

Sprengen in Gewichtsstaumauern unter Vollstau - Vortriebsverfahren, Genehmigung und Bauüberwachung

B. Aberle (DMT, Essen), J. Hellmann (DMT, Dortmund)

Zusammenfassung

Von 1890 bis 1950 wurden in Deutschland 41 Gewichtsstaumauern aus Bruchsteinen gebaut. Bis zum ersten Weltkrieg wurden diese Talsperren ausschließlich als sogenannte „Intze“-Mauern konzipiert, als Talsperren aus Bruchsteinmauerwerk, im Grundriss gekrümmt und in Kalk-Trassmörtel ohne Querfugen errichtet.

Wie alle technischen Einrichtungen unterliegen auch Talsperren dem Zahn der Zeit. Die große Bedeutung einer Talsperre für die Infrastruktur einer Region und das Gefährdungspotenzial der Stauanlagen erfordern eine stetige Anpassungen an die allgemein anerkannten Regeln der Technik. In den letzten Jahren wurden umfangreiche Sanierungsmaßnahmen an Talsperren realisiert. Dazu mussten viele Mauern nachträglich mit einem Kontrollgang in Längsrichtung ausgerüstet werden. Diese Gänge dienen als Erkundungstollen für den Zustand der Gründungsfuge, als Drainagefassung für den erhöhten Sohlwasserdruck und für die Aufnahme von Messeinrichtungen in der Talsperre. Für die Auffahrung dieser Kontrollgänge wurden verschiedene Verfahren angewendet. Der händische Vortrieb, eine Tunnelbohrmaschine und der Sprengvortrieb kamen dabei zum Einsatz. Das Sprengen in einer Staumauer, insbesondere unter Staubbedingungen, erfordert besondere Maßnahmen zum Schutze des Bauwerkes. In diesem Beitrag werden die Ursachen für eine Sanierung, das Genehmigungsverfahren und die Überwachung eines Sprengvortriebes in einer Staumauer beschrieben.

Gewichtsstaumauern in Deutschland

Seit fast 500 Jahren werden in Deutschland Bäche und Flüsse gestaut. Die ersten Stauanlagen entstanden in den damaligen Bergbaurevieren des Harz und des Erzgebirges und dienten zur Gewinnung von Wasserkraft für die Bergwerke. Heute sind in Deutschland 272 Stauanlagen mit einer Stauhöhe von mehr als 15 m in Betrieb. Die Energiegewinnung aus diesen Anlagen beläuft sich auf etwa 4300 MW/a [1].

Ein großer Teil dieser Stauanlagen haben ihren Standort in den deutschen Mittelgebirgen. So findet man viele Talsperren im Rheinischen Schiefergebirge, im Bereich des Thüringer Waldes und im Erzgebirge.

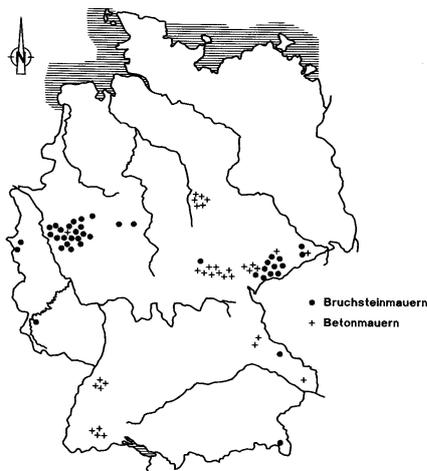


Bild 1: Gewichtstaumauern in Deutschland [aus 1]

Während in Deutschland in den letzten Jahrzehnten vorwiegend Staudämme gebaut wurden, sind in den Jahren 1890 bis 1950 fast alle Talsperren in Form von Staumauern aus Bruchsteinen oder Beton errichtet worden. Bis zum ersten Weltkrieg wurden diese Staumauer ausschließlich als sogenannte INTZE- Mauern konzipiert. Prof. Otto Intze lehrte Wasserbau an der RWTH Aachen und gilt als der Gründungsvater des modernen Talsperrenbaues. Nach seiner Idee wurden Talsperren aus Bruchsteinmauerwerk in Kalk-Trassmörtel hergestellt. Diese Talsperren sind noch heute im Einsatz und spielen eine wichtige Rolle für den Hochwasserschutz, die Wasserversorgung und den Tourismus in der Region.

Die typische „Intze“ Mauer weist einige charakteristische Konstruktionsmerkmale auf. Die Mauern sind im Grundriss zur Wasserseite gekrümmt und wurden als monolithische Bauwerke ohne Querfugen errichtet. Das Mauerwerk besteht aus Bruchsteinen, die nach außen zur Luftseite und zur Wasserseite mit einem regelmäßigen Mauerwerk aus behauenen Natursteinen abschließen. Das erforderliche Baumaterial wurde in der Regel unmittelbar in der Nähe der Talsperre gebrochen. Vor dem Einbringen der Steine in einem Mörtelbett wurde jeder Stein gründlich gereinigt, um eine gute Anbindung an den Mörtel sicherzustellen.

