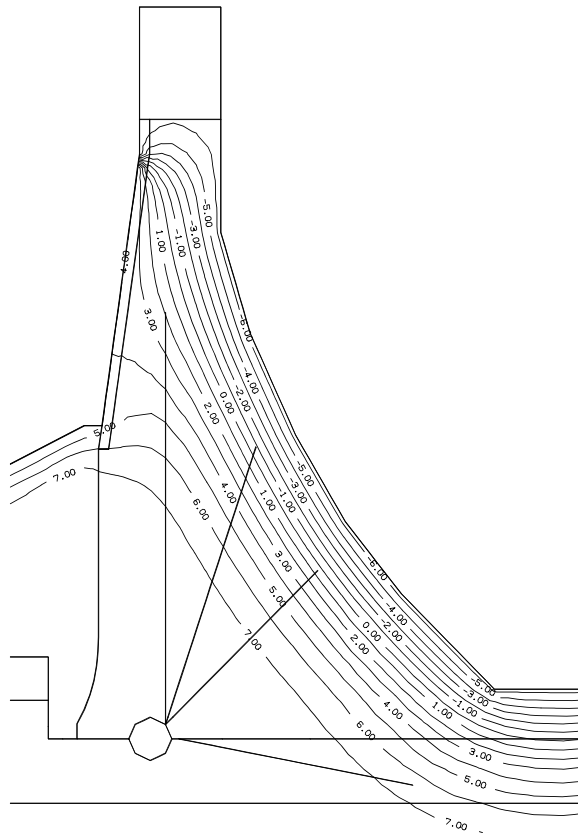


Bild 9: Temperaturverteilung im Staumauerkörper in einem extremen Winter

Die Luft- und Wassertemperaturen wurden mit ihrem zeitlichen Verlauf als Randbedingungen an den jeweiligen Bereichen der Maueroberfläche sowie an der Oberkante des Intzeils und des Untergrundes eingegeben. Hierbei war die gleichfalls wechselnde Stauhöhe zu berücksichtigen.

Für die Ennepestaumauer wurden zwei Szenarien simuliert:

- mittlerer Jahrgang der Temperatur und
- seltenes Temperaturereignis extrem kalter Winter (durchschnittliche Wiederholzeitspanne von 200 Jahren).

#### 4.1.3 Rissmodell zum Nachweis der Standsicherheit

Der Standsicherheitsnachweis einer Staumauer ist in Deutschland nach DIN 19700 Teil 11 zu führen. Die Norm unterscheidet drei Bemessungsfälle, für die verschiedene Lastfälle mit unterschiedlichen Widerlagerzuständen zu kombinieren sind. Maßgeblich sind meist die Bemessungsfälle I und III.

Im Bemessungsfall I sind vor allem ständig wirkende Lasten zu berücksichtigen. Hierzu gehören neben den Eigenlasten der Wasserdruck aus der gefüllten Talsperre sowie Temperaturänderungen. Entscheidendes Bemessungskriterium wird meist die Forderung des

Ausschlusses von vertikalen Zugspannungen bzw. horizontalen Rissen an der Wasserseite der Mauer.

