

Einbruchtrichter am luftseitigen Dammfuß

Tobias Liepert, Andreas Bauer und Theodor Strobl

Zusammenfassung

Alles begann mit der Ereignismeldung - Loch am Dammfuß des Illerkanals oberhalb des Kraftwerks Au. Über Nacht bildete sich am luftseitigen Dammfuß des 8 m hohen Stauhaltungsdammes eine kraterähnliche Sackung, die im Morgengrauen von einem Bautrupp entdeckt wurde. Der Illerkanal ist in diesem Bereich wasserseitig mit einer natürlichen Erdstoffdichtung ausgekleidet. An der Schadstelle waren keine Wasseraustritte erkennbar. Das rund ein Meter tiefe und ein Meter im Durchmesser große Loch wurde umgehend verfüllt, der Kanalwasserstand auf das betriebliche Mindestmaß reduziert und eine Expertengruppe zur Ursachenerforschung eingesetzt. Im Bereich der Schadstelle liefen zu dieser Zeit Bauarbeiten zur Unterquerung des Kanals mit einer Erdgas-Leitung. Die Sackung lag direkt auf der Leitungsachse, so dass die Vermutung nahe lag, dass die Veränderungen im Untergrund eine Folge der Bauaktivitäten sein mussten. Zur Herstellung dieser Unterquerung wurde eine Kombination aus zwei Bohrverfahren angewandt, die der Geologie der jeweiligen Bodenschichten Rechnung tragen sollten. In die quartären (Roll-)Kiese wurde mit Hilfe einer Schneckenpressbohrung ein Schutzrohr eingebracht. In dessen Schutz erfolgte eine horizontale HDD-Spülbohrung mit der das Tertiär aufgefahren wurde. Nachdem für die HDD-Spülbohrung nachweislich keine Druckabfälle und Suspensionsverluste verzeichnet wurden, nahm die Expertengruppe die Schneckenpressbohrung in den Fokus. Es ist bekannt, dass durch Schneckenpressbohrungen bei instabilen Bodenverhältnissen und Arbeiten im Grundwasser an der Ortsbrust Hohlräume entstehen können. Beide Randbedingungen waren im vorliegenden Fall gegeben. Zur Erkundung des Schadenausmaßes erfolgte eine Vielzahl von Rammsondierungen. Die teils sehr niedrigen Schlagzahlen zeigten deutlich, dass entlang der Bauwerksachse vortriebsbedingte Auflockerungen entstanden sein mussten. Nachdem über das Schadenausmaß Konsens erzielt war, beriet die Expertengruppe mit einer Spezialtiefbaufirma über mögliche Injektionstechniken zur Sanierung, um die entstandenen Hohlräume zu verfüllen und die vortriebsbedingten Lockerungsbereiche wieder zu verfestigen. So sollten weitere Veränderungen im Stützkörper des Dammes ausgeschlossen werden, die in letzter Konsequenz ein Versagen der Dichtung zur Folge gehabt hätten. Die in diesem Bereich vorzufindende Geologie erwies sich bei den Injektionsarbeiten als äußerst anspruchsvoll, insbesondere die geogen bedingten Lockerzonen in Form von Rollkieslagen. Die Wiederherstellung des guten Zustandes konnte nach Abschluss der Injektionsarbeiten durch erneute Rammsondierungen und Erkundungsbohrungen bestätigt werden.

1 Einleitung

Die Ereignismeldung von Ende August 2021, *Loch am Dammfuß des Illerkanals oberhalb des Kraftwerks Au*, markiert den Beginn einer anspruchsvollen, lokalen Dammsanierung an einem setzungsempfindlichen Bauwerk bei regulärem Kraftwerksbetrieb. Über Nacht hatte sich am luftseitigen Dammfuß des 8 m hohen Stauhaltungsdammes ein Einbruchtrichter ausgebildet, der im Morgengrauen von einem Bautrupp entdeckt und sofort gemeldet wurde. Für diesen Bereich lagen keine Beobachtungen aus der laufenden Bauwerksüberwachung oder Erkenntnisse früherer Untersuchungen vor, die auf einen derartigen Schadensfall hingedeutet hätten. Am Einbruchtrichter waren weder Feuchtstellen noch Wasseraustritte erkennbar, selbst bei der sofortigen Reparatur der Schadstelle wurde kein Wasser angetroffen. Somit gab es keine Indizien, die auf

innere Erosion oder Piping hätten schließen lassen, weshalb eine Leckage in der natürlichen Erdstoffdichtung des Illerkanals als Ursache eher auszuschließen war. Dennoch bestand die Befürchtung, dass die offensichtlichen Veränderungen im Untergrund auch zu einem Schaden an der natürlichen Erdstoffdichtung des Kanals führen könnten.