Ein Vorsatzmauerwerk auf der Wasserseite verhindert das Eindringen von Druckwasser in das Mauerwerk. Dazu wurden die Mauern mit einer 2-3 cm starken Putzschicht aus Zement-Trass-Kalk-Mörtel und mit einem Siderosthen-Anstrich versehen. Zusätzlich wurde auf der Wasserseite ein sogenannter Intze- Keil vor die Staumauer aufgeschüttet. Durch diese dreiecksförmige Vorschüttung mit einer Lehmpackung wird die Mauer im Bereich des Mauerfußes abgedichtet.

Die Staumauern wurden mit vertikalen Längsdrainagen, aber ohne Sohlrainagen und ohne einem Kontroll- und Drainagegang gebaut. Poren-, Sohlwasserdrücke und ein hydrostatischer Druck im Mauerkörper wurden bei der Konstruktion und Statik nicht berücksichtigt.

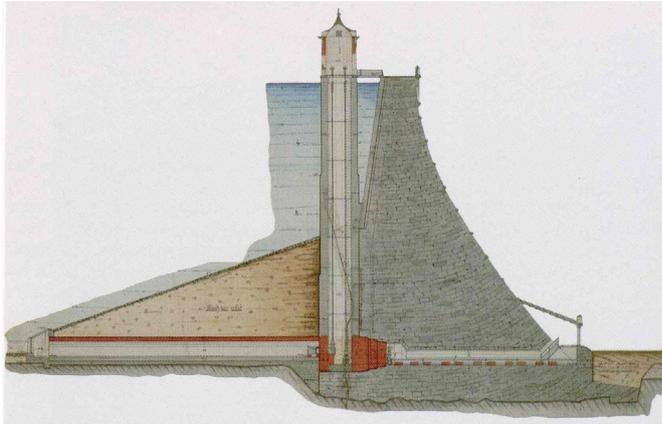


Bild 2: Typische Intze-Mauer im Schnitt [aus 2]

Ursachen für die Sanierung von Staumauern

Talsperren spielen auch heute eine wichtige Rolle in der Infrastruktur einer Region. Das Gefährdungspotenzial einer Stauanlage erfordert eine stetige und intensive Überwachung der gesamten Stauanlage. Talsperren müssen bei Bedarf an die allgemein anerkannten Regeln der Technik angepasst werden. In den 80er Jahren sind dazu landesweit für alle Talsperren Untersuchungen zur Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit durchgeführt worden. Hierbei musste festgestellt werden, dass der Auftrieb der Mauer in den alten Statiken gar nicht, oder nur unzureichend berücksichtigt worden war. Ursache für diesen Auftrieb ist ein erhöhter Sohlwasserdruck, der durch Undichtigkeiten im Bereich des Mauerfußes entsteht. Über hydraulische Verbindungen zum aufgestauten Wasser wirken beträchtliche Kräfte von unten auf die Mauer. Außerdem war die Längsdrainage in den Mauern vielfach nicht mehr im besten Zustand, so dass sich Poren- und Sohlwasserdrücke in der Mauer aufbauen konnten. Der Auftrieb im Sohlbereich wirkt entgegen dem Eigengewicht der Staumauer und vermindert damit die Standsicherheit.

Als Konsequenz hieraus musste bei einigen alten Talsperren das Stauziel abgesenkt werden, um eine ausreichende Standsicherheit zu gewährleisten.

Zur Wiederherstellung des ursprünglichen Stauzieles und zur erforderlichen Anpassungen an die allgemein anerkannten Regeln der Technik waren umfangreiche Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Neben einer generellen Überholung des Mauerwerkes und einer Erneuerung der Betriebseinrichtungen wurde vielfach die Hochwasserentlastung an die gestiegenen Bemessungshochwasser angepasst. Zusätzlich wurden moderne Überwachungseinrichtungen wie Lotanlagen, Extensometer oder Sohldruckmesser installiert.

Für diese Arbeiten mussten ein Teil der Staumauern nachträglich mit einem Kontrollgang in Längs-

richtung ausgerüstet werden. Diese Gänge auf Höhe der Gründungsfuge dienen als Erkundungsstollen für den Zustand der Gründungsfuge, als Drainagefassung für den erhöhten Sohlwasserdruck und für die Aufnahme von Messeinrichtungen in der Talsperre. In der Regel verbinden diese Kontrollgänge die bestehenden Einbauten wie Grundablässe und Schieber miteinander und erleichtern damit den Zugang für das Überwachungs- und Bedienpersonal der Talsperre.