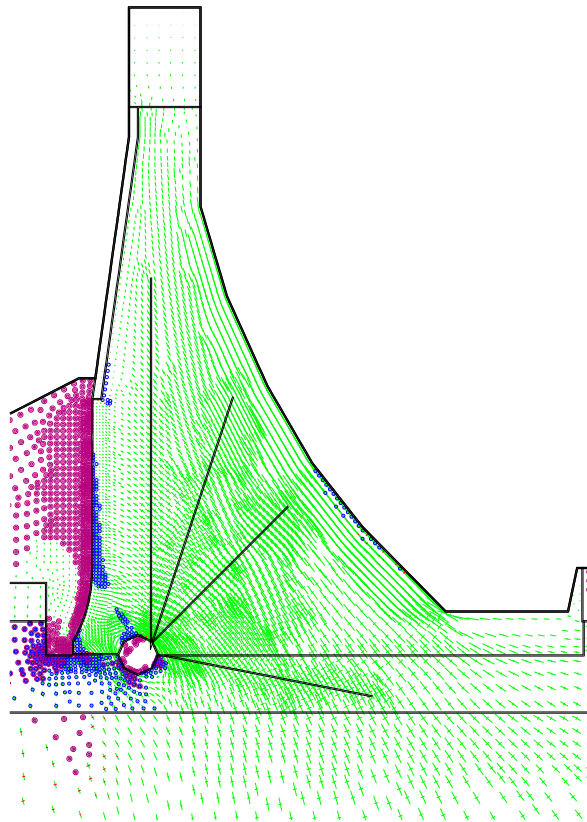


Bild 10: Hauptspannungstrajektorien und Risszonen in der Staumauer bei extremem Hochwasser

Der Bemessungsfall III betrachtet Extremsituationen wie den Stau bis zur Mauerkrone während eines extremen Hochwassers. In diesen selten auftretenden Situationen ist eine klaffende Fuge bis zur Mauermitte zugelassen. Da das Talsperrenwasser in diese Fuge eintreten wird, muss der zugehörige Wasserdruck in der Fuge berücksichtigt werden.

Für die Ennepestaumauer wurde der Standsicherheitsnachweis entsprechend geführt. Die Wirkungen der Wasserlast und Temperatureinflüsse konnten anhand der oben beschriebenen Simulationen realistisch berücksichtigt werden.

Es zeigte sich, dass die Eigenspannungen der Staumauer im Winter zu einer deutlichen Verminderung der Druckspannungen an der Wasserseite führen. Im Bemessungsfall I, also bei gefüllter Talsperre, reduzieren diese Temperatureigenspannungen sowie die aus dem Wasserdruck an der Wasserseite resultierenden Zugspannungen die Druckspannungen aus dem Eigengewicht der Mauer nahezu auf Null an der Wasserseite der Staumauer. Ein Riss oder eine klaffende Fuge tritt jedoch nicht auf.

Bei einem extremen Hochwasser des Bemessungsfalls III und entsprechend höherem Wasserstand in der Talsperre entstehen jedoch vertikale Zugspannungen an der Wasserseite der Mauer. Da diese zumindest rechnerisch nicht aufgenommen werden können, ist die Wirkung der an diesen Stellen auftretenden Risse zu untersuchen. Durch den Riss ändert sich das Strömungsbild des Wassers in der Staumauer, so dass eine erneute Strömungsberechnung durchgeführt werden muss. Mit den veränderten Lasten erfolgt eine erneute Berechnung und ggf. weitere Iterationen, bis ein stationärer Zustand erreicht ist. Wird dann die Bedingung der Klaffung bis zur Mauermitte eingehalten, so ist der Standsicherheitsnachweis auch für die Extremsituation im Wesentlichen geführt. Dies konnte für die Ennepestaumauer gezeigt werden.

#### **4.2 Der Bau des Kontroll- und Drainagestollens an der Ennepetalsperre**

Auf der Basis der beim Ruhrverband an anderen Intze-Mauern gewonnenen Erfahrungen war an der Ennepetalsperre vorgesehen, einen Stollen mit Hufeisenprofil bergmännisch herzustellen. Dieser Stollen sollte in 3,5 m Entfernung von der Wasserseite in der Aufstandsfläche bzw. Sohlfuge der Mauer aufgeföhren werden. Bei bergmännischem Vortrieb hätte der Stollen bereits beim Vortrieb gesichert und anschließend mit einer Betonschale ausgekleidet werden müssen. Die angestrebte Drainagefunktion hätte besondere Vorkehrungen hinter der Schale notwendig gemacht. Durch den Sprengvortrieb wäre das Gebirge (bzw. Mauerwerk) in der Umgebung des Stollens aufgelockert worden, was angesichts der Nähe zur Wasserseite unerwünscht war.

