

Ertüchtigung des Sylvensteinspeichers mit Schlitzwand und Sickerwassersammelsystem

Tobias Lang (Weilheim) und Gregor Overhoff (München)

Zusammenfassung

Der Sylvensteinspeicher wurde nach über 50-jähriger Betriebszeit durch eine zusätzliche Dichtwand (Zweiphasen-Schlitzwand) im bisherigen Damm bzw. Untergrund sowie mit einem neuen Messsystem – bestehend aus Drainagepfählen für das Sickerwasser und einem Sickerwasserstollen – an den heutigen Stand der Technik angepasst. Diese Ertüchtigungsmaßnahmen sind auch als Vorsorge gegen die Folgen möglicher Klimaveränderungen zu sehen, da die Größe und enge Folge der letzten Hochwasserereignisse eine künftig stärkere Beanspruchung der Talsperre erwarten lassen. Die Baumaßnahmen mit Gesamtkosten von rund 24 Mio. € werden aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

Schlagwörter: Sylvensteinspeicher, Dichtwand, Drainagepfähle, Sickerwasser, Klimawandel, Hochwasser, Talsperre, Kontrollgang

DOI: 10.3243/kwe2015.06.004

Abstract

Improvement of the Efficiency of the Sylvenstein Dam Using Slurry Wall and Seepage Collection System

The Sylvenstein dam, after over 50 years of operation, has been adjusted to today's best available technology through an additional slurry wall (two-phase slurry wall) in the previous wall respectively underground as well as with a new measurement system consisting of drainage piling for the seepage water and a seepage gallery. These improvement measures are to be seen also as precaution against the results of possible climate changes, as the magnitude and close succession of the last flooding events, means a future more severe loading of the dam can be expected. The construction measures with total costs of some € 24 million were co-financed from the European fund for regional development (EFRE).

Key words: Sylvenstein dam, slurry wall, drainage piling, seepage, climate change, flooding, dam, inspection round

1 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 des Sylvensteinspeichers liegt auf einem 100 m tiefen Taleinschnitt, den sich der Fluss in den Hauptdolomit geschnitten und mit Geschiebe wieder verfüllt hat. Die Erosionsrinne wurde beim Bau in den 1950er Jahren durch einen siebenreihigen Injektionsschleier mit Tonzement abgedichtet. Der schlanke zentrale Dichtungskern besteht aus einem künstlich zusammengesetzten Erdbeton (Kies, Feinsand, Schluff mit einem Prozent Natriumbentonitzugabe) mit anschließenden luft- und wasserseitigen Filtern aus Moränenkies. Der Stützkörper aus Flusskies prägt mit dem Steinsatz bzw. der Böschungsbegrünung das Bild der Dammoberfläche.

Seit der Inbetriebnahme im Jahr 1959 dient der Speicher dem Hochwasserschutz und sichert durch Zugabewasser in Trockenzeiten den Isarabfluss. Zugleich wird umweltfreundlicher Strom für das öffentliche Netz erzeugt. Daneben hat er sich zu einem Anziehungspunkt für Naherholungssuchende und Fremdenverkehr entwickelt.

In den Jahren 1994 bis 2001 wurde der älteste staatliche Wasserspeicher Bayerns mit dem Bau einer zweiten Hochwas-

serentlastung für 400 m³/s und der Vergrößerung des Hochwasserschutzraumes um 20 Mio. m³ durch eine Erhöhung des Dammes um 3 m technisch angepasst (vgl. [1]).

Durch Setzungen des Dammbauwerks über der engen und tiefen eiszeitlichen Erosionsrinne waren Risse im Dammkern entstanden, die in zwei Injektionskampagnen 1970 und 1987/88 wieder verpresst wurden. Detaillierte Untersuchungen des Dammkerns mit den darin befindlichen Porenwasserdruckgebern und die Interpretation der Messwerte deuteten auf Veränderungen der Dichtungswirkung hin (vgl. [2]). Darüber hinaus war das Sickerwassermesssystem durch frühere Setzungen des Dammes und die Injektionsarbeiten geschädigt, sodass die Lokalisierung von Durchlässigkeiten nicht möglich und die Schaffung eines neuen Messsystems angezeigt war.