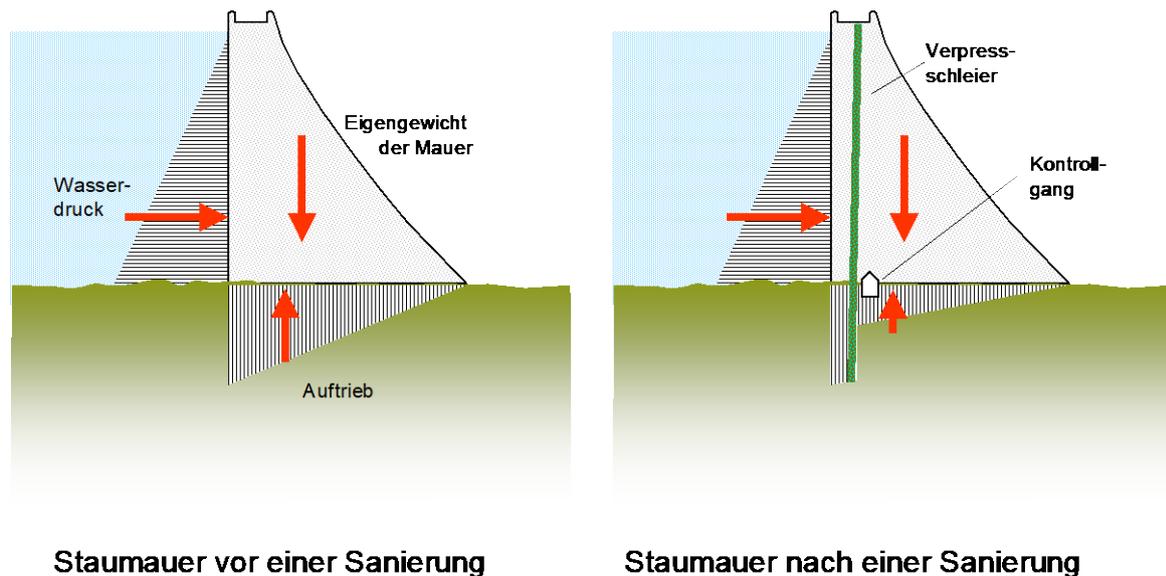


Bild 3: Sohlwasserdruck auf eine Gewichtsstaumauer

Sanierungskonzepte

Für die Sanierung einer Staumauer gibt es keine allgemein gültigen Standardlösungen. Vielmehr existiert eine breite Palette von Lösungsansätzen. Bei der Auswahl einer Sanierungsvariante wird die technisch und wirtschaftlich günstigste Lösung an die Anforderungen der jeweiligen Talsperre angepasst. In den letzten Jahren wurden einige Gewichtsstaumauern durch das Aufbringen einer Vorsatzschale nach dem ursprünglichen Dichtungskonzept saniert. Für diese Erneuerung der wasserseitigen Abdichtung der Staumauer muss die Talsperre jedoch vollständig entleert werden. Die Stauanlage kann daher in dieser Zeit nicht oder nur begrenzt genutzt werden. Zusätzlich ist ein Abdichten des Untergrundes erforderlich, um einen unzulässigen Wasserdruck von unten zu unterbinden.

Eine weitere Möglichkeit ist die Erhöhung des Mauergewichtes durch eine zusätzliche Auflast oder durch eine Verankerung der Mauer in den Untergrund. Die Ederstaumauer wurde erfolgreich mit Vorspannankern mit einer Gebrauchslast von 4500 kN pro Anker ertüchtigt. In den meisten Fällen lassen

die statischen Verhältnisse in der Mauer die erforderliche Vergrößerung der Auflast nicht zu. [3]

In vielen Fällen wurden Staumauern durch eine Kombination aus Verpress- und Drainagemaßnahmen ertüchtigt. Hierzu werden über Bohrungen Zementeinpressungen in die Mauer und in den Untergrund eingebracht und damit die Wasserdurchlässigkeit auf ein zulässiges Maß verringert. Mit der Abdichtung der Mauer und einer Drainage des Untergrundes wird der Sohlwasserdruck reduziert. Durch die Drainagebohrungen wird das auftretende Sickerwasser entspannt und gefasst, so dass ein unzulässiger Sohlendruck sicher ausgeschlossen werden kann. Zur Durchführung dieser Arbeiten ist ein Kontroll- und Drainagestollen im Bereich des Mauerfußes erforderlich. Diese Kontrollgänge durchziehen die Mauer in Längsrichtung in der Höhe der Gründungsfuge. Die Kontrollgänge sind in der Regel 2 bis 3 m breit und verfügen über eine lichte Höhe von 2,5 m.



Bild 4: Kontrollgang in der Östertalsperre

Für die Auffahrung dieser Kontrollgänge wurden bis heute verschiedene Verfahren angewendet. Der händische Vortrieb, eine Tunnelbohrmaschine und der Sprengvortrieb kamen dabei zum Einsatz.