Aufgrund dieser Randbedingungen wurde vom Ruhrverband vorgeschlagen, den Drainagestollen nicht bergmännisch, sondern mit einer Vollschnittmaschine (TBM) aufzuföhren. Vorgesehen und ausgeführt wurde ein Kreisprofil mit 3,0 m Durchmesser.

Problematisch erschien allerdings zu Anfang nicht nur die mit einem Radius von 150 m relativ starke Krümmung des Stollens, sondern auch die zu bewältigende, steil ansteigende Raumkurve (bis 30° Neigung) und der mit einer geplanten Vortriebslänge von nur ca. 370 m für den wirtschaftlichen Einsatz einer TBM eigentlich zu kurze Stollen.

Ende August 1997 wurde der Auftrag an die Philipp Holzmann AG vergeben. Es kam eine Robbins-Tunnelbohrmaschine der Firma Murer aus der Schweiz zum Einsatz. Diese TBM verfügte nur über ein Paar sog. Gripper und war somit besonders klein und wendig, was sich jedoch als nachteilig für die Richtungsstabilität des Vortriebs erweisen sollte. Der Tunnelvortrieb wurde von einem 10 m tiefen Startschacht aus, ca. 30 m luftseitig des rechten Grundablassbauwerkes, begonnen. Die TBM war zu Anfang entgegen der Fließrichtung, also talaufwärts und senkrecht zur Mauerlängsrichtung positioniert. Sie sollte vom Startschacht aus einen horizontalen Viertelkreis mit 40 m Radius beschreiben, etwa in Talmitte in die Trasse des

Drainagegestollens einmünden und diesen zunächst bis zum linken Mauerende auffahren (s. Bild 11).

