



„Meilensteine am Sylvensteindamm“ Das neue Dichtungs- und Kontrollsystem

„Milestones at the Sylvenstein dam“ New Sealing and Control System



„Investition in Ihre Zukunft“



„Sylvensteinspeicher – Ertüchtigung des Dammes“
wurde von der
Europäischen Union aus dem
Europäischen Fonds für regionale Entwicklung
und vom Freistaat Bayern kofinanziert.

Abb. 1: Luftbild der Sperrenstelle am Sylvenstein mit Bentonitaufbereitung (vorne rechts), Beton-Mischwerk (Bildmitte) und Baubüro und Baulager (hinten rechts)

Fig. 1: Aerial image of Sylvenstein dam site with bentonite reconditioning facilities (in the front right), concrete mixing plant (in the middle) and building site office with building site stockyard (in the background right)

Bildautor: Bernd Georgi

„Meilensteine am Sylvensteindamm“

Das neue Dichtungs- und Kontrollsystem

Zusammenfassung

Der Sylvensteinspeicher wurde in den Jahren 2011 bis 2015, nach über 50-jähriger Betriebszeit durch eine zusätzliche Dichtwand (Zweiphasen-Schlitzwand) im bestehenden Damm und Untergrund sowie mit einem neuen Sickerwasser-Messsystem - aus Drainagepfählen und Kontrollstollen - an den heutigen Stand der Technik angepasst. Diese Ertüchtigungsmaßnahmen stellen auch eine Vorsorge gegen die Folgen möglicher Klimaveränderungen dar, da die Größe und die zeitlich enge Abfolge der letzten Hochwasserereignisse eine künftig stärkere Beanspruchung der Talsperre erwarten lassen. Die Baumaßnahmen mit Gesamtkosten von rund 23 Mio. Euro wurden aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

Einführung

Der Sylvensteinspeicher - so benannt nach einer natürlichen Engstelle im oberen Isartal - staut neben der Isar auch deren Seitenzuflüsse Dürrach und Walchen auf. Der 48 m hohe und 180 m lange Damm liegt auf einem 100 m tiefen Taleinschnitt, den sich der Fluss in den Hauptdolomit geschnitten und wieder mit Geschiebe verfüllt hat. Die Erosionsrinne wurde beim Bau in den 1950er Jahren durch einen 7-reihigen Injektionsschleier mit Tonzement abgedichtet. Der schlanke zentrale Dichtungskern besteht aus einem künstlich zusammengesetzten Erdbeton (Kies, Feinsand, Schluff mit 1% Natriumbentonitzugabe) und beidseitig anschließenden Filtern aus Moränenkies. Seit seiner Inbetriebnahme im Jahr 1959 dient der Speicher durch Zugabewasser in Trockenzeiten dem Isarabfluss und sichert den Hochwasserschutz. Zugleich wird umweltfreundlicher Strom für das öffentliche Netz erzeugt. Daneben hat er sich zu einem Anziehungspunkt für Naherholungssuchende und den Fremdenverkehr entwickelt.

In den Jahren 1994 bis 2001 wurde der älteste staatliche Wasserspeicher Bayerns durch den Bau einer zweiten Hochwasserentlastung mit einer Leistungsfähigkeit von bis zu 400 m³/s und die Vergrößerung des Hochwasserschutzraumes um 20 Mio. m³, mittels einer Erhöhung des Dammes um 3 m, technisch an die Vorgaben der Talsperren-DIN 19700 angepasst. Durch Setzungen des Dammbauwerks oberhalb der engen und tiefen eiszeitlichen Erosionsrinne waren Risse im Dammkern entstanden, die in zwei Injektionskampagnen 1972 und 1987/88 verpresst wurden. Mit der Verpressung wurden aber auch Teile des luftseitigen Kaminfilters in Mitleidenschaft gezogen. Über Alterungsprobleme der bentonitvergüteten Dichtung wurde bereits in den 1990er-Jahren berichtet. Neuere Untersuchungen und Probebohrungen in den Dammuntergrund brachten zudem Hinweise auf Bereiche erhöhter Durchlässigkeiten in der Damm-

gründungsebene und der Untergrundabdichtung. Genauere Untersuchungen am Sickerwasser-messsystem (Kamera-Befahrungen und hydraulische Langzeitversuche) führten zum Ergebnis, dass vermutlich als Folge der Injektionen mögliches Sickerwasser nicht mehr in die Sickerwasserwanne gelangt, ein freier Abfluss aus dieser Wanne u. a. auch durch frühere Dammsetzungen eingeschränkt ist. Das zur Dichtungskernüberwachung ergänzend eingebaute Netz von Porenwasserdruckgebern zeigte zudem stellenweise abdriftende Messwerte. Die Ergebnisse der Untersuchungen und ihre kritische Bewertung unter Einbeziehung der gültigen DIN 19700 (2004) ließen es sinnvoll erscheinen, mit den heutigen technischen Möglichkeiten eine zusätzliche Dichtung in den Dammkern und Untergrund einzubauen sowie ein komplett erneuertes Messsystem für Sickerwasser vorzusehen.

In einer Bohrkampagne wurden im Jahr 2009 der Damm, der alluviale Untergrund und der angrenzende Fels erkundet. Zunächst wurden sieben Bohrungen, bis zu 140 Meter Tiefe, im Bereich der vorhandenen Kerndichtung abgeteuft. Die anstehenden, stark grundwasserführenden Talfüllungen/Isaralluvionen bestehen aus unterschiedlich mächtigen sand- und schluffreichen Kiesen bis hin zu bindigen Böden aus Seekreide. Das Erkundungsprogramm zu Boden- und Gebirgskennwerten analysierte aus zunächst 700 Metern Bohrkernmaterial u. a. Scherparameter, Reibungswinkel, Kohäsion, Durchlässigkeitsbeiwerte, Korngrößenverteilungen und Dichteangaben für einzelne Dammzonen, Untergrund und Fels. In den Jahren 2011 und 2012 folgten weitere Erkundungsbohrungen. Die Untersuchungen wurden vom Zentrum Geotechnik der Technischen Universität (TU) München im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes in der Geotechnik übernommen.



Das Ertüchtigungskonzept im Überblick

Mit den nachfolgend beschriebenen Ertüchtigungsmaßnahmen (Abb. 2 und Abb. 3) mit einer neuen, leistungsfähigen Dichtung und einem exakten Sickerwasser-Überwachungssystem wurde der Damm nach über 50-jähriger Betriebszeit auf den heutigen Stand der Technik gebracht und ist langfristig gegen die Folgen möglicher Klimaveränderungen mit den zu erwarteten stärkeren Beanspruchungen bei großen Hochwasserereignissen gerüstet. Bis zum Jahr 2009 wurden Vorüberlegungen der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung angestellt. Nach Durchführung eines EU-weiten VOF-Verfahrens wurden die Planungen unter Federführung des Büros CDM Smith im Jahr 2011 abgeschlossen. Der Speicher liegt in einem wertvollen Naturraum, der Staudamm selbst im Fauna-Flora-Habitat (FFH) -

Gebiet. Um das äußere Erscheinungsbild des Bauwerks nicht zu verändern, wurden Lösungsansätze durch Maßnahmen im Damminnern verfolgt. Für die Verbesserung der Kerndichtung kamen vorwiegend Schlitzwandvarianten mit unterschiedlicher Lage zu Dammachse und -kern in Betracht. Auch eine Doppelschlitzwand mit Querschotts als eine Möglichkeit zur späteren Überwachung wurde angedacht. Lösungsvarianten mit Bohrpfehlwänden schieden wegen der fehlenden Maßgenauigkeiten bei der lotrechten Herstellung in der geforderten Tiefe aus. Injektionsvarianten erfüllen die gewünschte flächenhafte Verbesserung des Kerns nicht, zudem sind dabei weitere Beeinträchtigungen des gegliederten Dammquerschnitts nicht auszuschließen.