Bei der Auffahrung eines Kontrollganges in der Unteren Hebringhäuser Talsperre im Raum Wuppertal wurde der händische Vortrieb gewählt. Das Verfahren ist sehr anpassungsfähig an die lokalen Gegebenheiten. Ohne großen Aufwand können beliebige Konturen und Verläufe des Ganges exakt aufgeföhren werden. Bei Mauerwerk aus Grauwacke oder ähnlichem hartem Gestein in einem stabilem Mörtelbett sind aber nur geringe Vortriebsgeschwindigkeiten zu erwarten. Vortriebsleistungen von weniger als 0,1 m pro Schicht sind die Regel. Der Ausbruch des Mauerwerks kann durch Spaltgeräte und Hydraulikhämmer unterstützt werden. Der Einsatz von Maschinen ist jedoch durch den geringen Stollenquerschnitt und die Stollengeometrie begrenzt. Die Staub- und Lärmbelastung in den engen Gängen, verknüpft mit der harten körperlichen Arbeit über Monate hinweg bedeutet eine extreme Be-

lastung für die Vortriebsmannschaft.

Die Belastung für die Vortriebsmannschaft kann durch überschrittene Kernbohrungen reduziert werden. Durch die sehr geringen Vortriebsleistungen kann dieses Verfahren nur in Sonderfällen oder bei sehr begrenzten Vortriebslängen, zum Beispiel bei Durchbrüchen, wirtschaftlich eingesetzt werden.

An der Ennepetalsperre wurde erstmalig eine Tunnelbohrmaschine (TBM) für die Auffahrung eines Kontrollganges in einer Staumauer eingesetzt. Der 370 m lange Stollen wurde mit einer kleinen und wendigen TBM aufgefahren. Für die Vortriebsarbeiten wurde eine gebrauchte Tunnelbohrmaschine mit einem Durchmesser von 3,0 m eingesetzt [4]. Neben einigen Anlaufschwierigkeiten, - es musste auf den ersten Metern ein Diabasgang sprengtechnisch durchörtert werden, da die Maschine diese Gesteinsfestigkeiten nicht schneiden konnte -, führte später der Bruch des Hauptlagers der Tunnelbohrmaschine zu einer längeren Arbeitunterbrechung. Trotz dieser Schwierigkeiten wurde die Vortriebsarbeiten erfolgreich mit der TBM zu Ende geführt. In der Nachkalkulation hat sich gezeigt, das Verfahren die schnellste und preisgünstigste Variante für diese Mauer war. Leider sind preiswerte und passende Tunnelbohrmaschinen nur begrenzt am Markt verfügbar. Die Geometrie eines Kontrollganges mit rechtwinkligen Abzweigen und kurze Auffahrlängen lässt nur wenige wirtschaftliche Einsätze einer TBM in einer Talsperre zu.



Bild 5: Glörtalsperre

Der Sprengvortrieb für die Auffahrung eines Kontrollganges in Längsrichtung unter Vollstau wurde schon in den siebziger Jahren erfolgreich an der Möhnetalsperre eingesetzt. In den letzten Jahren wurden Kontrollgänge in der Urfttalsperre (Eifel) [5], Diemelstaumauer (Sauerland) [6, 7], Oestertalsperre (Sauerland) und Glörtalsperre (Bergisches Land) sprengtechnisch aufgefahren. Bei allen Projekten hat sich gezeigt, dass der Sprengvortrieb an jede gewünschte Geometrie vor Ort angepasst werden kann. Extreme Steigung im Hangbereich, rechtwinkelige Abzweigungen und auch Schächte können profilgenau aufgefahren werden. Die geringe Entfernung des Kontrollganges zur Wasserseite der Staumauer erfordert ein äußerst gebirgsschonendes Sprengverfahren. Durch erschütterungsarmes Sprengen ist die

Erschütterungsbelastung und die Auflockerung des umliegenden Mauerwerkes gering.

Durch profilgenaues Sprengen konnten diese Kontrollgänge mit nur geringen Nachprofilarbeiten wirtschaftlich hergestellt werden. Beinahe alle Kontrollgänge konnten auf eine Auskleidung mit Spritz- oder Ortbeton verzichten.

In der Tabelle 1 sind die vorher beschriebenen Verfahren miteinander verglichen. Die angegebenen Werte beruhen auf der Auswertung und auf der Erfahrung, die bei den Bauarbeiten an mehreren Talsperren gesammelt wurde. Alle Daten sind gemittelte Werte und können nur als grobe Anhaltswerte gesehen werden. Man sieht, dass die Vortriebsleistung pro Mannschicht und der Preis für die Auffahrung eines Kubikmeters unmittelbar zusammen hängen und nur bei dem Einsatz einer TBM größere Investitionen und Abschreibungen eine Rolle spielen.