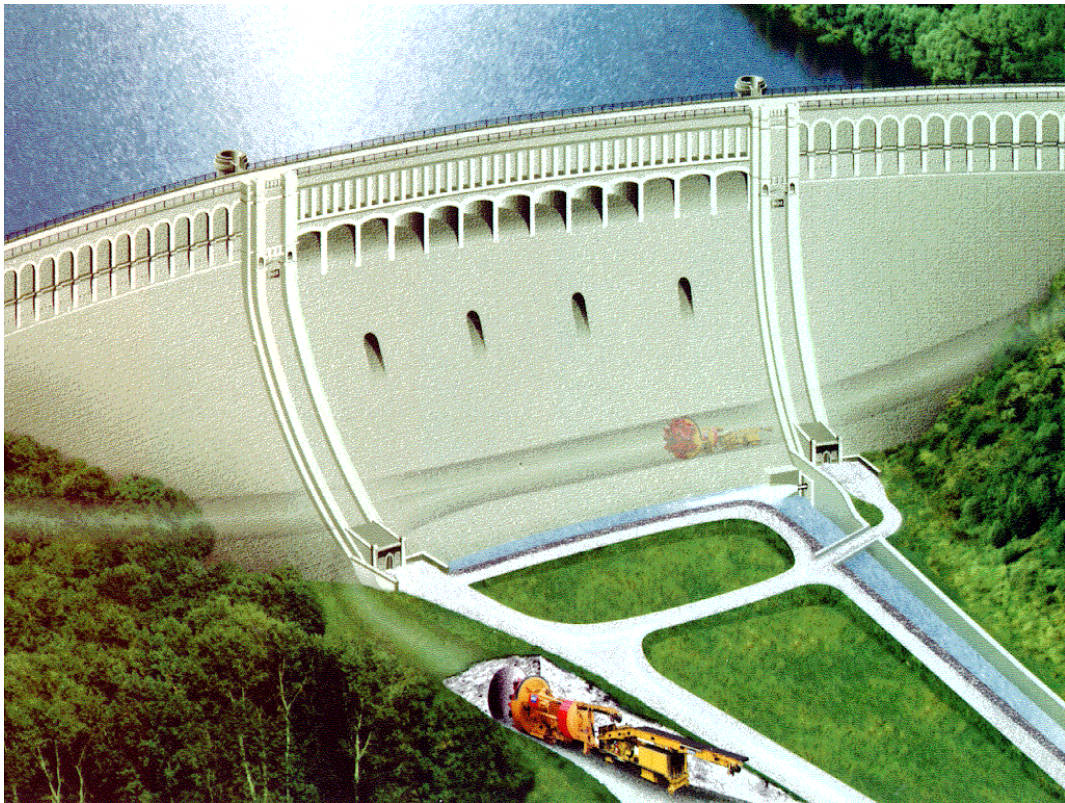


Bild 11: Auffahrung des Kontroll- und Drainagestollens der Ennepetalsperre

Nach der Auffahrung des ersten Tunnelabschnittes war vorgesehen, die TBM am linken Endpunkt zu bergen und in der Startbaugrube wieder einzusetzen, diesmal jedoch mit dem "Heck" in Richtung Mauer. Von da aus sollte sie rückwärts durch den Zugangstollen wieder bis zum eigentlichen Drainagestollen vorgeschoben werden und von dort aus den rechten Ast des Stollens auffahren. Zuvor mussten jedoch aufwändige Aufweitungsarbeiten im Verschneidungsbereich zwischen Zugangstollen und Drainagestollen vorgenommen werden. All diese Arbeiten erfolgten bergmännisch mit sehr geringen Lademengen und infolgedessen mit sehr vielen Abschlügen. Die Vortriebsarbeiten wurden von Erschütterungsmessungen begleitet.

Im Oktober 1997 begannen die Vortriebsarbeiten. Während der ersten ca. 30 m verlief der Vortrieb relativ zügig. Es wurde eine weiche Störung schräg durchfahren, die mit betonhinterfüllten Linerplates verkleidet werden musste, damit sich die Gripper abstützen konnten. Dann wurde das Gestein jedoch für die TBM schwer bearbeitbar. Große Klufkörper hoher Kantenfestigkeit wurden vom Schneidrad aus der Ortsbrust gerissen und - da sie nicht

zertrümmert werden konnten - zwischen Schneidrad und Ortsbrust gewälzt. In Einzelfällen verklemmten sie sich gleichzeitig an der Ortsbrust sowie am Schneidrad und blockierten die TBM. Weiterer Vortrieb war auf diese Weise nicht mehr möglich.

Es zeigte sich, dass das Gestein mit bis zu 240 MN/m<sup>2</sup> einaxialer Druckfestigkeit erheblich fester war als in den Vertragsgrundlagen beschrieben - dort war die größte einaxiale Festigkeit mit 50 bis >150 MN/m<sup>2</sup> (Sandstein) angegeben. Eine Ursache der Probleme wurde darin gesehen, dass das Schneidrad zwischen den Diskenmeißeln große Hohlräume (sog. "Taschen") aufwies, in welchen sich die Kluffkörper verklemmen konnten. Es wurde daher vom AN vorgeschlagen, die Taschen durch vorgesetzte Bleche zu verkleiden. Dazu musste die TBM geborgen und in ein Werk transportiert werden. Dadurch eröffnete sich für den Bauherrn zudem die Möglichkeit, die Ortsbrust zu kartieren, Gesteinsproben zu entnehmen, eine horizontal vorauseilende Erkundungsbohrung vorzutreiben und Sprengversuche durchzuführen.

Nachfolgend wurden daher, jeweils mit Einzelfreigaben durch die Talsperrenaufsicht und begleitet von Erschütterungsmessungen, drei Abschläge geschossen, welche belegten, dass der bergmännische Vortrieb - falls alles andere scheitern würde - durchaus auch in nächster Nähe der Wasserseite auffahren (s. Bild 12) angewendet werden könnte.