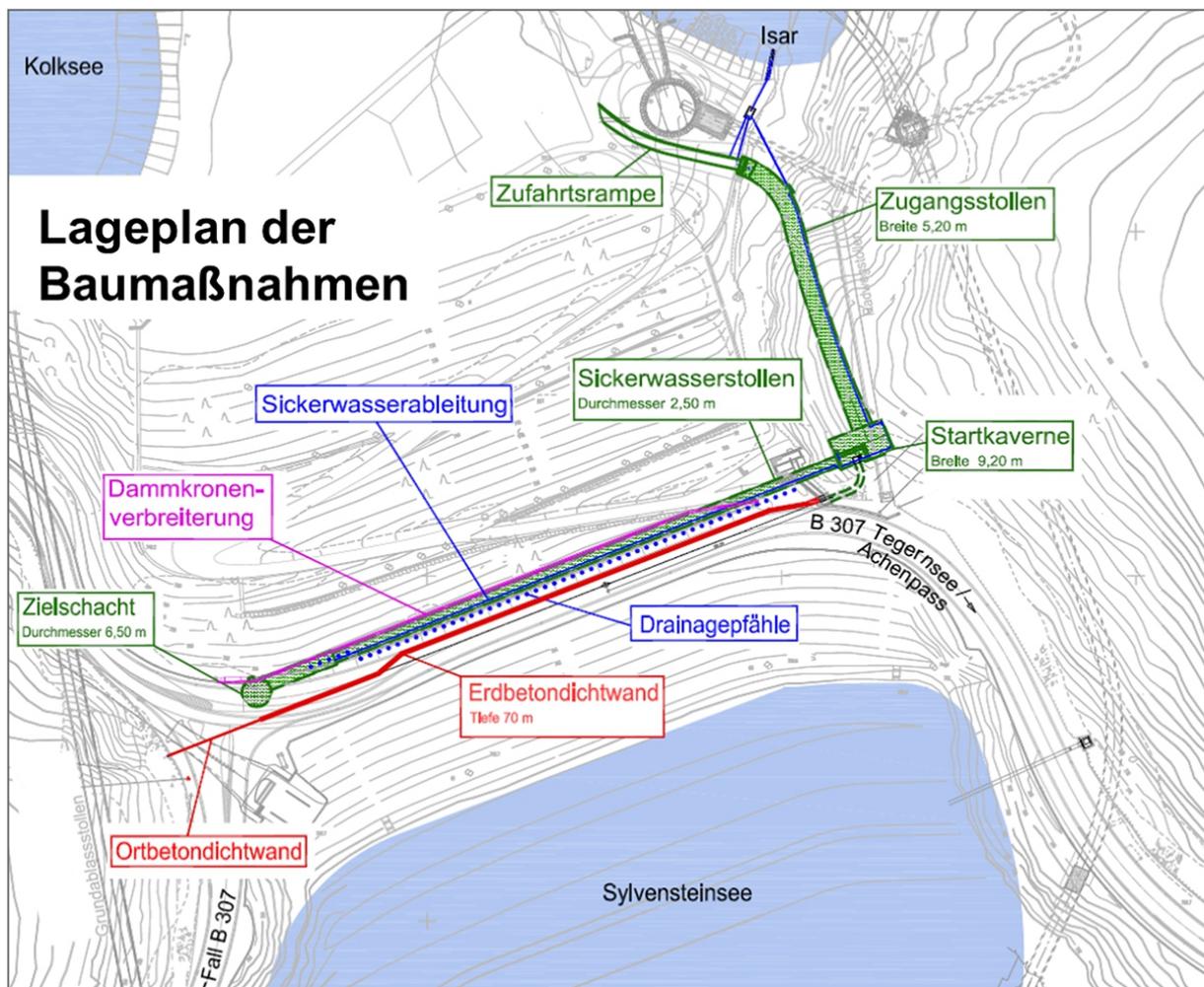


Abb. 2: Lageplan zu den Ertüchtigungsmaßnahmen am Sylvensteinspeicher (Dichtwand, Sickerwasserstollen/Kontrollgang, Drainagepfähle)

Fig. 2: Site map of retrofitting measures (cut-off wall, control gallery and drainage piles)

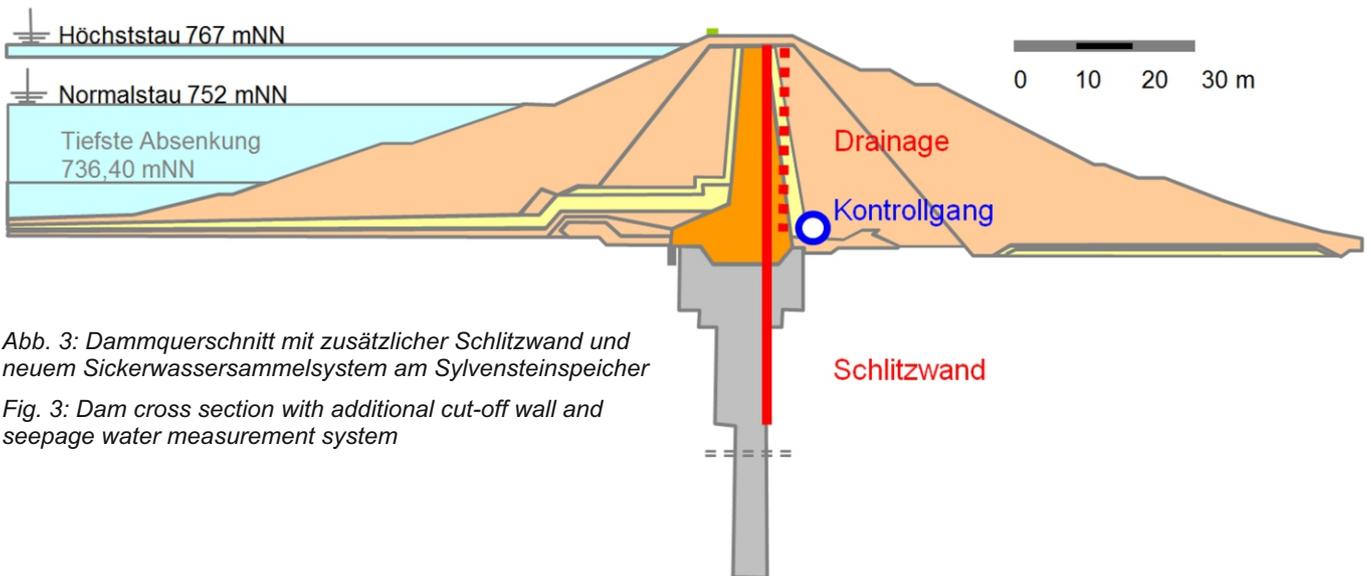


Abb. 3: Dammquerschnitt mit zusätzlicher Schlitzwand und neuem Sickerwassersammelsystem am Sylvensteinspeicher
 Fig. 3: Dam cross section with additional cut-off wall and seepage water measurement system

Als beste Lösung erwies sich eine 2-Phasen-Schlitzwand, deren Lage im Kern gegenüber der Dammachse geringfügig zur Luftseite versetzt wird. Damit sollte zum einen der notwendige Arbeitsraum auf der Dammkrone für das schwere Baugerät geschaffen werden, zum anderen sollte ein Teil der vorhandenen Porenwasserdruckgeber für Messungen in der Bauzeit erhalten werden. Die angemessene Tiefe der Schlitzwand wurde durch mehrere Erkundungsbohrungen in den Dammuntergrund (s. o.) und Finite-Elemente-Berechnungen ermittelt. Die Baumaßnahmen wurden im Zeitraum 2011-2015 durchgeführt. Als Vorbereitungsarbeiten sind die aus baubetrieblichen und baustatischen Gründen notwendige Kronenverbreiterung und die zur Baustellenumfahrung an der B307 erforderliche Behelfsbrücke zu nennen (Abb. 4). Damit konnten die wichtigen Verkehrsbeziehungen zwischen dem Inntal bzw. Achenseegebiet und dem oberen Isartal auch während des Baues der Dichtwand immer aufrecht erhalten werden.



Abb. 4: Behelfsbrücke zur Umfahrung der Dammkrone während der Dichtwandherstellung
 Fig. 4: Temporary bridge as a bypass for the dam crest during the cut off works



Zur Erschließung der Baustelle am Dammfuß wurde eine neue Brücke über einen der beiden Kolkseen erstellt (Abb. 5 und Abb. 15).

Abb. 5: Neue Brücke über den Kolksee zur Erschließung der Baustelleneinrichtung und der Stollenbaustelle am Fuß des Sylvensteindamms
 Fig. 5: New built bridge crossing the scour basin for exploitation of the building site equipment and the tunneling construction site downstream the dam



Das Ertüchtigungskonzept gliedert sich im Wesentlichen in drei Kernbereiche:

Schlitzwand:

Einbau einer bis zu 70 m tiefen Schlitzwand in den Dichtungskern. Diese reicht noch rund 25 m tief unter die Dammgründungsebene in den ursprünglichen Talgrund der Isar (Abb. 7). Die Schlitzwand wurde als Zweiphasenwand im Jahr 2012 mit Fräs- und Greifergeräten durch die Firma Bauer Spezialtiefbau hergestellt.

Kontrollgang:

Zum Bau des Kontrollganges musste im Jahr 2013 am Fuß der östlichen Felsflanke (Sylvensteinwand) zunächst ein Zufahrtsstollen in den Fels gesprengt werden. Von der Startkaverne am Ende dieses Stollens aus wurde mit einer Tunnelbohrmaschine der unterirdische, horizontale Kontrollgang durch den Damm in die gegenüberliegende, westliche Felsflanke des Hennenköpfls hinein gebohrt (Abb. 12). Durch den dort zwischenzeitlich ebenfalls gesprengten, 43 m tiefen, vertikalen Zielschacht konnte die Tunnelbohrmaschine wieder geborgen werden. Die Arbeiten wurden von der Firma Wayss & Freytag Ingenieurbau ausgeführt.