Verfahren	TBM*)	händisch	Kernbohren	Sprengen
Leistung pro Mannschicht	1 m ³ / MS	0,4 m ³ / MS	0,2 m ³ / MS	0,7 m ³ / MS
Kosten / m ³	1.900 DM	3.500 DM	4.500 DM	2.500 DM
Vorteile	schnell	flexibel geringer Aufwand	flexibel erschütterungsarm	flexibel geringer Aufwand
Nachteile	unflexibel hohe Investition	Staub und Lärm- belastung für Mitarbeiter	hoher Zeitbedarf teuer	sorgfältige Überwachung erforderlich

*) Ohne Kosten für Investition und Abschreibung der TBM

Tabelle 1: Vergleich der verschiedenen Vortriebsverfahren

Genehmigungsverfahren für die Sanierung von Talsperren

Da der Bau und Betrieb einer Talsperre stets öffentliche Belange berührt, sind die Sanierungsmaßnahmen durch das öffentliche Recht geregelt. Nachfolgend ist der Genehmigungsprozess für eine Talsperrensanierung in NRW dargestellt. Andere Bundesländer haben ähnliche Vorschriften.

Im § 106 des Landeswassergesetzes von NRW ist ein Sanierungsgebot für alle unter dieses Gesetz fallende Einrichtungen, dazu gehören auch Talsperren, an die allgemein anerkannten Regeln der Technik vorgeschrieben. Die regelmäßigen Prüfungen hierzu werden durch das Staatliche Amt für Umweltschutz (STUA) durchgeführt. Diese Untersuchungen werden von den Betreibern der Talsperren getragen, und in der Regel vom Land bezuschusst. Wenn Abweichungen von den allgemein anerkannten Regeln der Technik festgestellt werden, muss innerhalb eines angemessenen Zeitraumes saniert werden.

In der Planungsphase wird von dem Betreiber einer Stauanlage ein technischer Sanierungsvorschlag

erarbeitet. Hierzu bedient sich der Betreiber im allgemeinen eines fachkundigen Planungsbüros. Für den ingenieurgeologischen und den statisch konstruktiven Bereich werden Fachplaner und Gutachter eingeschaltet. Bei einem sprengtechnischen Vortrieb in einer Staumauer sind die Sprengtechnik und die Erschütterungsproblematik zu begutachten. Aber auch Belange des Umweltschutzes oder des Denkmalschutzes müssen schon in der Planungsphase berücksichtigt werden.

Vielfach wird in dieser Planungsphase der zu erarbeitende Sanierungsvorschlag vom Talsperrenbetreiber bereits abgestimmt mit der Bezirksregierung als die zuständige Genehmigungsbehörde nach § 31 Wasserhaushaltsgesetz und dem STUA als technisch beigeordnete Behörde der Bezirksregierung. Nachdem die Bezirksregierung den Sanierungsvorschlag des Betreibers mit Hilfe von Fachbehörden und Gutachtern geprüft hat, wird eine Genehmigung oder eine Teilgenehmigung erteilt. Vielfach wird zunächst einmal ein generelles Konzept genehmigt, das im Verlauf der Bauarbeiten durch weitere Teilgenehmigungen konkretisiert wird. Anschließend werden vom Betreiber die verschiedenen Gewerke nach einer Ausschreibung an die ausführenden Firmen vergeben.

Die Überwachung der Arbeiten wird durch das STUA durchgeführt, welches hierzu wiederum weitere Fachbehörden oder Gutachter hinzuzieht. So kann für den Arbeitsschutz oder für die Sprengmittelaufbewahrung das Staatliche Amt für Arbeitsschutz (STAFa) eingeschaltet sein. Die sprengtechnische Überwachung, die Erschütterungsüberwachung und die entsprechende Beurteilung ist eine typische Aufgabe für einen Fachgutachter, z. B. von der DMT.

Nach Abschluss der Bauarbeiten findet eine Schlussabnahme durch das STUA statt. Hierzu werden Bauzustandsbesichtigungen durchgeführt. Diese Abnahmen können auch separat für einzelne Gewerke durchgeführt werden.

Zum Abschluss der Baumaßnahme wird ein Probestau durchgeführt. Unter Aufsicht des STUA werden verschiedene Parameter gemessen und ausgewertet. Neben den Sickerwassermengen, dem Sohlen- und dem Porenwasserdruck ist die Deformation des Bauwerks unter Last ein wichtiges Entscheidungskriterium. Wenn keine Beanstandungen aufgetreten sind und alle Messwerte im zulässigen Bereich liegen, erfolgt der Übergang in den Regelbetrieb.

Erfahrungen bei der sprengtechnischen Auffahrung in einer Staumauer

Inzwischen ist die Sprengtechnik erfolgreich mehr als ein halbes Dutzend Mal zur Auffahrung von Kontrollgängen in Staumauern angewendet worden. Die Kontrollgänge an der Möhne-, Urft-, Diemel-

, Glör- und Östertalsperre wurden vollständig mit Hilfe der Sprengtechnik aufgeföhren. Die Erfahrung aus diesen Projekten hat gezeigt, dass der Sprengvortrieb ein geeignetes Mittel für die Aufföhruug von Hohlräumen in derartigen Bauwerken ist.