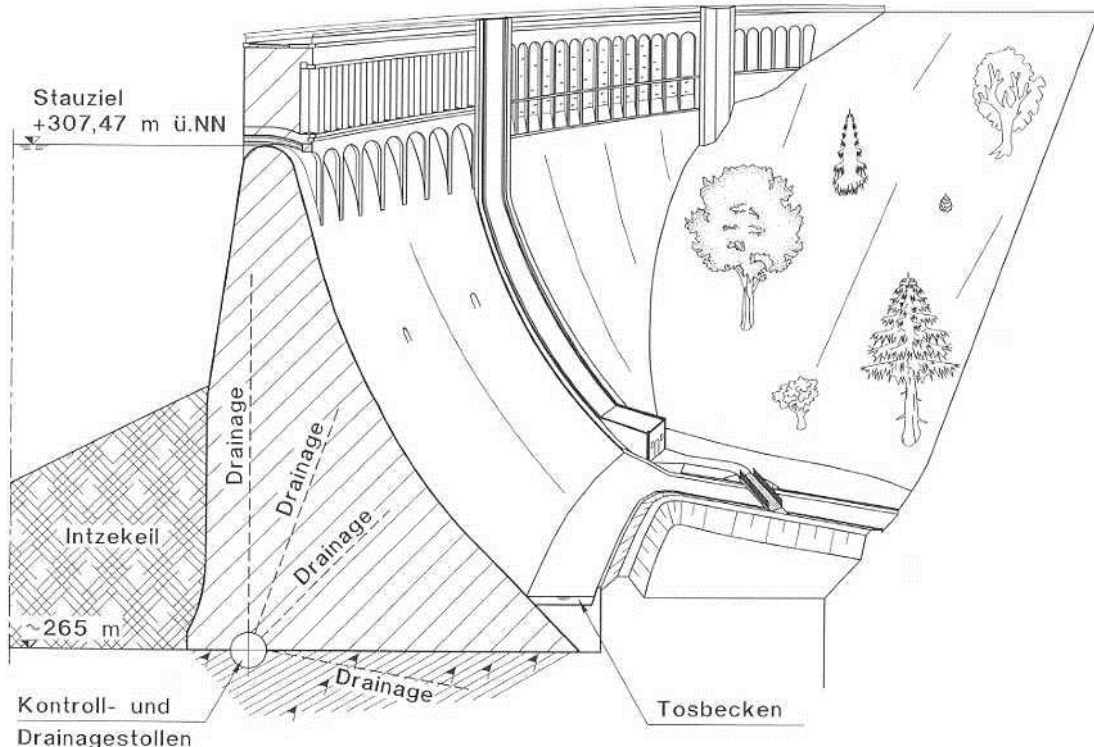


Bild 12: Querschnitt der Ennepestaumauer – Lage des Kontroll- und Drainagegestollens

Ende 1997 lag das Ergebnis der mineralogischen Untersuchungen vor. Der überaus harte "Sandstein" erwies sich als Diabas. Die horizontale Erkundungsbohrung ließ erkennen, dass es sich um einen ca. 3 m mächtigen Gang handelte, der im Streichen ca. 45 Grad gegen die Tallängsrichtung gedreht war und somit den Zugangsstollen in der zweiten Hälfte bis zur Einmündung in den eigentlichen Drainagestollen in Längsrichtung begleiten würde. Aus diesem Grund entschied sich der AN zur Fertigstellung des stark gekrümmten Zugangsstollens für den Sprengvortrieb. So wurde der Zugangsstollen bergmännisch aufgefahren und mit Spritzbeton gesichert. Im Mittel wurde dabei eine Vortriebsleistung von ca. 1,5 m je 20 Stunden-Arbeitstag bei 2 Abschlügen erreicht.