2 Das Ertüchtigungskonzept im Überblick

Die nachfolgend beschriebenen Ertüchtigungsmaßnahmen (Abbildung 1 und 2) mit einer neuen leistungsfähigen Dichtung und einem exakten Sickerwasser-Überwachungssystem haben den Damm nach über 50-jähriger Betriebszeit wieder auf den Stand der Technik gebracht und langfristig gegen die



Abb. 3: (Webcam [8]): Schlitzwandarbeiten mit Fräse und Greifer auf der Dammkrone des Sylvensteinspeichers im Sommer 2012, Kronenverbreiterung durch luftseitige Winkelstützmauer, Seabensenkung ca. 5 m

Während der gesamten Bauzeit muss der Sylvensteinspeicher weiterhin seine Kernaufgaben Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung erfüllen.

Die Ertüchtigungsmaßnahme wird zu 50 Prozent 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 Sylvensteinspeichers trägt der EFRE dabei insbesondere zur Risikoversorge und zum Ressourcenschutz bei.

3 Bau der Schlitzwand

Durch mehrere bis zu 140 m tiefe Bohrungen wurden die anstehenden Talalluvionen vorab nochmals intensiv erkundet. Sie 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.

Als Mindestmaß für die geplante Schlitzwand wurde zur Suffusionssicherheit eine Tiefe von 60 m ermittelt. Gewählt wurde eine Tiefe von 70 m, die eine Einbindung in die dort befindliche großflächige Seekreideschicht ermöglichte und mit der vorgesehenen technischen Ausrüstung noch herstellbar war. An den seitlichen Widerlagern des Dammes war eine sichere Andichtung an den Fels, optional eine Einfräsung in den kompakten Hauptdolomit ausgeschrieben (vgl. [5]).

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

Zur Einhaltung der knappen Bauzeit kamen für die ca. 10.000 m² große Dichtwandfläche gleichzeitig ein Schlitz-



Abb. 4: Schlitzwandgreifer und Schlitzwandfräse der Fa. Bauer Spezialtiefbau



Abb. 5: Neue Brücke über den Kolksee, Baustelleneinrichtung und Rohrlager am Fuß des Sylvensteindamms



Abb. 6: Montage der Tunnelbohrmaschine (TBM) auf der Schildwieg, dahinter Presseneinrichtung mit 6 Hydraulikzylindern für 2500 t Schubkraft, darüber Steuerstand für den Vortrieb

wandgreifer und eine Schlitzwandfräse zum Einsatz. Der notwendige Platzbedarf für den Arbeitsraum und den Begegnungsverkehr der Großgeräte musste durch eine Verbreiterung der Dammkrone um 4 m mit einer luftseitigen Winkelstützmauer geschaffen werden. (Diese Zusatzfläche kann nach Abschluss der Maßnahme als weiterer Parkstreifen genutzt werden.) Die maschinen-technische Anbringung der Fräse längs zum Trägergerät ersparte zusätzlichen Arbeitsraum.

Die Einzel-Lamellenbreite mit 3,20 m und der geforderte Überschnitt von 40 cm ergab für die 170 m lange Schlitzwand 62 Primär- und Sekundärlamellen. Der obere Schlitzwandteil im Kern-Bereich wurde bis zu rund 35 m Tiefe durch den



Abb. 7: Stollenvortrieb, Laser, Transport- und Versorgungsleitungen. Die Bentonit-Injektion zur Reduzierung der Mantelreibung erfolgt über die gelbe Injektionsleitung an Firste und Ulmen



Abb. 8: Bohrkopf der TBM in der Zielkaverne nach Durchörterern der rund 190 m langen Stollenstrecke

Schlitzwandgreifer entnommen, der untere Bereich bis zur 70 m Endtiefe sowie die Einbindungen in den seitlichen Fels mit mindestens 30 cm (Einaxiale Druckfestigkeit des Hauptdolomits 21 – 96 MPa) erfolgte durch die mit Stiftmeißeln ausgestattete Schlitzwandfräse (Abbildung 3 und 4). Durch diese Arbeitsaufteilung musste der Aushub des Greifers nicht über die Separieranlage ausgesondert werden und die höhere Arbeitsleistung der Fräse in größerer Tiefe kam optimal zum Einsatz.