Zur Minimierung des Risikos eines fortschreitenden Verbruchs wurden der Einbruchtrichter umgehend verfüllt und verdichtet, ein Auflastfilter im Bereich des Dammfußes geschüttet sowie der Kanalwasserstand auf das betriebliche Mindestmaß reduziert. Um mögliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen und entsprechend reagieren zu können, wurden Notfallpläne entworfen und die visuelle Kontrolle intensiviert, so dass der Damm rund um die Uhr in einem 3-Stunden-Rhythmus begangen wurde. Mit dem in diesem Fall notwendigen „Engineering Judgement“ war kurzfristig eine Abwägung der Risiken und Kosten zu treffen; der Gutachter empfahl dem Betreiber, auf der Basis des Überwachungskonzeptes die Anlage weiter zu betreiben. Darüber hinaus wurde unverzüglich eine Expertengruppe eingesetzt, die die Ursache und deren Auswirkungen auf den Damm untersuchte.

1.1 Der Illerkanal

Der knapp 14 km lange Illerkanal wurde zwischen 1928 und 1930 erbaut und besteht aus einer Folge von Einschnitt- und Stauhaltungsbereichen. Aus Gründen der Stromerzeugung wird am Altenstadter Wehr Wasser aus der Iller in den Illerkanal ausgeleitet und an den Kraftwerken Untereichen und Au verarbeitet, bevor das Wasser nördlich von Illertissen wieder in die Iller zurück bzw. teilweise in einen weiteren Kanal fließt (Abb. 1). Als Schüttmaterial für die Stauhaltungsdämme dienten die quartären Kiese, die in den Einschnitten gewonnen wurden. Vor Beginn der Dammschüttung wurde der Oberboden abgetragen, so dass die Dämme direkt auf den Quartärkiesen gegründet sind. Die Sohle und wasserseitigen Böschungen der Stauhaltungsbereiche sind mit einer 40 cm starken Lehmichtung ausgekleidet (Abb. 2). Die Erdstoffdichtung wird von einer 40 cm starke Kiesauflage geschützt. Die Oberkante der Lehmichtung ragt ca. 80 cm aus dem Wasser. (Hanke und Baumann 2006)



Abb. 1 Übersichtslageplan

Im Vorfeld der Erneuerung des Wasserrechts 2007 fanden umfangreiche Vermessungen, Tauchererkundungen, Gewässeranalysen und geotechnische Untersuchungen statt. Diese Untersuchungen dienten dazu den aktuellen Zustand der Anlage aufzunehmen und insbesondere im Hinblick auf die Standsicherheit bewerten zu können. Weder die Vermessungsdaten noch die Taucherbefunde ergaben Hinweise auf eine schadhafte Dichtung. In den Taucherberichten sind die Böschungen des gedichteten Bereichs als stark verfestigte Kiesschicht beschrieben, sodass

von einem stabilen Zustand ausgegangen werden kann. Im Zuge der geotechnischen Untersuchungen konnten die Dichtungsfunktion des eingebauten Lehms und die Standsicherheit der Dämme für alle zu betrachtenden Lastfälle sowie die Filterstabilität der Lehmdichtung nachgewiesen werden. (Hanke und Baumann 2006)

Aufzeichnungen aus der Bauzeit zeigen, dass die Stauhaltungsdämme auf den anstehenden Kiesen gegründet sind. Dies konnte durch die Aufschlüsse im Rahmen der Neukonzessionierung bestätigt werden. Gemäß der geologischen Karte Bayern sind im Illertal quartäre Schotter (postglaziale Schotter) und darunter tertiäre Schichten (Sande, Tone, Schluffe) zu erwarten. Bei den quartären Schottern handelt es sich um mehr oder weniger sandige, schwach schluffige bis teils schluffige, schwach steinige Kiese. Sie weisen eine mittlere Tragfähigkeit und geringe bis mittlere Kompressibilität auf. Ferner ist die Geologie des Illertals dafür bekannt, dass in den Schmelzwasserkiesen unregelmäßig sogenannte Rollkieslagen eingelagert sein können (Hagemeyer 2021). Die Standfestigkeit dieser rolligen Böden ist mittel bis teils relativ gering. Die Wasserdurchlässigkeit variiert je nach Sand- und Feinkornanteil zwischen $k_f = 1 \times 10^{-1}$ m/s und $1,5 \times 10^{-3}$ m/s. Die gesamte quartäre Schotterebene bildet zugleich den obersten Grundwasserleiter. Im Bereich der Schadstelle liegt das Grundwasser ca. fünf Meter unter der Geländeoberkante. (Wolf und Schneider 2005)