Mit dem Erreichen der Trasse des eigentlichen Drainagestollens wurde der Vortrieb wieder mit der TBM fortgesetzt. Trotz einiger Maschinenausfälle wurde dabei eine mittlere Vortriebsleistung von ca. 4,5 m je 20 Stunden-Arbeitstag erreicht, mit einer Spitzenleistung von ca. 14 m. Am 14. Mai 1997 durchstieß die TBM am linken Hang planmäßig die Geländeoberfläche. Hier wurde sie zerlegt und im Tal wiederum in den Startschacht eingeführt, diesmal jedoch mit dem Heck voran. Sie wurde nun bis zur Einmündung in den Drainagestollen vorgezogen und begann am 29. Juni 1997 mit dem Auffahren des rechten Abschnittes. Nach ca. 7 Wochen erreichte sie bei einer mittleren Tagesleistung von 6,7 m und einer Höchstleistung von 20 m an einem Arbeitstag den Zielschacht am rechten Ende der Mauer.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die TBM einen weitgehend glatten, kreisförmigen Stollen erzeugt hat (s. Bild 12), der auf 90 - 95 % der Gesamtlänge unausgekleidet und ohne Sicherung auf Dauer stehen kann. Im Talbereich liegt die obere Hälfte des Stollens in der Mauer - dieser Teil konnte praktisch ohne Verbau belassen werden.



Bild 12: Stollenprofil

Ein nachträglich angestellter Kostenvergleich zwischen Sprengvortrieb und TBM-Vortrieb zeigte, dass sich unter Einbeziehung von Sicherung und Auskleidung - also bei Betrachtung des fertigen Stollens - das maschinelle Auffahren des 363 m langen Kontroll- und Drainagestollens als ca. 0,75 Mio. Euro billiger gegenüber dem Sprengvortrieb erwiesen hat.

Für die Anpassung der Ennepetalsperre an die a.a.R.d.T. musste aus verschiedenen Gründen ein neuer Weg eingeschlagen werden. Er hat sich bisher unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten als erfolgreich erwiesen. Es ist davon auszugehen, dass die Talsperre nach Abschluss der Arbeiten für die nächsten Jahrzehnte wieder ohne Einschränkungen betrieben werden kann und dass ihr Sicherheitsniveau nicht nur verbessert worden ist, sondern auch, dass es infolge der ständigen Überwachung stets zuverlässig dokumentiert werden kann.

#### **4.3 Messungen an der sanierten Ennepestaumauer**

Zur Überwachung des Sanierungserfolgs wurden nach Fertigstellung des Kontroll- und Drainagestollens verschiedene Messeinrichtungen in die Ennepestaumauer eingebaut. Diese

sollten zunächst den Sanierungserfolg überwachen und in der anschließenden Betriebszeit die nachhaltige Wirkung kontrollieren. Im Wesentlichen wurden folgende Messeinrichtungen installiert (s. Bild 13):

- 2 Lotanlagen, jeweils aus Schwimm- und Gewichtslot bestehend,
- 2 Messquerschnitte mit insgesamt 40 Temperaturfühlern,
- 2 Messquerschnitte mit insgesamt 18 Schwingsaitenpiezometern zur Überwachung der Porenwasserdrücke,
- 3 Thomsonwehre zur Überwachung der Sickerwassermengen sowie
- ein geodätisches Messsystem mit 40 Objektpunkten auf der luftseitigen Maueroberfläche

Alle Messwerte werden elektronisch erfasst und können vom Talsperrenbetrieb und der Hauptverwaltung des Ruhrverbands fernabgefragt werden.