Vor Beginn der Sprengarbeiten in einer Staumauer sollten die Anlieger informiert werden. Eine intensive Öffentlichkeitsarbeit mit der Vorstellung des Projektes in der Planungsphase und kontinuierliche Information der Anlieger schaffen die notwendige Akzeptanz.

Bei der Sanierung einer Gewichtsstaumauer soll das Eigengewicht der Mauer möglichst erhalten bleiben. Somit müssen die Querschnitte des Kontrollstollen auf ein Minimum begrenzt werden. Für nachfolgende Bohr- und Injektionsarbeiten innerhalb eines Kontrollganges ist aber eine Mindesthöhe von 2,5 bis 2,8 m anzustreben. Nur bei ausreichendem Platz kann eine Bohrlafette mit wirtschaftlichen Bohrgestängelängen verwendet werden.

Bis auf die Aufföhruug in der Möhnestaumauer, die einen etwa elliptischen Querschnitt hat, sind alle sprengtechnisch erstellten Stollen im Bogenprofil aufgeföhren worden.

Für die Sprenglöcher werden Handbohrhämmer mit einem Bohrlochdurchmesser von 32 bis 38 mm eingesetzt. Die Sprengarbeit erfolgte bisher ausschließlich mit kleinkalibrigen gelatinösen Sprengstoffen im Stollenkern und mit Sprengschnur im Außenkranz. Als Zündverfahren kam ausschließlich elektrische Zündung zum Einsatz. Die folgenden sprengtechnischen Daten geben einen Überblick über die wesentlichen Kennwerte.

Profil	Bogenprofil
Stollenbreite	1,6 m – 2,5 m
Stollenhöhe	2,2 m – 3,0 m
Anzahl der Bohrlöcher	40 – 50 Stück
Abschlagslänge:	0,5 m – 1,0 m
Zündzeitstufen:	18 – 25 Stück
Max Lademenge	400 g je Zündzeitstufe
Max. zul. Erschütterung	200 mm/s bei 1 m Abstand
Sprengstoff	gelatinöse, patronierte Sprengstoffe (25 – 28 mm) im Stollenkern Sprengschnur im Außenkranz

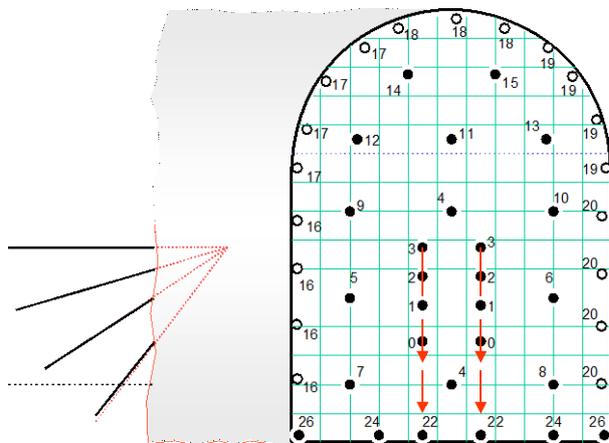


Bild 6: Beispiel für einen Fächereinbruch

Aus erschütterungstechnischen Gründen kommen nur Vorgabeeinbrüche in Betracht. Bei den bisherigen Vortrieben sind in der Regel Keil- oder Fächereinbrüche gebohrt worden.

Eine großkalibrigen Kernbohrung als Einbruch zur Erschütterungsminimierung in die Ortsbrust hat keine erkennbaren Vorteile bei den Erschütterungsmessungen und bei dem Ausbruchverhalten gebracht. Probesprengungen an der Urftalsperre haben gezeigt, dass Vorspaltsprengungen nicht für diesen Anwendungsfall geeignet sind [5].

Der Keileinbruch hat den Vorteil, dass er den meisten Vortriebsmannschaften vertraut ist und bei diesen Abschlagslängen einfach zu bohren ist. Nachteilig ist die relativ große Gebirgsverspannung im Einbruchbereich, die Ursache für unzulässig hohe Erschütterungen sein kann. Auch ist mit häufigeren Schäden an den Erschütterungsmesseinrichtungen (Sensoren) zu rechnen. Die Wurfrichtung des gelösten Gesteins in die Strecke weist auf die Messeinrichtungen in unmittelbarer Nähe der Sprengstelle. Probleme kann bei diesen kleinen Stollenbreiten auch die erforderliche Schrägstellung der Bohreintrichtung bereiten.