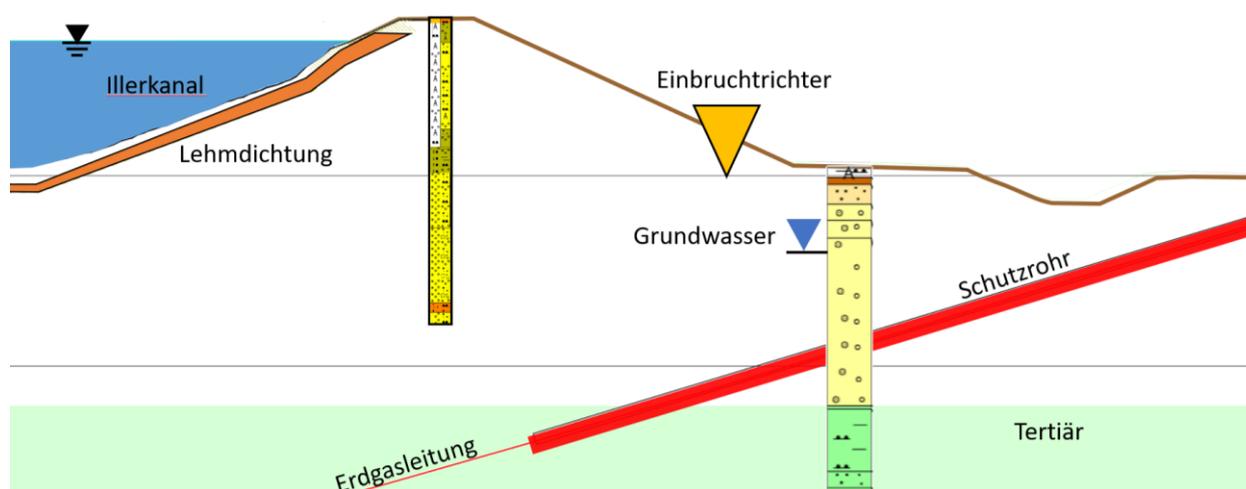


Abb. 2 Dammquerschnitt an der Schadstelle. Dargestellt sind das Schutzrohr in Rot, das Tertiär in Grün, die geologischen Aufschlüsse, der Einbruchtrichter als oranges Dreieck und der schematische Aufbau des Illerkanals mit seiner Lehmdichtung in Braun.

2 Ursachenforschung

Im Bereich der Schadstelle liefen zum Zeitpunkt des Auftretens des Einbruchtrichters Bohrarbeiten zur Unterquerung des Kanals mit einer Erdgas-Leitung. Da die Schadstelle direkt auf der Leitungsachse lag, war ein Zusammenhang zwischen den Bauaktivitäten und dem Dammschaden naheliegend, was sich im Folgenden auch bestätigt hat.

Zur Herstellung der geplanten Unterquerung wurde eine Kombination aus zwei Bohrverfahren angewandt, die der Geologie der jeweiligen Bodenschichten Rechnung tragen sollten. Zunächst wurde in die quartären (Roll-)Kiese mit Hilfe einer Schneckenpressbohrung ein Schutzrohr DN 600 eingebracht. In dessen Schutz folgte eine horizontale HDD-Spülbohrung mit der das Tertiär durchfahren werden sollte. Nachdem in den Bohrprotokollen für die HDD-Spülbohrung nachweislich keine Druckabfälle und Suspensionsverluste aufgezeichnet waren, rückte die

Schneckenpressbohrung in den Fokus der Ursachenfindung. Das Schneckenbohren setzt stabile und trockene Bodenverhältnisse voraus. Finden die Bohrungen bei instabilen Bodenverhältnissen oder im Grundwasser statt, besteht die Gefahr des hydraulischen Grundbruchs und infolgedessen der Bildung von Hohlräumen im Untergrund (VÖBU-Bohrhandbuch 2004). Beide ungünstig wirkenden Randbedingungen waren bei der Unterquerung des Illerkanals gegeben.