Drainagepfähle:

Zur Erfassung und genauen Lokalisierung möglicher Sickerwassermengen wurden im Jahr 2014 durch die Firma Porr 54 Drainagepfähle mit einer Tiefe von ca. 41 m zwischen Schlitzwand und Kontrollgang hergestellt (Abb. 12). Ein darin befindliches Drainrohr erfasst das aus möglichen Dichtungsleckagen stammende Sickerwasser, welches sich im Pfahlfuß sammelt und von dort in den neuen Kontrollgang geleitet und gemessen wird.

Abschließend wurden im Jahr 2015 die Straßen- und Landschaftsbauarbeiten sowie der Innenausbau des Stollensystems ausgeführt.

Während der gesamten Bauzeit hat der Sylvensteinsee seine Kernaufgaben Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung ohne Einschränkungen erfüllt. Die Ertüchtigungsmaßnahme wurde zu 50% aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert. Damit werden zwei strategische Ziele verfolgt: 1. die Förderung der Schaffung gleichwertiger Lebens- und Arbeitsbedingungen und 2. die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit, des nachhaltigen Wachstums und der Beschäftigung. Mit der Bereitstellung von Mitteln für die Ertüchtigung des Sylvensteinsees trägt der EFRE dabei insbesondere zur Risikovorsorge und zum Ressourcenschutz bei.

Bau der Schlitzwand

Die vorab erkundeten Talalluvionen bestehen aus Wechsellagerungen von sand- bzw. schluffreichem Kiesmaterial, teilweise mit Einlagerungen von Seekreideschichten. Innerhalb des in der früheren Bauzeit mit Ton-Zementsuspension verpressten Untergrunds wurden stark schwankende Durchlässigkeiten festgestellt.

Um Suffusionssicherheit zu gewährleisten - d. h. das Abwandern von Feinteilen verhindern zu können - wurde für die geplante Schlitzwand eine Mindesttiefe von 60 m ermittelt. Die letztlich gewählte Tiefe von 70 m ermöglichte die Einbindung in die dort befindliche großflächige Seekreideschicht und war mit der vorgesehenen technischen Ausrüstung gerade noch herstellbar. Für die seitlichen Widerlager des Dammes war eine sichere Andichtung an den Fels, optional eine Einfräsung in den kompakten Hauptdolomit ausgeschrieben.

Wegen der großen Tiefe wurde eine 1 m starke Dichtwand aus Tonbeton gewählt, die als Zweiphasenwand herzustellen war. Um Verformungskräfte aufnehmen zu können, wurden eine Mindestzugfestigkeit von 500 kN/m² sowie eine maximale Steifigkeit von 450 MN/m² gefordert. Die Durchlässigkeitsanforderung wurde zu $k_f < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s (Laborwert) festgelegt. Durch diverse Versuchsreihen konnte die Schlitzwandmischung vorab optimiert werden.

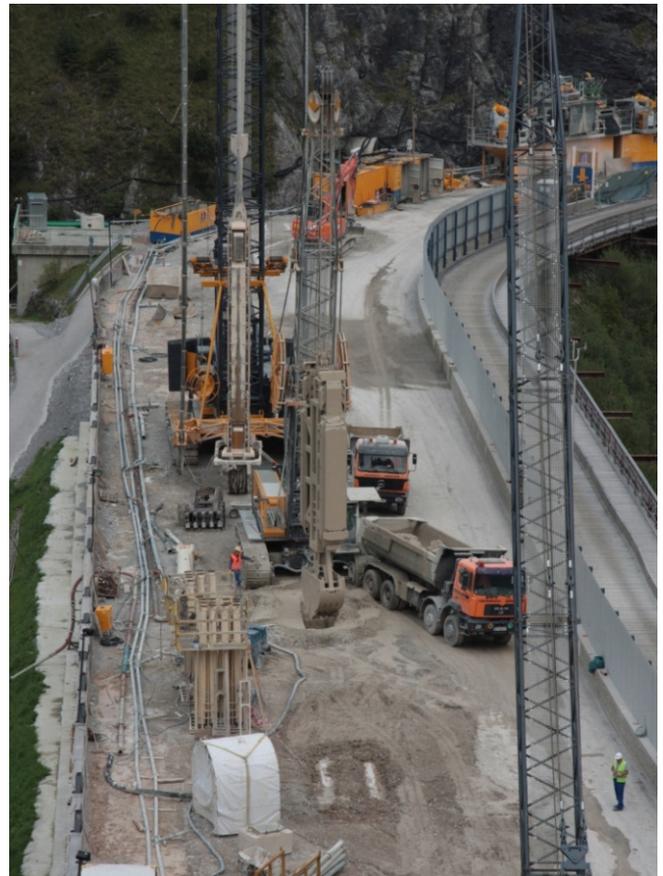


Abb. 6: Beengte Platzverhältnisse auf der Dammkrone während des Einsatzes von Fräse und Greifer

Fig. 6: Constricted room at the dam crest during the works of trench cutter and grab



Abb. 8: Schlitzwandgreifer und Schlitzwandfräse der Firma Bauer Spezialtiefbau im Einsatz

Fig. 8: Slurry grab and trench cutter belonging to the Bauer Group

Die lotrechten Abweichungen der fertigen Schlitzwand wurden mittels zweier unabhängiger Messverfahren überprüft und waren deutlich niedriger als die geforderte Maßhaltigkeit: In 55 m Tiefe sollte eine Mindest-Dichtwandstärke (in der Fuge zweier benachbarter Lamellen) von 45 cm eingehalten werden, in einer Tiefe von 70 m mindestens 20 cm. Die tatsächlichen Abweichungen lagen im Mittel nur bei rund 6 cm. Auch der Maximalwert lag mit 11,5 cm weit unter der zulässigen Grenze.

Um eine hohe Versorgungssicherheit zu erreichen, wurde der Schlitzwand-Beton in einer Baustellen-Mischanlage am Dammfuß hergestellt und über eine Rohrleitung zur Dammkrone gefördert (Abb. 1). Die Qualitätskontrolle durch die Eigenüberwachung der Baufirma mittels permanenter Beprobung von Bentonit-Stützsuspension und Dichtwandmasse auf der Baustelle (u. a. Fließgrenze, Filterkuchendicke, Wichte, pH-Wert, Konsistenz, Festigkeit, Steifigkeit und Durchlässigkeit) wurde durch eine Fachbauüberwachung und Fremdüberwachung ergänzt. Alle Proben des Dichtwandmaterials entsprachen den vereinbarten Parametern.

Während der Herstellung der Dichtwand wurden mit Hilfe der verbliebenen Porenwasserdruckgeber die Veränderungen in Damm und Untergrund in einem



intensiven Messprogramm begleitend beobachtet. So konnte frühzeitig (noch ohne das neue Sickerwassermesssystem) auch der Nachweis für die erzielte Dichtwirkung erbracht werden.



Abb. 9: Schlitzwandgreifer und Schlitzwandfräse der Firma Bauer

Fig. 9: Slurry grab and trench cutter belonging to the Bauer Group

Abb. 10: Schlitzwandarbeiten mit Fräse (hinten) und Greifer (mitte) auf der Dammkrone des Sylvensteinspeichers im Sommer 2012; Kronenverbreiterung durch luftseitige Winkelstützmauer; Seeabsenkung ca. 5 m

Fig. 10: Cut-off construction with trench cutter (behind) and grab (middle) on the crest of the Sylvenstein Dam during summer 2012; downstream widening of the dam crest with an angular retaining wall; about 5 m lowered reservoir water level



Die Baustelle war als 5-Tage-Woche im 24 h Schichtbetrieb organisiert (Abb 11). Die mittleren Abteufzeiten für einen 70 m tiefen Schlitz lagen bei rund 24 h, der Betoniervorgang benötigte etwa 12 h. Damit konnten durchschnittlich vier Lamellen pro Arbeitswoche hergestellt werden. Der gesamte Bauabschnitt wurde zwischen April und November 2012 ausgeführt, die Schlitzwandarbeiten selbst dauerten von Mai bis August.

Während der Bauarbeiten konnte der Straßenverkehr über die Dammkrone durch eine einspurige Fahrbahn mit Ampelsteuerung über eine Behelfsbrücke (Gewichtsbeschränkung bis 3,5 t, Abb. 4) auf der wasserseitigen Dammböschung gewährleistet werden.

Der Normalstau im See wurde zur Erhöhung der Resilienz des Gesamtsystems während der Bauzeit um ca. 5 m abgesenkt (Abb. 10). Die wasserrechtlich verankerten Funktionen des Sylvensteinspeichers (Niedrigwasseraufhöhung und Hochwasserschutz) konnten während der gesamten Bauzeit aufrechterhalten werden.