Beim Fächereinbruch werfen die Sprengladungen der Einbruchlöcher auf die Streckensohle, die Steinflugauswirkungen sind entsprechend geringer. Die Einbruchlöcher haben von Anfang an ausreichend Freiflächen, so dass die Gebirgsverspannung auch im Einbruchbereich niedrig ist. Da die Einbruchlöcher in der Regel fächerförmig nach unten geneigt sind, kann dieser Einbruch auch bei geringen Streckenbreiten gebohrt werden. Von Nachteil ist beim Fächereinbruch die erforderliche Bohrgenauigkeit mit sorgfältigem Einhalten der Bohrlochlängen, -Neigungen und -Ansatzpunkte. Die Verwendung einer Bohrschablone hat sich hierfür als sehr nützlich erwiesen.

Überwachung einer Sprengmaßnahme

Die besondere Situation, Sprengarbeiten in einer Staumauer, erfordert eine gründliche Überwachung und Dokumentation der Auffahrung. Dazu gehört der Nachweis, dass die statischen Belange des Bauwerkes zu keiner Zeit und auch auf lange Sicht nicht beeinträchtigt werden.

Für die Sprengarbeiten an der Östertalsperre und an der Glörtalsperre wurden zuerst die statischen Verhältnisse des Bauwerkes untersucht und die generelle Eignung für das Sprengverfahren festgestellt. Die Sprengarbeiten vor Ort begannen mit Probesprengungen. Dabei wurde mit einer reduzierten Lademenge und kurzen Abschlagslängen gesprengt. Die Auswertung der Sprengerschütterungen hat gezeigt, dass die Erschütterungen im zulässigen Rahmen blieben. Trotzdem wurde das Sprengschema noch einmal auf die Situation vor Ort angepasst und im Lauf der folgenden Sprengungen optimiert.

Nach diesen Probesprengungen konnte die Aufsichtsbehörde den sprengtechnischem Vortrieb zustimmen. Voraussetzung war jedoch eine umfangreiche Überwachung der gesamten Sprengarbeiten. Das bestehende Kontrollsystem aus Fremd- und Eigenüberwachung wurde durch eine laufende Überwachung durch die örtliche Bauleitung ergänzt.

Mit Hilfe von Prüfprotokollen wurden die einzelnen Schritte abgenommen und protokolliert. Diese Überwachung musste in die laufende Baustelle eingepasst werden, ohne dass der Arbeitsablauf gehemmt oder gestört wurde.

In den Protokollen wurden die unter anderem die folgenden Daten dokumentiert:

- Zeitpunkt der Sprengung
- Ort der Sprengung
- Bohrlochanordnung
- Zündzeitstufenverteilung
- Lademenge je Bohrloch
- Besonderheiten auf der Ortsbrust vor und nach der Sprengung
- Wasserzuflüsse
- Anordnung der Messwertgeber
- Gemessene Schwinggeschwindigkeiten und Frequenzen
- Seismogramme der gemessenen Erschütterungen

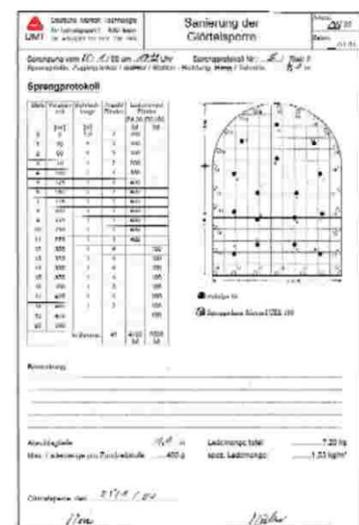


Bild 8: Beispiel für Prüfprotokolle

Diese Prüfprotokolle wurden am gleichen Tag dem STAFA, dem Gutachter für die statisch konstrukt-

tive Überwachung, dem Gutachter für die sprengtechnische und erschütterungsmesstechnische Überwachung und dem bauüberwachenden Planungsbüro zugestellt.