Bei der nachträglichen Aufarbeitung des Schadensmechanismus konnte durch Auswertung der Fotodokumentationen festgestellt werden, dass bei der Ausführung der Schneckenpressbohrung deutlich mehr Bodenmaterial entnommen wurde, als vom Schutzrohr eigentlich verdrängt worden wäre. Eine quantitative Erfassung der Entnahmemengen während des Bohrvorgangs fand nicht statt. Die Schätzung auf Grundlage der vorliegenden Fotodokumentation lässt vermuten, dass mindestens das Doppelte des Rohrvolumens aus dem Bohrloch gefördert wurde. Auch die Bemerkungen in den Rohrvortriebsprotokollen stützen die Hypothese eines hydraulischen Grundbruchs an der Ortsbrust. Dort ist vermerkt, dass *viel Wasser* und stellenweise *extrem viel Austrag* aus dem Bohrloch befördert wurde. Das Schneckenbohrverfahren bedingte ein Abpumpen des Grundwassers; dadurch bildete sich an der Ortsbrust ein hydraulischer Gradient, der den instabilen Boden auch außerhalb des Schutzrohres mobilisierte (Abb. 3). So entstanden zunächst Hohlräume und in Folge dessen kam es zu Auflockerungen der darüberliegenden Bodenschichten und des Dammkörpers. Zur finalen Einbringung des Schutzrohres in das Tertiär wurde das Bohrverfahren zuletzt auf ein Hammerbohrverfahren umgestellt. Es ist nicht auszuschließen, dass die hierbei hervorgerufenen Erschütterungen die Entstehung des Einbruchtrichters auf der luftseitigen Dammböschung letztlich beschleunigt haben.

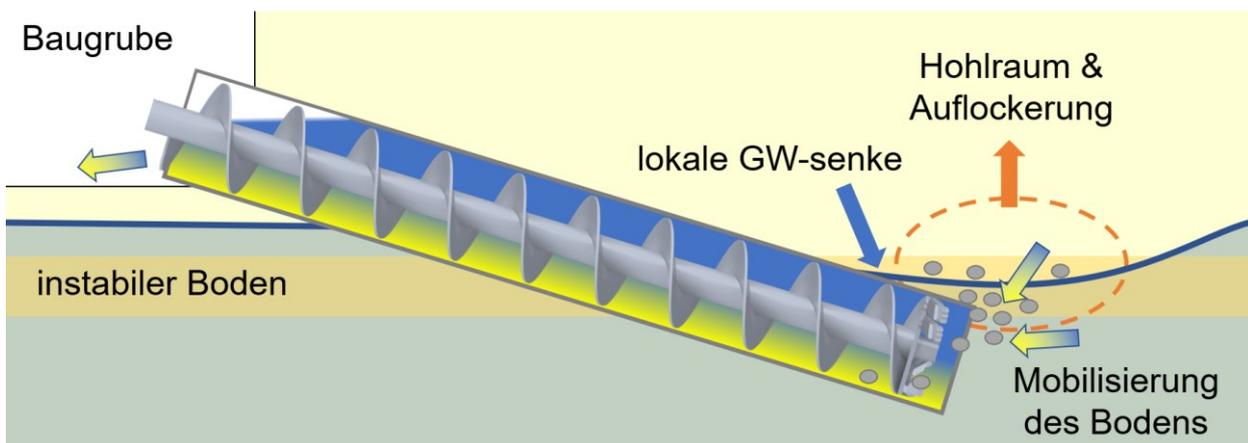


Abb. 3 Hydraulischer Grundbruch an der Ortsbrust bei Durchfahren einer instabilen Bodenschicht.

3 Erkundung des Schadensausmaßes

Zur Evaluierung der Dammstandesicherheit sowie zur Festlegung des späteren Sanierungsbereichs musste zunächst das tatsächliche Schadensausmaß erkundet werden (Abb. 4). Dabei konzentrierten sich die Erkundungsarbeiten zunächst auf den Bereich des Einbruchtrichters. Entlang der Leitungsschnecke wurden mit unterschiedlichem Abstand zum Schutzrohr beidseits Rammsondierungen erstellt. Die Schlagzahlen der unmittelbar neben der Leitungsschnecke durchgeführten Rammsondierungen waren auch in tiefen Lagen teilweise auffällig gering, was deutlich auf vortriebsbedingte Auflockerungen hinwies (Abb. 5). In einer weiteren Erkundungskampagne konnte die Vermutung, dass es auf der gesamten Wegstrecke des Schutzrohres zu einem Mehraustrag gekommen sein muss, der Schadensbereich jedoch nur eine sehr begrenzte Querausdehnung besitzt, bestätigt werden.