Um Störungen beim Fräseinsatz durch alte, im tiefen Untergrund verbliebene Metall-Injektionsrohre zu vermeiden, wurde die Schlitzwand um ca. 3 m aus der Dammachse zur Luftseite verschoben. Damit blieb der größte Teil der alten Kerndichtung erhalten. Eine besondere Herausforderung war das unerwartete Antreffen einer alten Spundwand, die aus der Bauzeit im Kerngraben verblieben war und senkrecht zur Schlitzwandachse lag. Eine aufwendige photogrammetrische Vorerkundung, erhärtet durch Sondierbohrungen mit Georadar, ließ Spundwandelemente von mehreren Metern Länge erwarten, die mit den vorhandenen Schlitzwandgeräten kaum hätten entnommen werden können. Beim Einsatz des hydraulischen Schlitzwandgreifers in rund 45 m Tiefe – unterstützt durch Meißeleinsatz zum Durchörterern des durch frühere Injektionen verfestigten Bodens – konnten drei alte Spundwandstücke (ca. 1,40 m lang) aus dem Verbund gelöst und geborgen werden. Somit war die Herstellung einer durchgehend homogenen Dichtwand ohne Unstetigkeiten möglich.

Die Abweichungen der fertigen Schlitzwand aus der Lotrechten wurden mit zwei unabhängigen Messverfahren überprüft und waren deutlich niedriger als die geforderte Maßhaltigkeit. Als Anforderung sollte in 55 m Tiefe eine Mindest-Dichtwandstärke (in der Fuge von zwei benachbarten Lamellen) von 45 cm eingehalten werden, bei 70 m Tiefe mindestens 20 cm. Nachgewiesen wurden Abweichungen von im Mittel nur rund 6 cm, auch der Maximalwert von 11,5 cm lag weit unter der zulässigen Grenze.

Aus Gründen der Versorgungssicherheit erfolgte die Betonlieferung für die Schlitzwand über eine Rohrleitung aus einer Baustellen-Mischanlage am Dammfuß. Die Qualitätskontrolle durch die Eigenüberwachung der Baufirma mit der ständigen Probenahme von Bentonit-Stützsuspension und Dichtwandmas-

se auf der Baustelle (z. B. von Fließgrenze, Filterkuchendicke, Wichte, pH-Wert, Konsistenz, Festigkeit, Steifigkeit und Durchlässigkeit) wurden zusätzlich durch eine Fachbauüberwachung und Fremdüberwachung ergänzt. Alle Proben des Dichtwandmaterials haben die vereinbarten Parameter erreicht.

Während der Herstellung der Dichtwand wurden in einem intensiven Messprogramm mit Hilfe des verbliebenen Porenwasserdruck-Systems die Veränderungen in Damm und Untergrund beobachtet. So konnte frühzeitig (noch ohne das neue Sickerwassermesssystem) auch der Nachweis für die erzielte Dichtwirkung erbracht werden (vgl. [6]).

Die Baustelle war über eine 5-Tage-Woche im 24 h Schichtbetrieb organisiert. Die mittleren Abteufzeiten für einen 70 m tiefen Schlitz lagen bei rund 24 h, der Betoniervorgang bei etwa 12 h. Damit konnten im Durchschnitt 4 Lamellen pro Arbeitswoche erstellt werden. Die Gesamtbauzeit für den Bauabschnitt lag zwischen April und November 2012, die reinen Schlitzwandarbeiten liefen von Mai bis August.

Während der Bauarbeiten musste der Verkehr über die Dammkrone durch eine einspurige Fahrbahn mit Ampelsteuerung über eine Hilfsbrücke (Gewichtsbeschränkung bis 3,5 t) 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 (Abbildung 3), die wasserrechtlich verankerten Funktionen des Sylvensteinspeichers (Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung) konnten während der gesamten Bauzeit aufrechterhalten werden.

4 Herstellung des Sickerwasserstollens

Zum Bau des Sickerwasserstollens musste am Fuß der Sylvensteinwand ein ca. 80 m langer Zufahrtsstollen und an dessen Ende eine Startkaverne im Hauptdolomit hergestellt werden (vgl. [8]). Der Ausbruch in gebirgsschonender Sprengtechnik zeigte ein kompaktes, standfestes Gebirge, so dass – bis auf die Spritzbetonsicherung – auf eine Gebirgssicherung verzichtet werden konnte.

In der ca. 16 x 8,50 x 7,50 m (LxBxH) großen Startkaverne wurde eine Pressenstation aufgebaut, mit der die Vollschnitt-



Abb. 9: Bohrpfahlerstellung mit Rohrtour und Bohrschnecke

Tunnelbohrmaschine (TBM) (Abbildung 6) sowie die nachfolgenden Stahlbetonrohre durch die rund 190 m lange Durchörterungsstrecke aus Dolomit und geschüttetem Damm gedrückt wurden. Das Schneidrad am Kopf der TBM war ein sogenanntes Mix-Schild (\varnothing 3,05 m), besetzt mit Diskenmeißeln und Schälmessern 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. Dabei wird die Bentonitsuspension in der Separieranlage vom Ausbruch gereinigt und mit Frischmaterial angereichert in den Kreislauf zurückgespeist.