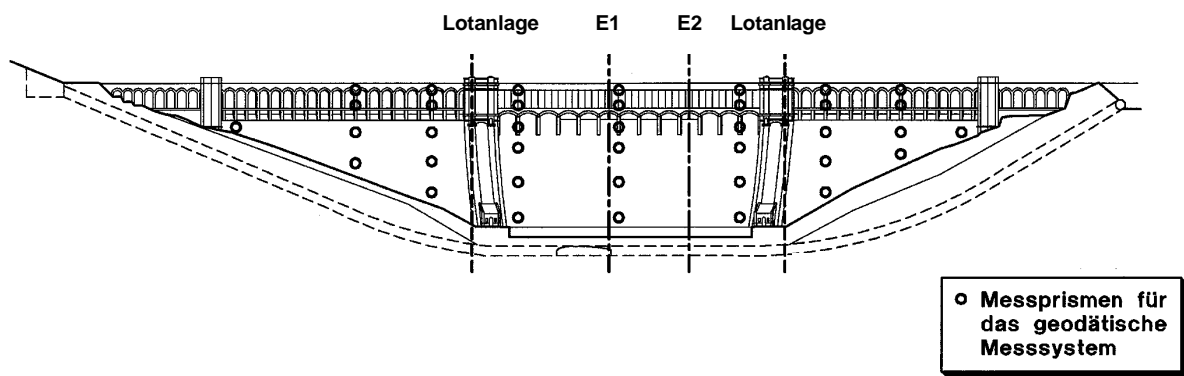


Bild 13: Messeinrichtungen der Ennepestaumauer

Zusätzlich zu den Messungen an den beschriebenen Messeinrichtungen wurden die Wassermengen gemessen, die aus jeder einzelnen Drainagebohrung ausflossen.

Ein Vergleich dieser Messungen mit den anhand des Strömungsmodells erwarteten Werten ergibt sich durch die Mittelung der gemessenen Bohrlochabflüsse (s. Tabelle 3). Die an den Drainagen im Mauerwerk gemessenen Mengen liegen bei etwa 10% der Prognosen des Modells. Die Staumauer ist also dichter als in der Berechnung angenommen. Die Sickerwasserwerte der Stollenoberfläche sind von gleicher Größenordnung wie in der Berechnung. Hier fließt das Wasser dem Stollen durch den Untergrund zu, dessen Durchlässigkeit den Annahmen entspricht.

Insgesamt belegten die Messergebnisse die Annahmen der Sanierungsplanung und der vorab erstellten FEM-Simulationen. Der seitens der Aufsichtsbehörden bestätigte Erfolg der Sanierung sichert den Fortbestand der Talsperre für die nächsten 100 Jahre.

	<b>Strömungsmodell</b>	<b>Messung</b>
	l/min	Mittel je Bohrung l/min
<b>Versickerung aus der Talsperre</b>	11,3	?
<b>Versickerung aus dem Tosbecken</b>	0,3	?
<b>Aussickerung Luftseite</b>	0,2	?
<b>vertikale Drainage (1)</b>	2,9	0,30
<b>70° Drainage (2)</b>	0,5	0,01
<b>45° Drainage (3)</b>	0,1	0,00
<b>Sohldrainage (4)</b>	0,7	0,04
<b>Stollenoberfläche</b>	7,2	3,85

Tabelle 3: Ergebnisse der vorläufigen Sickerwassermessung an den 19 Drainagefächern in Mauermitte, bezogen sich auf einen Drainagefächer, also auf 4 m Länge entlang des Stollens

## 5 Zusammenfassung

Seit mehr als 100 Jahren baut und betreibt der Ruhrverband Talsperren. Nach der Inbetriebnahme seiner zu letzt errichteten Biggetalsperre im Jahr 1965 richtet sich das Augenmerk des Ruhrverbands vor allem auf die Sanierung und somit Werterhaltung der Bauwerke und Einrichtungen. Die Talsperren des Ruhrverbands gehören mit zu den ältesten derartigen Anlagen in Deutschland (s. Bild 13). Daher wurde der Ruhrverband auch als einer der ersten Talsperrenbetreiber in Deutschland mit den Fragen zur grundlegenden Sanierung seiner Talsperren konfrontiert. Anhand ausgewählter Einzelbeispiele konnte gezeigt werden, dass gerade das "Know-How" eines Talsperrenbetreibers Grundlage für kostengünstige Sanierungen sein kann.