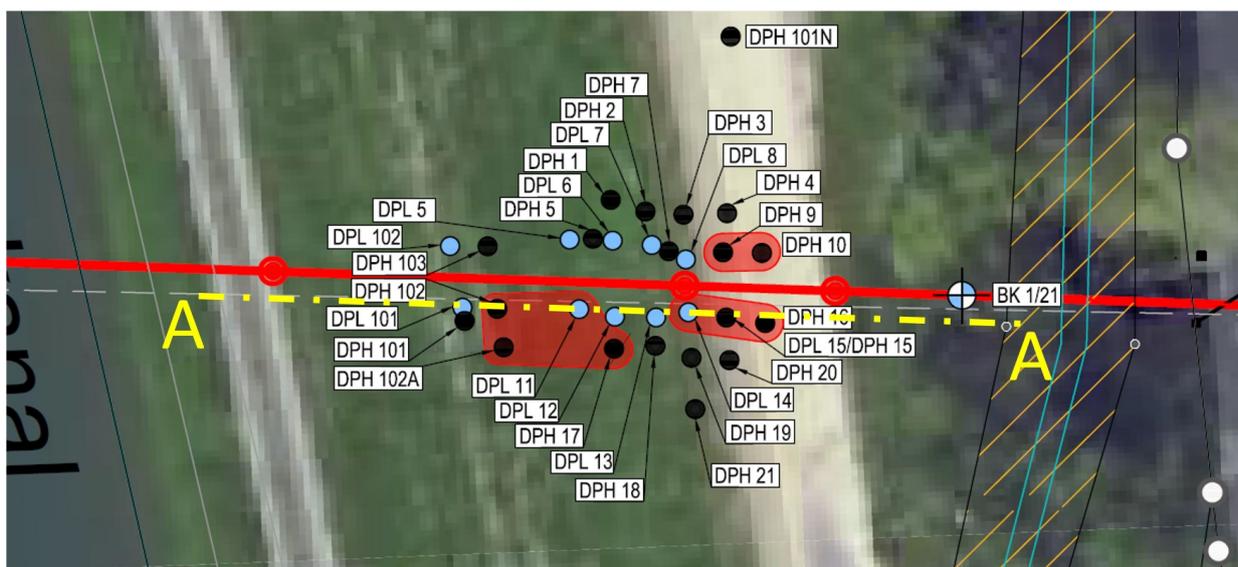


Abb. 4 Ausschnitt aus dem Lageplan der Rammsondierungen. Dargestellt sind die leichten Rammsondierungen (hellblaue Punkte), die schwere Rammsondierung (schwarze Punkte), die Leitungstrasse (rote Linie), die vortriebsbedingten Lockerzonen (rote Bereiche) und die Schnittachse A-A der Abb. 5.