Der Schwerpunkt der Überwachung lag jeweils in den Erschütterungsmessungen. Die besondere Situation, dass hier in einem Bauwerk gesprengt wird und nicht in der Nähe eines Gebäudes, geht über die Grenzen der DIN 4510 hinaus. Zum Schutz der Staumauer gegen Schäden durch Erschütterungseinwirkungen wurde bei den bisherigen Auffahrungen die maximal zulässige Schwinggeschwindigkeit vorgegeben. In einem Abstand von 1 m von der Sprengstelle durften Schwinggeschwindigkeit bis max. 200 mm/s im Mauerwerk auftreten. Diese Forderung stellte hohe Ansprüche an die Sprengtechnik und an das Verfahren zur Erschütterungsüberwachung. Von der DMT-Fachstelle für Erschütterungsüberwachung wurde eine 18-Kanal Messanlage bei mehreren Staumauern eingesetzt. Der Erfassungsbereich von $v_{\max} = 1990$ mm/s und $f_{\max} = 1000$ Hz erlaubt Messungen im Nahbereich der Sprengung. Diese Geräteparameter gehen über die Anforderungen an Erschütterungsmesssysteme nach DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“, wie sie üblicherweise in der Baustellenüberwachung nach DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ eingesetzt werden, weit hinaus. Die Messsysteme nach DIN 45669 sind insbesondere aufgrund des eingeschränkten Frequenzbereichs ungeeignet für diese Aufgaben. Zum Einsatz kamen vier bis sechs Geber, die jeweils Erschütterungen in x, y und z-Richtung aufgenommen haben. Gemessen wurde im Stollen in einem Abstand von maximal 1m von der Sprengstelle. Ein zweite Geber wurde in Abstand von etwa 2 m zur Sprengstelle montiert. Diese Geber überwachen die Einhaltung des Grenzwertes, der sicherstellt, dass außerhalb der unmittelbaren Sprengzone keine schädliche Rissbildung im Mauerwerkskörper auftreten kann. Zwei weitere Messgeber wurden auf der Grundablassleitung und auf der Mauerkrone montiert. In Sonderfällen wurden zusätzlich kritische Bereiche wie die umliegende Bebauung messtechnisch mit erfasst. Es erfolgte eine zeitgleiche Registrierung aller Messwerte. Die Anlage konnte nach einer kurzen Einarbeitungszeit komplett von der örtlichen Bauüberwachung bedient werden. Vom Baustellenpersonal wurde die Sprengerschütterung nach jeder Sprengung ausgewertet.

Von besonderem Interesse waren stets die Erschütterungsauswirkungen auf die Mauer in unmittelbarer Umgebung der Sprengstelle, die Auswirkungen auf die Einbauten (z.B. Grundablassleitungen) und auf die Mauerkrone. Häufig wurden die Sprengarbeiten sehr sensibel von den Anliegern wahrgenommen. Bei Regressforderungen der Anlieger konnte eine gründliche Beweissicherung und eine lückenlose Dokumentation der gesamten Sprengarbeiten die notwendige Klarheit schaffen und als Nachweis dienen, in wie weit die umliegende Bebauung durch die Sprengarbeiten beeinflusst wurde. Besonders wichtig wird dies, wenn Forderungen der Anlieger erst Monate nach dem Abschluss der Maßnahme

gestellt werden. Bei keiner Maßnahme wurde die umliegende Bebauung geschädigt.

Fazit, Ausblick

Die jüngsten Projekte der sprengtechnischen Auffahrung von Kontrollgängen in Staumauern haben gezeigt, dass die Sprengtechnik ein wirtschaftliches und sicheres Verfahren zur Auffahrung von Hohlräumen auch in sensiblen Konstruktionen ist. Diese besondere Situation erfordert jedoch eine intensive Betreuung und Überwachung.

Während des Vortriebes sollten die Sprengarbeiten ständig überwacht werden und gegebenenfalls das Sprengbild mehrmals variiert und an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden. Durch diese Optimierung des Sprengbildes und der Lademenge kann ein äußerst schonender Sprengvortrieb bei wirtschaftlichen Vortriebsleistungen erreicht werden.

Auch in Zukunft wird die Sprengarbeit durch den Einsatz von erschütterungsarmen Techniken ihren festen Platz bei der Sanierung und Modernisierung von Gewichtsstaumauern haben und damit dazu beitragen, dass diese Staumauern viele weitere Jahre sicher und wirtschaftlich ihren Aufgaben gerecht werden können.

Quellenverzeichnis

- [1] Rißler P. (1998); *Talsperrenpraxis* R. Oldenbourg; Verlag München Wien
- [2] Königeter, J. (1991) *Die Entwicklung des Talsperrenbaues in Deutschland*; Deutsche Talsperrenbauer, Broschüre des 17. ICOLD- Kongress in Wien 1991
- [3] Aberle, B. (1994): *Qualitätssicherung bei den Bohr- und Ankerarbeiten zur Instandsetzung der Ederstaumauer*; Edertalsperre 1994; Wasserschiffahrtsdirektion des Bundes; Seite 105 – 108
- [4] Rißler P. (2000); *Maschinelles Auffahren eines Drainagestollens unter der Ennepestaumauer* Wasserwirtschaft 05/ 90, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Wiesbaden;
- [5] Polczyk H., Wittke W., Küpper H.-J. (1997): *Sprengtechnischer Vortrieb eines Kontrollgangs in einer alten Talsperre unter Stau*; Tunnelbau 1997, Verlag Glückauf GmbH, Essen; S. 184- 202
- [6] Wild, H. W. (1998): *Sprengarbeiten in der Staumauer einer Talsperre*, Glückauf 134 Nr. 6 Glückauf Verlag, Essen; Seite 276 – 283
- [7] Hoppmann, Ch., Aberle B., Pierau B. und Prof. Wittke (1997): *Sanierung der Diemelstaumauer*; Informationen 1996/ 97 der Wasserschiffahrtsdirektion Mitte; Seite 106 – 112