Abb. 11: Die Wetterverhältnisse während der Dichtwandherstellung führen zu teilweise schwierigen Randbedingungen (Blitzschlaggefahr, Niederschläge, Verteilung des Bentonits, Straßenreinigung etc.)

Fig. 11: Partly difficult boundary conditions due to weather conditions (risk of lightning stroke, rainfall, street cleaning due to bentonite contamination)

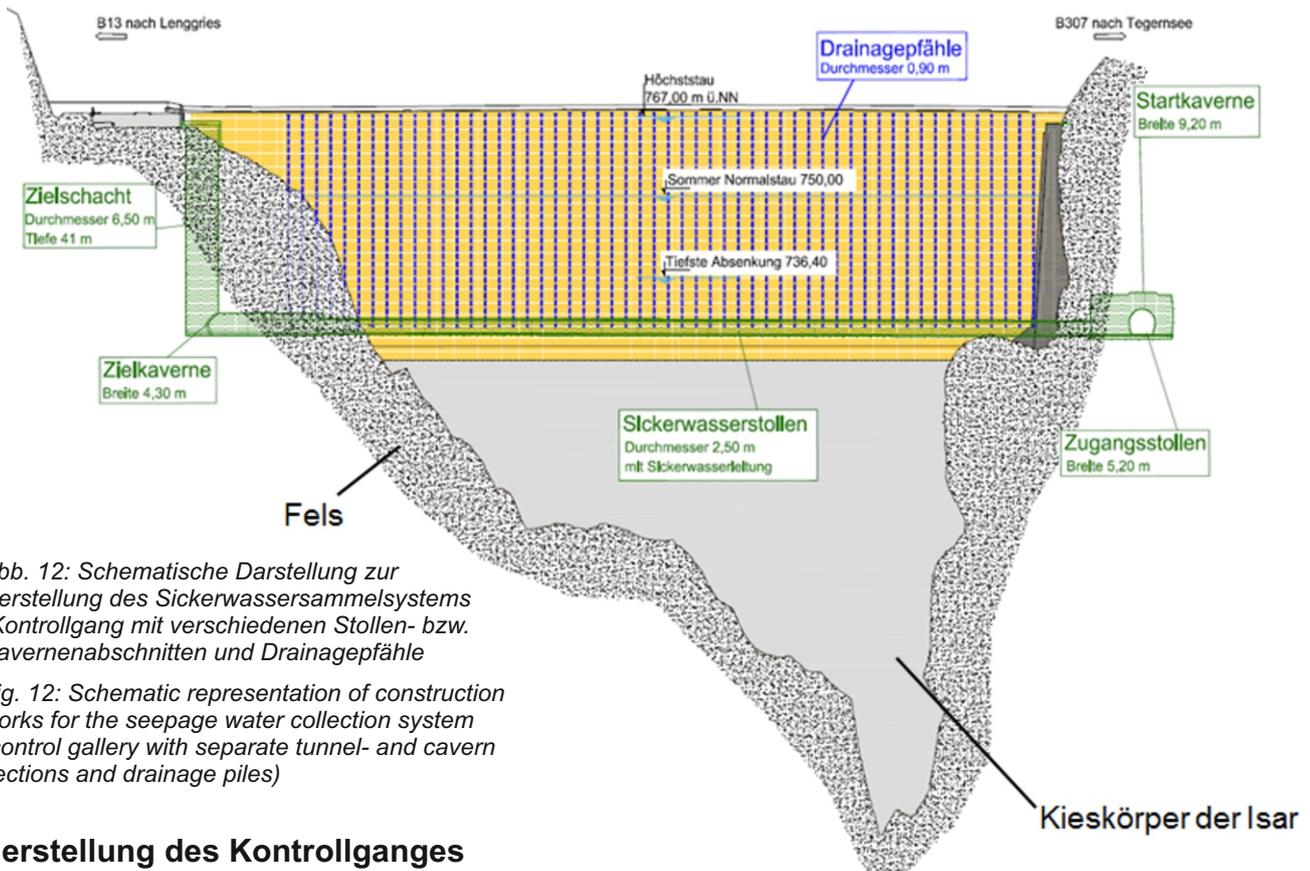


Abb. 12: Schematische Darstellung zur Herstellung des Sickerwassersammelsystems (Kontrollgang mit verschiedenen Stollen- bzw. Kavernenabschnitten und Drainagepfähle)

Fig. 12: Schematic representation of construction works for the seepage water collection system (control gallery with separate tunnel- and cavern sections and drainage piles)

Herstellung des Kontrollganges

Zum Bau des Kontrollganges musste am Fuß der Sylvensteinwand ein ca. 90 m langer Zufahrtsstollen (Höhe = 5 m, B = 4 m) und an dessen Ende eine Startkaverne im Hauptdolomit hergestellt werden (Abb. 12).



Abb. 13: Montage der Tunnelbohrmaschine (TBM) auf der Schildwiege, dahinter Presseneinrichtung mit 6 Hydraulikzylindern für 2.500 t Schubkraft, darüber Steuerstand für den Vortrieb

Fig. 13: Installation of the tunnel boring machine, behind it: press station with 6 hydraulic cylinders for 2.500 t thrust, above that: the driving control station

Der Ausbruch in gebirgsschonender Sprengtechnik offenbarte ein kompaktes, standfestes Gebirge, so dass - bis auf die Spritzbetonsicherung (Abb. 14) - auf eine Gebirgssicherung verzichtet werden konnte. In der ca. 16 x 8,50 x 7,50 m (LxBxH) großen Startkaverne wurde eine Pressstation aufgebaut, mit der die Vollschnitt-Tunnelbohrmaschine (TBM) (Abb. 13) sowie die nachfolgenden Stahlbetonrohre durch die rund 175 m lange Durchörterungsstrecke aus Dolomit und geschüttetem Damm gedrückt wurden. Für den Rohrvortrieb wurde eine Herrenknecht-Maschine vom Typ AVND 2500 AB mit einem Schneidradantrieb von 400 kW eingesetzt. Beim Schneidrad am Kopf der TBM handelte es sich um ein sogenanntes Mix-Schild (Ø 3,05 m), besetzt mit Diskenmeißeln und Schälmes-sern zum Durchfahren von Fels- und Lockergestein. Die Stützung der Ortsbrust beim Vortrieb erfolgte bei 0,5 bar Überdruck durch eine Bentonitsuspension, die zugleich als Feststoff-Flüssigkeitsgemisch den Abtransport des gelösten Materials übernahm. Dazu wurde die Bentonitsuspension in der Separieranlage vom Ausbruch gereinigt und mit Frischmaterial angereichert in den Kreislauf zurückgespeist. Die z. T. schleifenden Übergangsbereiche zwischen gewachsenem Fels und geschüttetem Damm wurden vor dem Durchfahren der TBM mit Hartgelinjektionen stabilisiert.



Abb. 14: Sicherung der Startkaverne mit Spritzbeton vor dem Einbau der Presseneinrichtung

Fig. 14: Covering of the starting cavern with spray concrete before the installation of the press station

Unmittelbar hinter der Tunnelbohrmaschine wurden zur endgültigen Sicherung des Ausbruchs die fertigen Rohrabschnitte mit einer Einzellänge von 2,80 m (Rohrlager siehe Abb. 15), einem Außendurchmesser von 3,00 m (innen \varnothing 2,40 m) und einem Gewicht von 18 t eingesetzt und von der hydraulischen Pressenstation mit einem maximalen Pressendruck von rund 2.500 t nachgeschoben (Abb. 16).



Abb. 16: Die ersten Rohre folgen der bereits durch den Sylvensteinfelsen gefahrenen TBM in den Dammbereich

Fig. 16: First pipe sections following the tunnel boring machine which has already passed the Sylvenstein rock

Die einzelnen Rohre der mit einer Gliederkette vergleichbaren Rohrleitung sind untereinander durch eine außen liegende Edelstahlmanschette mit Gummiring gegen Wasserdruck abgedichtet.

Aus Sicherheitsgründen wurde am Ende der Vorschubeinrichtung (zwischen den Pressen und dem jeweils letzten Stahlbetonrohr) ein Stahlschott als Rettungsschleuse mitgeführt, um bei einem eventuellen Wassereinbruch an der Ortsbrust oder bei einem Brand im Stollen den Baustellenbereich abschirmen zu können.

Die Reduzierung der Mantelreibung beim Vortrieb des knapp 175 m langen Stollens erfolgte durch das Einpressen von Bentonit in den schmalen Ringspalt zwischen dem geringen „Überschnitt“ des Bohrkopfs und dem Tunnelrohr (Abb. 17). Dazu waren separate Öffnungen in jedem 3. Rohrabschnitt vorgesehen. Zur gegebenenfalls erforderlichen weiteren Verringerung der Pressenkräfte waren vorsorglich zwei Dehner-einheiten in der Rohrleitung eingebaut, die aber nicht zum Einsatz kamen. Als Vortriebsleistung konnten im 24 h-Schichtbetrieb als Spitzenleistung acht Rohrabschnitte eingebaut werden, d. h. 22 Meter pro Tag. Rund 40 % des Zeitaufwands waren für den reinen Vortrieb, 60 % für das Öffnen und Schließen der Vorschubeinheit sowie das Einsetzen eines neuen Rohrabschnitts erforderlich.