Unmittelbar hinter der Tunnelbohrmaschine wurden zur endgültigen Sicherung des Ausbruchs die fertigen Rohrabschnitte mit einer Einzellänge von 2,80 m (Rohrlager s. Abbildung 5), Außendurchmesser 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 2500 t nachgeschoben. Bei der mit einer Gliederkette vergleichbaren Rohrleitung sind die einzelnen Rohrstücke 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 evtl. Wassereintritt an der Ortsbrust oder bei Brand im Stollen den Baustellenbereich abschirmen zu können.

Die zum Teil schleifenden Übergangsbereiche zwischen gewachsenem Fels und geschüttetem Damm hinter dem Startpunkt und vor dem Zielpunkt auf der Hennenköpflseite wur-



Abb. 10: Vorbereitung zum Einbau des Filters (Schlitzbrückenfilter und Sumpfrohr)

den vor dem Durchfahren der TBM mit Hartgelinektionen stabilisiert. Am Ende der Vorpreßstrecke mussten vorab ein rund 20 m langer Zielstollen und ein 41 m tiefer senkrechter Ziel-schacht (\varnothing 6,50 m) ausgesprengt werden, über den die TBM in 2 Teile zerlegt wieder herausgehoben werden konnte. Der Ziel-schacht dient nun – ausgestattet mit einem Treppenturm – als betrieblicher Notausstieg.

Die Reduzierung der Mantelreibung beim Vortrieb des knapp 170 m langen Stollens erfolgte durch Einpressen von Bentonit in den schmalen Ringspalt zwischen dem geringen „Überschnitt“ des Bohrkopfs und dem Tunnelrohr (Abbildung 7). Dazu waren separate Öffnungen in jedem 3. Rohrabschnitt vorgesehen. Zur evtl. weiteren Verringerung der Pressenkräfte waren vorsorglich zwei Dehnereinheiten 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 Prozent des Zeitaufwands waren für den reinen Vortrieb, 60 Prozent für das Öffnen und Schließen der Vorschubeinheit sowie das Einsetzen des neuen Rohrabschnitts erforderlich. Die Zielkaverne wurde nach 16 Tagen Rohrvortrieb erreicht (Abbildung 8). 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.

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

Zu Beginn der Stollenbauarbeiten führten heftige Niederschläge zum Junihochwasser 2013. Da die Situation im niederbayerischen Bereich der Isar und an der anschließenden Donaustrecke besonders kritisch war, wurde der bewirtschaftbare Hochwasserschutzraum des Sylvensteinspeichers zu fast 100 Prozent genutzt. Mit der neuen Dichtwand im Damm konnte ohne Bedenken der höchste jemals erreichte Stau angesteuert und zur Entlastung der Unterlieger lange gehalten werden. So war es möglich, den Abfluss in München von 1300 m³/s (ohne Speicherwirkung) auf 770 m³/s fast zu halbieren. Nennenswerte Schäden traten – im Gegensatz zu anderen Gewässern – ent-

lang der Isar nicht ein. Während des Hochwasserereignisses ruhten aus Sicherheitsgründen die Sprengarbeiten an den beiden Stollenbaustellen.

5 Die Drainagepfähle

Zur Erfassung möglicher geringer Sickerwassermengen wurden ab Mai 2014 hinter der Schlitzwand in 1,20 m Entfernung vom Sickerwasserstollen sogenannte Drainagepfähle mit einer Tiefe von ca. 41 m hergestellt (vgl. [7]). Die 54 Großbohrpfähle DN 900 mit Achsabstand untereinander von 2,80 m (Abbildung 9) wurden als verrohrte Pfähle mit einem Schneckenbohrgerät erstellt. 2150 m der gesamten Bohrstrecke lagen im Dammkern bzw. im alten Filter, 92 m der Bohrpfahlänge in den Flanken haben den anstehenden Fels durchörtert. Auch hier lagen die tatsächlichen Abweichungen weit unterhalb der zulässigen Toleranzen. In diesen Pfählen sorgt ein geschlitztes Rohr – ähnlich dem Brunnen einer Wassergewinnung – für das Sammeln von Dränagewasser, das am Fußpunkt in den neuen Sickerwasserstollen eingeleitet wird. In Summe wurden mit Durchmesser DN 200 rund 1.700 m Filterrohr, 110 m Filterrohr mit Edelstahldrahtwickelfilter (Abbildung 10) und 400 m Vollwandrohr eingebaut. Der Filterrohrstrang ist von Filterkies 2-5 mm umgeben, rund 1.250 m³ Filterkies wurden eingebaut. Die Kunststoff-Pumpensümpfe wurden über Horizontalbohrungen (DN 178 mm) aus dem Stollen angeschlossen und mit einem DN 100 Vollwandrohr ausgebaut.