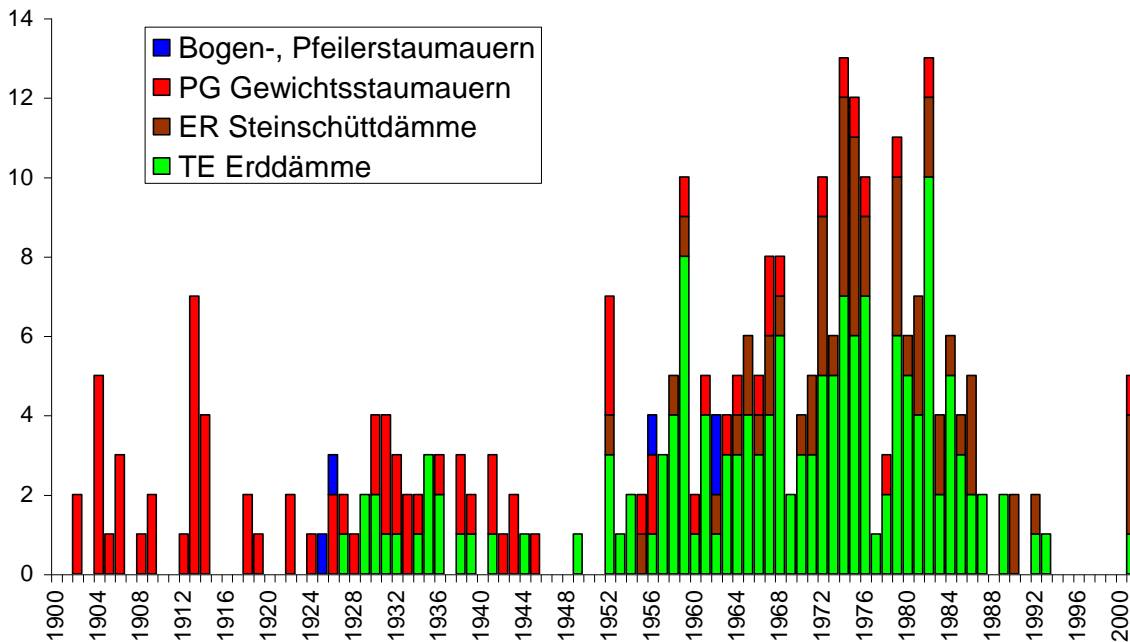


Bild 13: Bau von Talsperren in Deutschland

## 6 Literatur

- [1] Bettzieche, V.; Temperaturmessungen und -berechnungen am Beispiel einer alten Gewichtsstaumauer, Wasserwirtschaft 87, Heft 3, 1997
- [2] Heitefuss, C., Rissler, P.; Upgrading of the Ennepe dam; Hydropower & Dams Issue Two; Volume six; 1999
- [3] Klein, P., Harder, L., Klahn, J.; Möhnetalsperre - Sanierung der Grundablässe, der Schiebertürme und des luftseitigen Mauerwerks, Wasserwirtschaft 93, Heft 10, 2003
- [4] Klein, P.; Sommer, C, Stüwe, R.; Hennetalsperre - Sanierung Hauptdamm, Wasserwirtschaft 90.,Heft 3, 2000

Dr.-Ing. Volker Bettzieche, Leiter der Abteilung Talsperrenüberwachung und Geotechnik, Ruhrverband, Kronprinzenstr. 37, 45128 Essen, vbe@ruhrverband.de  
Dipl.-Ing. Christian Heitefuss, Leiter der Zentralabteilung Talsperren, Ruhrverband, Kronprinzenstr. 37, 45128 Essen, chi@ruhrverband.de  
Bauassessor Dipl.-Ing. Peter Klein, Leiter der Betriebsabteilung Talsperren, Ruhrverband, Kronprinzenstr. 37, 45128 Essen, pkl@ruhrverband.de