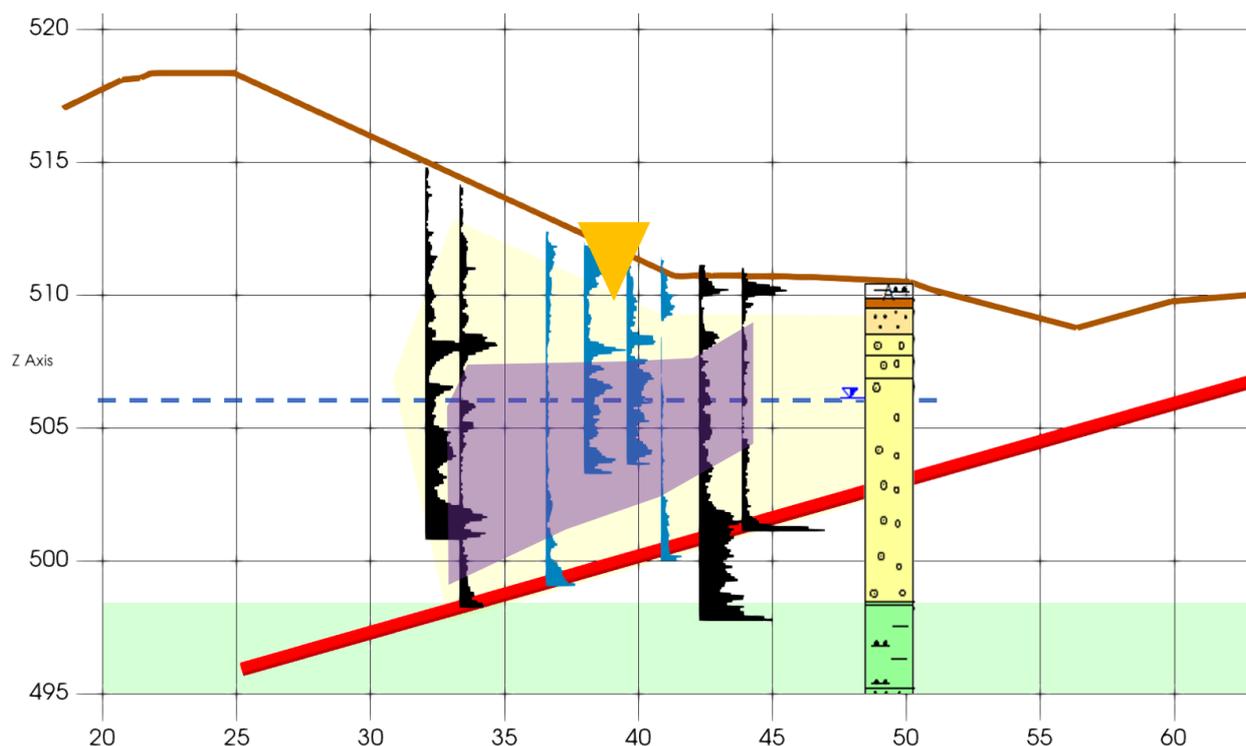


Abb. 5 Normierte Ergebnisse der Rammsondierungen entlang der Achse A-A (Abb. 4). Dargestellt sind die Schlagzahlen der leichten Rammsondierungen in Blau, die Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen in Schwarz, der Verlauf des Schutzrohres (rot Linie), das angenommene Tertiär (grüner Bereich), die vortriebsbedingte Auflockerungszone (lila Bereich), der festgelegte Sanierungsumfang (gelber Bereich) und der Einbruchtrichter (orangenes Dreieck).

In Summe waren zur Eingrenzung des Schadensbereichs dreißig Rammsondierungen notwendig (Abb. 4). Zu Beginn der Sondierarbeiten wurden leichte Rammsondierungen (DPL) eingesetzt. Die geplanten Sondiertiefen bis zur Unterkante des Schutzrohres konnten jedoch nur in

stark aufgelockerten Bereichen erreicht werden, so dass im weiteren Fortgang die Erkundungen auf das Verfahren der schweren Rammsondierung (DPH) umgestellt werden musste. So konnten die Lagerungsdichten auch in den ungestörten Bereichen und dem Bereich der Sofortreparatur bestimmt werden. Nachdem das Schadensausmaß eingegrenzt war, wurde mit Spezialtiefbau-firmen über mögliche Injektionstechniken beraten.

Ergänzend wurden zwei Referenzsondierungen gemacht, die die Verhältnisse im ungestörten Boden wiedergaben. Bei den Referenzsondierungen zeigten sich ebenfalls Lockerzonen. Im geologischen Gutachten sind sie als geogen bedingte Auflockerungen bezeichnet. Es wird vermutet, dass es sich hierbei um Rollkieslagen handelt, die ebenfalls sehr geringe Schlagzahlen hervorrufen.

4 Sanierung - Injektionen

Unter den Beteiligten bestand Einigkeit, dass die entstandenen Hohlräume und die vortriebsbedingten Lockerungsbereiche durch Injektionen wieder verfüllt und verfestigt werden sollten. Andernfalls bestand die Gefahr, dass sich die Auflockerungen im Stützkörper weiter ausbreiten und möglicherweise zu einem lokalen Versagen der Dichtung führen könnten.

Mit erfahrenen Spezialtiefbauunternehmen wurden mögliche Verfahren zur dauerhaften Stabilisierung des Dammgefüges beraten, u.a. Manschettenrohr- und Verdichtungsinjektionen (Compaction Grouting). Bei Manschettenrohrinjektionen sind der Injektionserfolg schichtweise kontrollierbar und somit die Injektionsarbeiten besser steuerbar, auch im Hinblick auf eventuell erforderliche Nachverpressungen. Allerdings schied diese Option aufgrund der langen Ausführungszeit von etwa drei Monaten und der bevorstehenden Frostperiode aus. Für die alternativ diskutierten Verdichtungsinjektionen hingegen, wurde eine Bauzeit von lediglich 5 Wochen veranschlagt. So bestand die Aussicht die Sanierungsarbeiten noch vor dem Wintereinbruch abschließen zu können.