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 wurde während der Bauzeit durch Ampelregelung einspurig und bedarfsgesteuert über die Dammkrone geführt.

Der Innenausbau des Sickerwasserstollens mit der Messtechnik erfolgte in der Wintersaison 2014/2015. Dieser ermöglicht eine permanente, sektorale Überwachung des Sickerwassers über die gesamte Dammlänge.

Die Wiederherstellung der Dammkrone und die Renaturierung der Baustellenflächen im FFH-Gebiet runden im Jahr 2015 die Baumaßnahmen ab.

6 Resümee

Nach über 50-jähriger Betriebszeit wurden Damm und Untergrund des Sylvensteinspeichers mit einer neuen leistungsfähigen Dichtwand und einem präzisen 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 Sickerwasserstollen, der aus dem kompakten Fels durch den gesamten Dammkörper in das gegenüberliegende Dammwiderlager 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 Hochwasserereignis im Juni 2013 wurde dies bereits ein-drucksvoll bestätigt.

Über die eigentliche Kontrollfunktion hinaus können bei Bedarf aus dem Sickerwasserstollen heraus Bohrungen in den tie-

feren Untergrund geführt werden. Möglich ist auch der Einbau von Messpunkten, die Strömungen und Drücke im Untergrund beobachten. Damit eröffnet der Sammelstollen 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 der über 50 Jahre alten Dammsubstanz an den heutigen Stand der Technik und die DIN-Vorgaben erfolgte zu einem überschaubaren Kostenvolumen von ca. 24 Mio. Euro. Diese werden zu 50 Prozent aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

Literatur

- [1] Lang T. (2012): *Der Sylvensteinspeicher – wasserwirtschaftliche Funktionen und Anpassungen bis zum Jahr 2004*. In: Seminarunterlagen zum Nürnberger Wasserwirtschaftstag, hg. vom DWA, Landesverband Bayern, München
- [2] Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (LFW) bzw. Bayer. Landesamt für Umwelt (LfU) (2002, 2003, 2007): *Untersuchungen am Sickerwassermesssystem des Sylvensteinspeichers*, unveröffentlicht
- [3] Overhoff G., Raab S. (2008): *Sylvensteinspeicher – Vorbericht zur Nachrüstung des Damms*. Bayer. Landesamt für Umwelt, unveröffentlicht
- [4] Overhoff G., Lang T., Popp M. (2010): *Die geplante Ertüchtigung des Sylvensteinstaudamms*, 15. Deutsches Talsperrensymposium, Talsperren im Wandel
- [5] Nöll H., Langhagen K., Popp M., Lang T. (2013): *Ertüchtigung des Sylvenstein-Staudamms – Planung und Ausführung der Dichtwand*, Wasserwirtschaft Ausgabe 5/2013
- [6] Bauer A., Lang T., Overhoff G. und Strobl Th. (2013): *Analyse der Porenwasserdruckmessungen am Sylvensteindamm während des Schlitzwandbaus 2012*. In: Wasserwirtschaft, Ausgabe 9/2013
- [7] Langhagen K., Weiss J., Lang T. (2014): *Ertüchtigung des Sylvensteinspeichers – Planung und Bau von Dichtwand und Sickerwassersammelsystem*. In: Bautechnik 91, Heft 5/2014
- [8] Wasserwirtschaftsamt Weilheim (2015): *Informationen zur Baustelle am Sylvensteinspeicher auf der Internetseite <http://www.wwa-wm.bayern.de/hochwasser/hochwasserschutzprojekte/dammsylvenstein/index.htm>*

Bildnachweis: Alle Bildrechte bei WWA Weilheim (Abbildung 1–10)

Autoren

Dr.-Ing. Tobias Lang
Wasserwirtschaftsamt Weilheim
Pütrichstraße 15
82362 Weilheim

E-Mail: tobias.lang@wwa-wm.bayern.de

Dipl.-Ing. Gregor Overhoff
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
Rosenkavalierplatz 2
81925 München

E-Mail: gregor.overhoff@stmuv.bayern.de