Abb. 15: Neue Brücke über den Kolksee, Baustelleneinrichtung und Rohrlager am Fuß des Sylvensteindamms

Fig. 15: New built bridge crossing the scour basin, building site equipment and pipe rack below the Sylvenstein dam



Abb. 17: Stollenvortrieb, Laser, Transport- und Versorgungsleitungen. Die Bentonit-Injektion zur Reduzierung der Mantelreibung erfolgt über die gelbe Injektionsleitung an Firse und Ulmen

Fig. 17: Tunneling, laser, transport lines and supply lines

Die Zielkaverne wurde nach 16 Tagen Rohrvortrieb erreicht (Abb. 18). Die Abweichungen des Stollens von der Sollachse betragen in der Höhenlage weniger als 2 cm, in der Seitenlage bis zu 4 cm und sind als äußerst gering zu bewerten. Am Ende der Vorpressestrecke mussten vorab ein rund 20 m langer horizontaler Zielstollen und ein 43 m tiefer senkrechter Zielschacht (Ø 6,50 m) ausgesprengt werden (Abb. 12), über den die TBM - in zwei Teile zerlegt - wieder herausgehoben werden konnte. Der Zielschacht dient nun - ausgestattet mit einem Treppenturm (Abb. 19) - als betrieblicher Notausstieg.

Aus Sicherheitsgründen wurde der Vortrieb des Stollens im Schutze der neuen Dichtwand durchgeführt. Der Betrieb der Talsperre war deshalb während der gesamten Vortriebsarbeiten nicht eingeschränkt, eine Seespiegelabsenkung war bei diesem Bauabschnitt nicht erforderlich.



Abb. 18: Bohrkopf der TBM in der Zielkaverne nach Durchörtern der rund 175 m langen Stollenstrecke

Fig. 18: Drill head of the tunnel boring machine in the target cavern after drilling through the roughly 175 m long tunnel



Abb. 19: Der zum Ausbau der Tunnelbohrmaschine benötigte Zielschacht dient künftig als Fluchtweg; hierfür wurde ein rund 40 m hoher Treppenturm eingebaut.

Fig. 19: The target shaft, required for the removal of the tunnel boring machine serves henceforth as emergency exit; therefor an around 40 m high stair tower was installed.

Juni-Hochwasser 2013

Zu Beginn der Stollenbauarbeiten führten heftige Niederschläge zum Junihochwasser 2013. Der steuerbare Hochwasserrückhalteraum des Sylvensteinspeichers war am 3.6.2013 schließlich zu fast 100 % gefüllt. Der Rückhalt lag bei ca. 61 Mio. m³. Die alte Hochwasserentlastung ist erstmals seit ihrer Errichtung im Jahre 1954 vom 3.6. bis 4.6. in Betrieb gegangen. Der maximale Zufluss zum Speicher lag bei 675 m³/s (2.6.2013 um 17 Uhr) zu diesem Zeitpunkt konnten jedoch nur 60 m³/s abgegeben werden.

Da die Situation im niederbayerischen Bereich der Isar und an der anschließenden Donaustrecke besonders kritisch war, wurde in ständiger Abstimmung zwischen dem Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz und dem Wasserwirtschaftsamt Weilheim versucht, die Bewirtschaftung der Speicherräume für diese Strecken zu optimieren. Mit der neuen Dichtwand im Damm konnte ohne Bedenken der höchste jemals erreichte Stau angesteuert und zur Entlastung der Unterlieger lange gehalten werden (Abb. 20). So war es möglich, den Abfluss in München von 1.300 m³/s (ohne Speicherwirkung) auf 770 m³/s fast zu halbieren. Nennenswerte Schäden traten – im Gegensatz zu anderen Gewässern – entlang der Isar nicht auf. Während des Hochwasserereignisses wurden die Sprengarbeiten an den beiden Stollenbaustellen aus Sicherheitsgründen unterbrochen.

Abb. 20: Dammkrone und alte Hochwasserentlastung bei Erreichen des bisher höchsten Speicherwasserstandes am 3.6.2013

Fig. 20: Dam crest and the older spillway when reaching the highest reservoir level until now on June 3rd 2013





Die Drainagepfähle

Zur Erfassung möglicher Sickerwassermengen wurden ab Mai 2014 zwischen Schlitzwand und Kontrollgang sogenannte Drainagepfähle mit einer Tiefe von ca. 41 m hergestellt. Die 54 Großbohrpfähle DN 900 wurden als verrohrte Pfähle in einem Achsabstand (zueinander) von 2,80 m (Abb. 21) mit einem Schneckenbohrgerät erstellt.



Abb. 21: Bohrpfahlherstellung mit Rohrtour und Bohrschnecke

Fig. 21: Construction of the drainage piles by a drilling rig

2.150 m der gesamten Bohrstrecke führten durch den Dammkern bzw. den alten Filter, 92 m Bohrpfahllänge haben den in den Flanken anstehenden Fels durchörtet. Auch hier lagen die lotrechten Abweichungen weit unterhalb der zulässigen Toleranzen.

In diesen Pfählen sorgt ein geschlitztes Rohr - ähnlich bei Brunnen einer Wassergewinnung - für das Sammeln von Drainagewasser, das am Fußpunkt in einem HDPE-Topf gesammelt und in den neuen Kontrollgang eingeleitet wird.



Abb. 22: Vorbereitung zum Einbau des Filters (Schlitzbrückenfilter und Sumpfrohr)

Fig. 22: Preparations to insert the drainage filter (slotted pipes and sump pipe)

In Summe wurden rund 1.700 m Filterrohr, 110 m Filterrohr mit Edelstahldrahtwickelfilter (Abb. 22) und 400 m Vollwandrohr (jeweils DN 200) eingebaut. Der Filterrohrstrang ist von Filterkies 2-5 mm umgeben. Rund 1.250 m³ Filterkies wurden eingebaut. Aus dem Kontrollgang heraus wurden die Kunststoff-Pumpensümpfe durch Horizontalbohrungen (DN 178 mm) angebohrt und über ein Vollwandrohr DN 100 angeschlossen (Abb. 23).

Insgesamt dauerten die Arbeiten für die vertikalen Groß- und die horizontalen Kleinbohrungen ca. fünf Monate. Vier Filterpfähle konnten im Mittel pro Arbeitswoche erstellt werden. Der gesamte Straßenverkehr konnte während der Bauzeit durch Ampelregelung einspurig und bedarfsgesteuert über die Dammkrone geführt werden.



Abb. 23: Vom Kontrollgang aus werden die Sickerwasserpfähle angebohrt. Anschließend wird die Sickerwasserleitung eingebaut.

Fig. 23: The drainage piles get connected to the control gallery by horizontal drillings. Afterwards the seepage pipe gets installed.

Der Innenausbau des Kontrollgangs mit der Messtechnik erfolgte in der Wintersaison 2014/2015 (Abb. 26). Dieser ermöglicht eine permanente, sektorale Überwachung des Sickerwassers über die gesamte Dammfäche. Damit sind die Vorgaben der DIN 19700 Teil 11 - Talsperren nach direkter, abschnittsweiser Messung des Sickerwassers erfüllt. Jeder einzelne Sickerwassersammelpfahl kann zusätzlich über ein System von Schächten und Schläuchen gezielt bewässert und damit auf Funktionsfähigkeit geprüft werden (Abb. 25). Aus Sicherheitsgründen wurde in der Kaverne ein Druckschott (Abb. 24) eingebaut, das bis zu 40 m Wasserdruck verkräften kann.



Abb. 25: Schacht zur Verteilung des Spülwassers für die Drainagepfähle

Fig. 25: Shaft for the distribution of flushing water for the drainage piles



Abb. 24: Blick aus der Kaverne durch das Druckschott in den Kontrollgang mit Innenausbau

Fig. 24: View from the cavern through the pressure bulkhead into the control gallery with interior fitting



Abb. 26: Blick in den Kontrollgang mit Sickerwassersammelsystem und Innenausbau

Fig. 26: View to the control gallery, the seepage control system and the interior fitting

Die Wiederherstellung der Dammkrone und der beiden Bundesstraßen (Abb. 27) sowie die Renaturierung der Baustellenflächen im FFH-Gebiet rundeten im Jahr 2015 die Baumaßnahmen ab. Entlang der B307 gibt es nun auf der Dammkrone beidseitig einen Parkstreifen und einen Gehweg.