Bei der Verdichtungsinjektion wird eine dickflüssige Bindemittelsuspension stufenweise von unten nach oben in den lockeren Boden eingepresst. Idealerweise entstehen kugelförmige Injektionskörper, die den umliegenden Boden verdrängen und dabei verdichten. Geplant war, die Injektionslanzen durch Spülbohrungen mit Suspension aus Wasser und Füllbinder möglichst erschütterungsarm in den zu sanierenden Bereich einzubohren und dann von unten nach oben stufenweise zu injizieren. Während der Spülbohrung muss kontinuierlich geringfügig Suspension aus dem Bohrloch austreten. Bei ausbleibendem Suspensionsaustritt ist der Bohrvortrieb bei gleichbleibender Suspensionszugabe so lange zu pausieren, bis die Suspension wieder zu Tage tritt. Hierdurch findet eine Vorvergütung angetroffener Lockerbereiche statt. Mit Erreichen der Endtiefe erfolgt die Umstellung von Bohren auf Injizieren, indem die Verpressrate auf 10 bis max. 20 l/min gedrosselt und der Wasserbindemittelwert auf 0,6 reduziert werden. Im Anschluss erfolgt die stufenweise Injektion in 75 cm Schritten. Als Abbruchkriterien wurden mehrere Parameter definiert: neben einer Mengenbegrenzung von 400 l Injektionsgut je Stufe und einem stufenabhängigen Maximaldruck von 5 bis 20 bar wurden auch Parameter wie Austritte von Suspension aus Ringraum und/oder Baugrund sowie Hebungen oder Setzungen im Baufeld festgelegt.

Um die Verfahrensparameter und -abläufe an die örtlichen Baugrundverhältnisse anzupassen, fanden die ersten Injektionen zunächst in einem Probefeld statt. Schnell zeigte sich, dass das Spülbohrverfahren aufgrund der vorherrschenden Geologie ungeeignet war, da beim Einbohren in die groben Kiese ein verhältnismäßig großer Ringraum entstand und so Umläufigkeiten ent-

lang des Bohrrohres geschaffen wurden, sodass es unmittelbar nach Injektionsbeginn zu Suspensionsaustritten aus dem Ringraum kam. Erst durch die Umstellung auf das Rammverfahren konnten nennenswerte Mengen der Bindemittel-Suspension im Boden verpresst werden. Dabei zeigten sich im Probefeld deutlich die geologisch bedingten Herausforderungen. Entweder wurde noch vor Erreichen der Mengengrenzung der angestrebte Maximaldruck erreicht oder die Bindemittelsuspension konnte bis zum Erreichen der Mengengrenzung fast drucklos eingebracht werden, ohne die dabei angestrebte Bodenverdichtung zu erzielen. Der ursprüngliche Injektionsplan sah vor, dass durch nachfolgende Injektionen der Boden in unmittelbarer Nähe verdichtet werden sollte. Die Arbeiten im Probefeld zeigten jedoch, dass dieses Vorgehen nicht zielführend war. Bei den Nachinjektionen in unmittelbare Nähe kam es rasch zu Austritten aus dem Ringraum. Daraufhin wurde die grundsätzliche Mengengrenzung fallen gelassen und auf Nachinjektionen verzichtet. Im weiteren Fortgang konnte stets ein Druckaufbau erzielt werden, wobei die dafür notwendigen Verpressmengen zwischen 100 l bis 5000 l stark schwankten. Diese zum Teil großen Verpressmengen deuten darauf hin, dass die Reichweite der Injektion weit über die zunächst angenommene kugelförmige Ausdehnung hinausgeht, so dass hier von einer kombinierten Verfüll- und Verdichtungsinjektion gesprochen werden kann. Insgesamt wurden über 400 m³ Injektionsgut in den Untergrund verbracht, wobei sich aus den Aufzeichnungen zu den reinen Verpressgutmengen pro Stufe aufgrund des ohnehin großporigen Untergrundes keine exakte Abgrenzung des Schadensbereichs ableiten ließ (Abb. 6). Die Verpressgutaufnahmen deuteten jedoch auf eine Ausdehnung der Auflockerungszone in Richtung Wasserseite hin.