Abb. 27: Die neue B307 mit der verbreiterten Dammkrone im Herbst des Jahres 2015

Fig. 27: Federal highway B307 on the on the widened crest of the Sylvenstein Dam in the autumn 2015





Naturschutzfachliche Aspekte

Offene oder lückig bewachsene Kiesflächen sind naturschutzfachlich von herausragender Bedeutung. Auf diese Standorte sind einige Tier- und Pflanzenarten angewiesen, die hier deutschlandweit eines der letzten Vorkommen haben. Dies sind insbesondere die Deutsche Tamariske und die Gefleckte Schnarrschrecke (Abb. 29). Da die Schotterterrassen in den Isarauen unterhalb des Sylvensteinspeichers nur noch selten überschwemmt werden, verbuschen sie zunehmend. Kurz nach Beginn der Ertüchtigung des Staumattes wurde der naturschutzfachlich geforderte Ausgleich geleistet.

Unmittelbar unterhalb des Sylvensteinspeichers wurden daher auf über einem Hektar Fläche Gehölze wie Fichten, austriebsstarke Weiden und Erlen mit Wurzelwerk entnommen. In den über 50 Jahren Entwicklung seit dem Bau der Talsperre ist wegen der stark durchlässigen Isarkiese auch bisher kein Wald entstanden. Um die Situation nachhaltig zu verbessern, wurde in einem Zusatzprojekt die Isar zu neuen Umlagerungen angeregt. Mit Abschluss der Baumaßnahmen wurden mehrere mit den Erfordernissen des Natur- und Artenschutzes abgestimmte Schutz- und Gestaltungsmaßnahmen durchgeführt. Hierzu zählen insbesondere die in der Landschaftspflegerischen Begleitplanung empfohlene Renaturierung der Baustellenflächen und die Verkleidung der Kronenmauer mit Gabionen (Abb. 28).



Abb. 28: Luftseitige Struktur der Kronenmauer mit gestockter Betonoberfläche und vorgesetzten Gabionen (Reptilienhabitate)

Fig. 28: Downstream structure of the crest wall with stacked concrete surface and covering gabions (habitat for reptiles)



Abb. 29: Die selten gewordene, gut getarnte Schnarrschrecke im Isarkies

Fig. 29: Rare occurring and well camouflaged Speckled Grasshopper between Isar river gravel

Öffentlichkeitsarbeit

Die Baufortschritte der Jahre 2011 bis 2015 konnten über die vom Wasserwirtschaftsamt Weilheim installierte Webcam kontinuierlich verfolgt werden. Die zugehörige Homepage des Wasserwirtschaftsamtes wurde häufig besucht und verschaffte der interessierten Öffentlichkeit Einblicke in das Projekt. Hierzu dient auch ein Informationspavillon. Dort bieten die zu den einzelnen Bauabschnitten erstellten Faltblätter und Schautafeln Hintergrundinformation und Fakten an. In den fünf Baujahren fanden weit über 100 Fachführungen über die Baustelle statt. Regionale und überregionale Printmedien berichteten häufig über den Baufortschritt und die Begleitumstände am Sylvensteinspeicher. Besonderen Anlass boten hierfür die Termine zum Start der Dichtwandarbeiten am 25.5.2012 (Abb. 30) oder die Tunnelanschlagsfeier am 28.5.2013 (Abb. 31).

Über die Bauarbeiten berichteten auch einige Fernsehsender – hier sind insbesondere mehrere Beiträge des Bayerischen Fernsehens zu nennen. Auch die beteiligten Baufirmen, wie z. B. die Bauer Spezialtiefbau GmbH und die Bauindustrie Bayern ließen Filmbeiträge über dieses werbewirksame Projekt erstellen.

Mitarbeiter der bayerischen Umweltverwaltung veröffentlichten Beiträge zur Ertüchtigung am Sylvensteinspeicher bei drei Deutschen Talsperrensymposien und beim Deutschen ICOLD-Komitee. Gemeinsam mit den beteiligten Ingenieurbüros bzw. Baufirmen wurde auf internationalen Kongressen und in wasserwirtschaftlichen bzw. geotechnischen Fachzeitschriften über das Projekt berichtet.



Abb. 30: Start der Dichtwandarbeiten durch Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauer, Umweltminister Dr. Marcel Huber, Bürgermeister Werner Weindl (Lenggries) und Landrat Josef Niedermeier (Bad Tölz-Wolfratshausen) am 25.5.2012

Fig. 30: Ground-breaking ceremony with Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauer, Bavarian Minister of the environment Dr. Marcel Huber, mayor Werner Weindl (Lenggries) and district administrator Josef Niedermeier (Bad Tölz-Wolfratshausen) on February 25th 2012.

Projektbeteiligte

Die Ertüchtigung des Sylvensteinspeichers war ein in vielerlei Hinsicht herausragendes Projekt. Bauherr war der Freistaat Bayern, vertreten durch das Wasserwirtschaftsamt Weilheim, das Vertragspartner für alle Auftragnehmer und mit der Bauoberleitung sowie der finanziellen Projektabwicklung betraut war. Wegen der Bedeutung der Gesamtmaßnahme erfolgte die Abwicklung nach dem klassischen Projektmanagement. Der Lenkungsausschuss, der alle weitreichenden Entscheidungen fällte, setzte sich aus Vertretern des Ministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz, der Regierung von Oberbayern, dem Landesamt für Umwelt und dem Wasserwirtschaftsamt Weilheim zusammen. Dem Bayerischen Landesamt für Umwelt oblag zudem die technische Projektleitung. Es unterstützte das WWA fachlich und planerisch.

Wesentlich zum Erfolg beigetragen hat auch die intensive und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den erfahrenen Planungsbüros CDM Smith und EDR GmbH sowie dem wissenschaftlichen Berater, dem Zentrum Geotechnik der TU München, das für die gesamte Projektlaufzeit gewonnen werden konnte. Daher gilt diesen und allen weiteren am Projekt Beteiligten der ausdrückliche Dank für die erfolgreiche Projektbearbeitung.

Besonderer Dank gebührt der Stollenpatin Adelgunde Huber, die sich mit großem persönlichem Engagement, Herzlichkeit und Begeisterung des Projektes



Abb. 31: Tunnelanschlagsfeier am 28.5.2013 mit der Stollenpatin und vielen Vertretern aus Politik und der beteiligten Firmen bzw. Behörden

Fig. 31: Ground-breaking ceremony with the godmother for the tunneling works and a lot of representatives from politics and the involved firms and authorities on May 28th 2013

annahm. Mehrere Baustellenbesuche (Abb. 31 und Abb. 33) haben ihr großes Interesse an der ungewöhnlichen Baumaßnahme gezeigt. Als Vertreterin der Heiligen Barbara auf Erden hat Frau Huber Unheil von der Baustelle abgehalten. Alle Arbeiten verliefen unfallfrei. Besonders hierfür danken ihr nicht nur die Mineure, sondern alle am Projekt Beteiligten. Dank der Mitarbeiter der zahlreichen Baufirmen und Subunternehmen konnten die einzelnen Bauabschnitte und damit die Gesamtmaßnahme frist- und funktionsgerecht erstellt werden. Ihre Leistung verdient deshalb höchste Anerkennung und Respekt. Zu betonen ist die durch gegenseitiges Verständnis geprägte, vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Landratsamt Bad Tölz-Wolfratshausen, der Gemeinde Lenggries und dem Fischereiverein Lenggries. Auch dem Staatlichen Bauamt Weilheim, das für die Bundesstraßen B307 und B13 zuständig ist und der Bayerischen Landeskraftwerke GmbH sei an dieser Stelle gedankt. Von besonderer Bedeutung für das Projekt war das Speicherpersonal, das mit lang-jähriger Betriebserfahrung stets vielfältig helfend zur Seite stand.

Derart komplexe und neuartige Projekte können nur mit einem kompetenten Team erfolgreich bewältigt werden. Verständnisvolle Bürger, die Anwohner der Isar und tolerante Verkehrsteilnehmer tragen auch wesentlich zum Gelingen bei. Deshalb sei ihnen abschließend besonders gedankt.



Resümee

Nach über 50-jähriger Betriebszeit wurden Damm und Untergrund des Sylvensteinspeichers mit einer neuen qualitativ hochwertigen Dichtung und einem abschnittswisen Sickerwassermesssystem ausgestattet. Erstmals in Deutschland wurde dabei unter laufendem Betrieb der Talsperre eine 70 m tiefe Schlitzwand eingebaut, die auch seitlich in die Felsflanken eingeschnitten ist. Die Überwachung der neuen Dammdichtung erfolgt nun über Drainagepfähle und einen begehbaren Kontrollgang, der aus dem kompakten Fels der Sylvensteinwand durch den gesamten Dammkörper in das gegenüberliegende Dammwiderlager auf der Hennenköpflseite gepresst wurde - ohne Einschränkungen des Talsperrenbetriebs, eine weltweit bisher einmalige Baumaßnahme. Zukünftig wird der Sylvensteinspeicher hohe Beanspruchungen bei vermutlich stärkeren Hochwasserereignissen gut und sicher aufnehmen können. Beim Hochwasser im Juni 2013 wurde dies bereits eindrucksvoll bestätigt. Über die Sickerwassermessung hinaus können bei Bedarf vom Kontrollgang aus Bohrungen in den tieferen Untergrund geführt werden. Möglich ist auch der Einbau von Messeinrichtungen, die Strömungen und Drücke im Untergrund beobachten. Damit eröffnet der Kontrollgang künftig weitreichenden Handlungsspielraum für weitere Mess- und Injektionsarbeiten. Diese können wegen der optimalen Höhenlage mit hoher Präzision und auf kurzem Wege durchgeführt werden. Mit den beschriebenen Baumaßnahmen schafft der Freistaat Bayern an der Isar zeitgemäßen Hochwasserschutz auf höchstem Niveau, der über den Ballungsraum München hinaus bis nach Niederbayern wirkt. Die Anpassung des über 50 Jahre alten Damms an den heutigen Stand der Technik und die DIN-Vorgaben erfolgte zu einem überschaubaren Kostenvolumen von ca. 23 Mio. Euro und blieb damit deutlich unter den projektierten 25 Mio. Euro. Die Ausgaben wurden zu 50% aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert. Während der gesamten Bauzeit konnten die beiden Kernaufgaben des Sylvensteinspeichers - Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung - uneingeschränkt erfüllt werden.



Abb. 32: EU-Flagge vor den Großgeräten zur Dichtwandherstellung

Fig. 32: EU-Flag in front of the equipment for cutoff works



Abb. 33: Besuch der Stollenpatin Adelgunde Huber und des Umweltministers Dr. Marcel Huber nach erfolgreichem Abschluss der Durchörterungsarbeiten

Fig. 33: Visit of Adelgunde Huber, the godmother of the tunneling works, and the Bavarian Minister of the environment Dr. Marcel Huber after successful finalized tunneling

„Milestones at the Sylvenstein dam“ New Sealing and Control System

Overview

The Sylvenstein Dam was brought up to date after 50 years of operating time by adding a diaphragm wall (two-phase cut-off wall) to the existing dam and the subsoil, as well as a new measurement system consisting of drainage piles for the seepage and a control gallery. These additional upgrades are also to be viewed as preventative measures against the possible consequences of climate change, as the size and small intervals between the recent flood events imply an expected larger toll on the dam.

The construction, with a total cost of roughly 23 million Euros, was co-financed by the European Regional Development Fund (ERFE).

Introduction

The 48 meter high and 180 meter long embankment dam at the Sylvenstein Reservoir is located on a 100 meter deep valley cut, which the Isar River carved into the main dolomite and subsequently filled with sediment. The gulch was sealed during construction in the 1950's with a 7-rowed grout curtain. The thin, central impervious earth core wall consists of artificially composed clay concrete (gravel, fine sand and silt with a 1% sodium bentonite addition) with connecting upstream and downstream moraine gravel filters. The supporting mass of river gravel, along with the pitched slope and the embankment greenery, shape the image of the dam surface. Since its commissioning in 1959 the reservoir has helped flood mitigation and protects the Isar runoff in dry seasons by supplying water. At the same time environment-friendly electricity is generated for the public grid. In addition, it has become an attraction for locals and tourists alike. From 1994 to 2001 the oldest state reservoir in Bavaria was technically updated with the construction of a second spillway, with a capacity of 400 m³/s, and by heightening the dam by 3 m the flood-control storage was enlarged by 20 million m³.

The settlement of the dam structure over the deep and narrow glacial gulch caused fissures to form in the dam core, which were grouted during injection campaigns in 1970 and 1987/88. Detailed investigation of the dam core with the therein found pore water pressure sensors and the interpretation of the measurements indicated possible changes to the sealing system. Furthermore, the seepage flow measurement system was damaged by the earlier settling of the dam and the grouting work, so that the location of leakages wasn't possible, which also indicated the need for a new measurement system.

An Overview of the Rehabilitation Concept

The following described improvement measures (Fig. 2 and Fig. 3), with a new efficient sealing system and an accurate seepage monitoring system, have brought the dam back to state of the art after 50 years of operating time. It is now equipped to handle the possible effects of climate change and the larger demands that would come from a flood event.

The preliminary deliberations of the Bavarian Water Recourses Management Administration were underway until 2009 and 2011 saw the conclusion of the planning process. The construction measures started in 2011 and were finished in 2015 (Fig. 27).

The improvement measures primarily fall into three core categories:

- a) Installation of an up to 70 m deep cut-off in the core wall and the upper part of the foundation (2012).
- b) Construction of a control gallery (2013) including an access tunnel, a starting cavern and a target shaft.
- c) Installation of 54 drainage piles with a rough depth of 41 m between the cut-off wall and the control gallery (2014).

Throughout the construction phase the Sylvenstein Reservoir had to perform its main tasks of flood protection and low water elevation.

Construction of the Cut-Off Wall

The pending valley alluviums were investigated intensively in advance through a number of up to 140 m deep boreholes. They are composed of an alternating sequence of sand and a poor clay gravel mixture, sometimes with deposits of lake marl layers. Strongly fluctuating permeability was found within the subsoil, which was grouted with clay-cement suspension during earlier construction.

A minimum depth of 60 m was determined for the planned cut-off to ensure stability to internal erosion. A depth of 70 m was chosen, which made the integration of the large lake marl layer possible, and was producible with the technical equipment available. A 1 m wide cut-off wall of clay concrete was chosen due to the sizable depth, which was to be constructed as a two-phase wall. A diaphragm wall cutter and grab were deployed at the same time so that the short construction time planned for the 10,000 m² cut-off wall could stay on track (Fig. 7). The necessary space needed for the construction had to be created by widening the dam crest by 4 m with a downstream angular retaining wall.

The individual panel width of 3.20 m and the required overlap of 40 cm resulted in 62 primary and secondary panels for the 170 m long cut-off. The upper cut-off section, roughly 35 m in depth, of the core area was taken out by the grabber and the lower area, to the lowest point of 70 m, along with the bonds of at least 30 cm into the cliffs on both sides were done with the slurry cutter (Fig. 6 and Fig. 8).

The cut-off was moved 3 m downstream of the dam axis to avoid cutter collisions with old left over metal grout pipes in the low subsoil. This way most of the old core insulation could stay intact.

The changes to the dam and the subsoil during the production of the cut-off were observed by means of an intense measurement program with the help of the left over pore water pressure system. This made it possible to prove the achieved seal effect early on, without the new seepage water measurement system. The normal water level of the lake was lowered by



about 5 m during construction to increase the resilience of the whole system (Fig. 10). The basic functions of the Sylvenstein Reservoir (flood protection and heightening of low water) were maintained throughout the whole construction phase.

Construction of the Control Gallery

To construct the control gallery an 80 m long access tunnel with a starting cavern at its end had to be built at the foot of the Sylvenstein wall into the main dolomite. The upswing in rock-sparing explosive technology showed a compact, stable mountain range so that no additional rock protection was needed, with the exception of spray concrete support system.

The press station was built in the ca. 16 x 8,50 x 7,50 m (LxWxH) starting cavern, which pushed the full section tunnel boring machine (TBM Ø 3.05 m) (Fig. 5) as well as the following reinforced concrete pipes through the roughly 175 m long excavation path of dolomite and fill dam (Fig. 12).

The 18 ton individual pipe sections (length: 2.80 m, outer diameter: 3.00 m, inner diameter: 2.40 m) were pushed in directly behind the tunnel boring machine by the hydraulic press station (Fig. 13). The pipelines individual pipe sections, which are comparable to a link chain, were sealed against water pressure with an outer stainless steel cuff with a rubber ring before being inserted (Fig. 17).

A roughly 20 m long target tunnel and a 41 m deep vertical target shaft (Ø 6.5 m) had to be blasted out at the end of the pipe jacking section in advance, so that the TBM, could be taken apart into two pieces and lifted out. The target shaft now serves as an emergency exit.

The target cavern was reached after 16 days of work (Fig. 18). This work was done protected by the new cut-off wall. This is why the operation of the reservoir was not limited during the tunnel driving works, and a reservoir water level reduction was not necessary for this construction step.

At the beginning of construction of the control gallery heavy rainfalls caused the heavy 2013-flood event in Germany. Due to the flood retention capacity of the Sylvenstein reservoir, the peak discharge of the Isar into Munich could be reduced from 1300 m³/s (flow volume without Sylvenstein Dam) to 770 m³/s. No significant damage could be observed along the Isar River, in contrast with other rivers in the same region. Because of the new cut-off wall, it was possible to reduce outflow from the dam over a long time period, which was necessary as levees along the Danube were overloaded and even broke in two areas.

The manageable flood control storage space of the Sylvenstein reservoir reached on August 3rd, 2013 a level of 99.7% impoundment volume (Fig. 20). The detention storage reached 61 Mio. m³ and was almost completely used. The maximum inflow into the reservoir was at 675 m³/s (2.6.2013 at 17:00 h) at the same time the maximum permissible outflow was only

60 m³/s. With the reservoir management and limited release of water, it was achieved to keep the burden on the downstream abstractors in the region towards Munich-Freising-Landshut and the Danube towards Passau to a minimum.

The Drainage Piles

To keep the seepage water to a minimum, starting in May of 2014 41-meter-deep drainage piles were built behind the cut-off wall ca. 1.2 m from the seepage tunnel. The 54 large drilled piles (Diameter 900 mm) with an axis-center distance between them of 2.80 m were created as piped piles with a drilling rig (Fig. 21). The slotted pipes (Fig. 22) in these piles ensure the collection of the drainage water, which then flows into the base of the seepage tunnel.

The interior fitting of the seepage tunnel with the measurement instrumentation makes the permanent, sectional surveillance of the seepage water possible along the entire length of the dam (Fig. 26).

Summary

The dam and subsoil of the Sylvenstein Reservoir were equipped with a new efficient cut-off wall and a precise seepage water measurement system after operating for more than 50 years. This was the first time in Germany that a 70 m deep plastic concrete cut-off wall, which also cut into rock foundation on either side of the wall, was installed while the dam still in operation. Monitoring the new sealing system is possible with the drainage piles and a walkable control gallery, which was pressed from the compact rock through the whole dam into the opposite abutment – without hindering the standard operations of the dam, a constructional feat that was realized for the first time worldwide. The Sylvenstein Reservoir will be able to handle the high demands of future, presumably larger, flood events well and reliably. This has already been impressively confirmed during the flood event in June of 2013.

In addition to the control function, complement drillings can be made into the lower subsoil from the control gallery, should it be necessary. It is also possible to install measurement points, which monitor pressure and flow in the foundation. This will open many courses of action in relation to the control gallery for more measurements and grouting work. These can, in turn, be executed quickly and precisely due to the optimum elevation.

The State of Bavaria is able to accomplish high quality modern flood protection on the Isar River and in the Munich metropolitan area out to Lower Bavaria, with the above described construction measures. The adaptation of the over 50 year old dam to the current state of the art and the DIN-Standards accumulated the manageable cost of Euro 23 mil. 50% of the price was co-financed by the European Regional Development Fund (ERFE).

Literatur

- [1] Altinger, L. (1960): Sylvensteinspeicher mit deutscher Alpenstraße; Sonderdruck aus Deutsche Bauzeitschrift
- [2] List, F.; Strobl, Th. (1991): Veränderung der Abdichtungswirkung des Kerns des Sylvensteindamms infolge Alterung. In: Wasserwirtschaft 81 (1991), Heft 7/8
- [3] Lang T. et al. (2009): Der Sylvensteinspeicher, (Hrsg.): Wasserwirtschaftsamt Weilheim, anlässlich der Feier '50 Jahre Sylvensteinspeicher'
- [4] Lang T. (2012): Der Sylvensteinspeicher – wasserwirtschaftliche Funktionen und Anpassungen bis zum Jahr 2004. In: Seminarunterlagen zum Nürnberger Wasserwirtschaftstag, hg. vom DWA, Landesverband Bayern, München
- [5] Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) bzw. Bayer. Landesamt für Umwelt (LfU) (2002, 2003, 2007): Untersuchungen am Sickerwassermesssystem des Sylvensteinspeichers, unveröffentlicht
- [6] Overhoff G., Schultheiß St. (2007): Geophysikalische Untersuchungen am Sylvensteinspeicher; 14. Deutsches Talsperrensymposium. In Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr. 115
- [7] Overhoff G., Raab S. (2008): Sylvensteinspeicher – Vorbericht zur Nachrüstung des Dammes. Bayerisches Landesamt für Umwelt, unveröffentlicht
- [8] Overhoff G., Lang T., Popp M. (2010): Die geplante Ertüchtigung des Sylvensteinstaudamms, 15. Deutsches Talsperrensymposium, Talsperren im Wandel
- [9] Zentrum für Geotechnik der TU München (Hrsg.) (2010): Dichtungsschlitzwand, Sickerwasserstollen, Forschung und Entwicklung in der Geotechnik – Erstmalige Herstellung eines neuen Kontrollsystems in einem bestehenden Staudamm (Teile 1 und 2), unveröffentlicht
- [10] Nöll H., Raab S. (2012): Reinforcement of the Sylvenstein dam. In 2nd IAHR Europe Conference, Munich
- [11] Nöll H., Langhagen K., Popp M., Lang T. (2013): Ertüchtigung des Sylvenstein-Staudamms – Planung und Ausführung der Dichtwand, 16. Deutsches Talsperrensymposium, Wasserwirtschaft Ausgabe 5/2013
- [12] Bauer A., Lang T., Overhoff G. und Strobl Th. (2013): Analyse der Porenwasserdruckmessungen am Sylvensteindamm während des Schlitzwandbaus 2012. In: Wasserwirtschaft, Ausgabe 9/2013
- [13] Langhagen K., Weiss J., Lang T. (2014): Ertüchtigung des Sylvensteinspeichers – Planung und Bau von Dichtwand und Sickerwassersammelsystem. In: Bautechnik 91, Heft 5/2014
- [14] Banzhaf, P. E.; Lang, T. (2014): The Performance of the Sylvenstein Dam during the major Flood Event in June 2013. CDA 2014
- [15] Banzhaf P. E.; Lang T. (2014): Dam Refurbishment by retrofitting of an Embankment Dam Core. Sancold Annual Conference, Boksburg, South Africa, 6/36
- [16] Lang T., Overhoff G. (2015): Ertüchtigung des Sylvensteinspeichers mit Schlitzwand und Sickerwassersammelsystem. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 8, Heft 6/2015
- [17] Wasserwirtschaftsamt Weilheim (2015): Webcam und Informationen zur Baustelle am Sylvensteinspeicher auf der Internetseite <http://www.wwa-wm.bayern.de>
- [18] Lang T., Overhoff G. (2016): Das neue Dichtungs- und Kontrollsystem am Sylvensteinspeicher, 17. Deutsches Talsperrensymposium 'Talsperren und Nachhaltigkeit', Wasserwirtschaft Ausgabe 6/2016
- [19] Lang T., Overhoff G. (2016): The Rehabilitation of the Sylvenstein Dam with a Cut-Off Wall and a Control Gallery; (Hrsg.): Deutsches TalsperrenKomitee (DTK) - german ICOLD-Section (eingereicht)
- [20] Bauer A. (2016): Aspekte zur Sicherheitsbeurteilung eines Staudammes mit und ohne Sickerwassermessung; Dissertation an der Technischen Universität München (eingereicht)



Medien

- [21] Dammertüchtigung - Bayerisches Fernsehen, Schwaben & Altbayern, 17.7.2011
- [22] Wasserdicht - Bayerisches Fernsehen, Schwaben & Altbayern, 20.6.2012
- [23] Dammertüchtigung am Sylvensteinspeicher - BAUER Spezialtiefbau GmbH, 12.3.2013
- [24] Rehabilitation of Sylvenstein Dam - BAUER Spezialtiefbau GmbH, 12.3.2013
- [25] Dicht machen - Bayerisches Fernsehen, Abendschau der Süden, 18.9.2013
- [26] Mamutprojekt für die Zukunft - Bayerisches Fernsehen, Abendschau der Süden, 8.10.2014
- [27] Sylvensteinspeicher: Das Bollwerk gegen die Fluten - Bayerisches Fernsehen, Abendschau der Süden, 20.5.2015
- [28] Sylvensteinspeicher – Ertüchtigung des Dammes, Bauindustrie Bayern, 25.11.2015

Impressum

Herausgeber:

Wasserwirtschaftsamt Weilheim,
eine Behörde im Geschäftsbereich des
Bayerischen Staatsministeriums für
Umwelt und Verbraucherschutz

Pütrichstraße 15, 82362 Weilheim
Tel. 0881 1820, Fax: 0881 182162,
E-Mail: poststelle@wwa-wm.bayern.de

Bearbeitung:

Dr.-Ing. Tobias Lang, Wasserwirtschaftsamt Weilheim
Dipl.-Ing. Gregor Overhoff, Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

Bildnachweis:

Abb. 1 Bernd Georgi, Bürschlingstraße 5, 92224 Amberg
Abb. 9 © BAUER Spezialtiefbau GmbH
Abb. 2 – 8; Abb. 10 – 33 Archiv Wasserwirtschaftsamt Weilheim

Druck:

Fotosatz MOHRENWEISER GmbH

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Stand:
Mai 2016

Geobasisdaten:
© Bayerische Vermessungsverwaltung
(www.geodaten.bayern.de)

Die Broschüre ist beim Wasserwirtschaftsamt Weilheim als Heft oder als Download auf der Internetseite erhältlich.