Durch engmaschige Vermessungen im Injektionsfeld und auf der Dammkrone wurden die Injektionsarbeiten baubegleitend abgesichert. Dabei wurde die Dammkrone mittels fünf fest installierten Setzungsmesspunkten überwacht. Im Baufeld wurden provisorische Messnetze aufgespannt und vom Baustellenteam im laufenden Betrieb kontinuierlich gemessen. Erst kurz vor dem geplanten Abschluss der Dammsanierung zeigten die Nivellements der Dammkrone Hebungen im Millimeter-Bereich. Dabei sind die Hebungen als Zeichen zu werten, dass sämtliche Hohlräume verfüllt und alle aufgelockerten Bereiche verdichtet werden konnten.

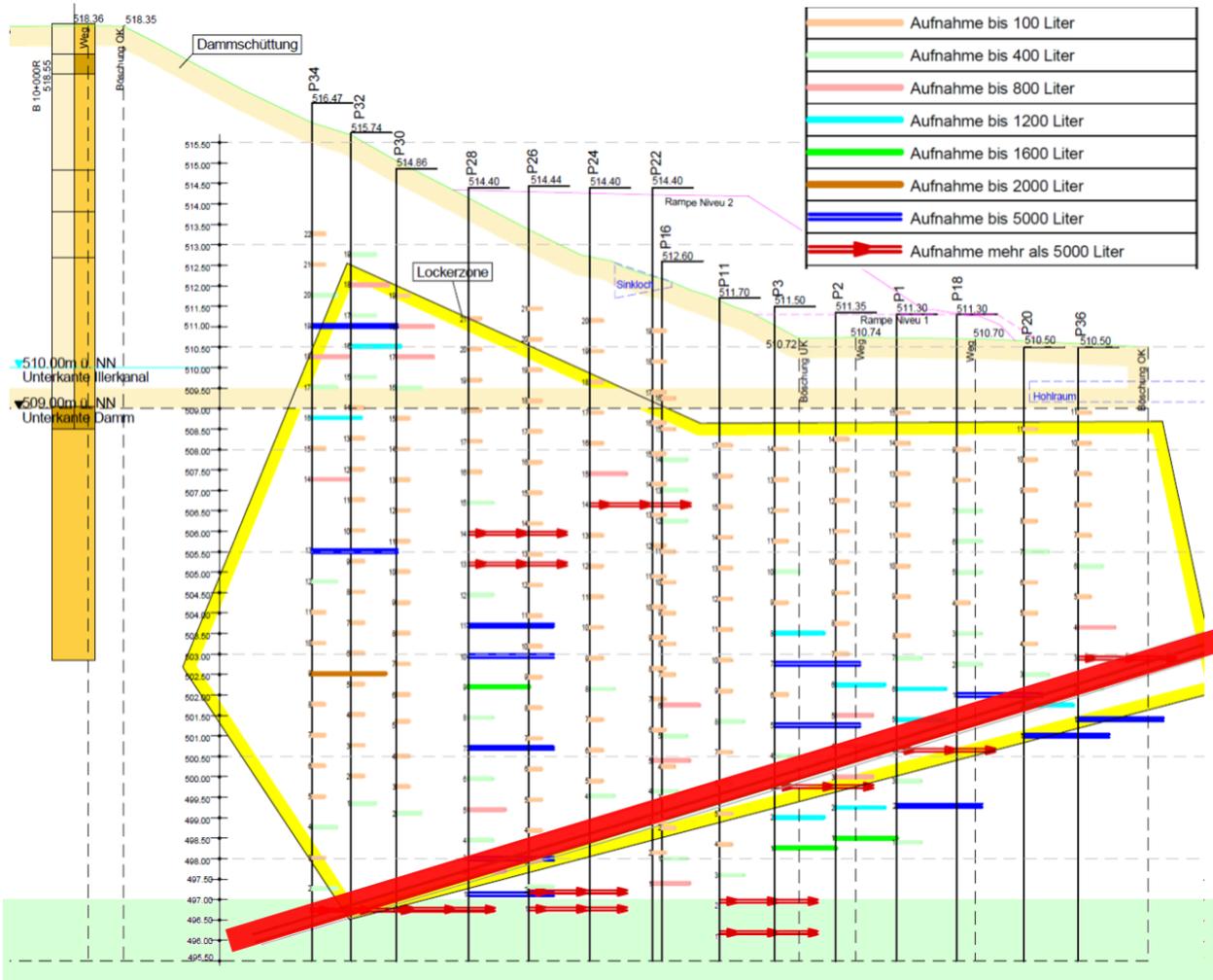


Abb. 6 Querschnitt mit Schutzrohr (rote Linie) angenommener Auflockerungszone (gelber Umriss), Injektionsbohrungen und Verpressgutaufnahmen je Stufe.

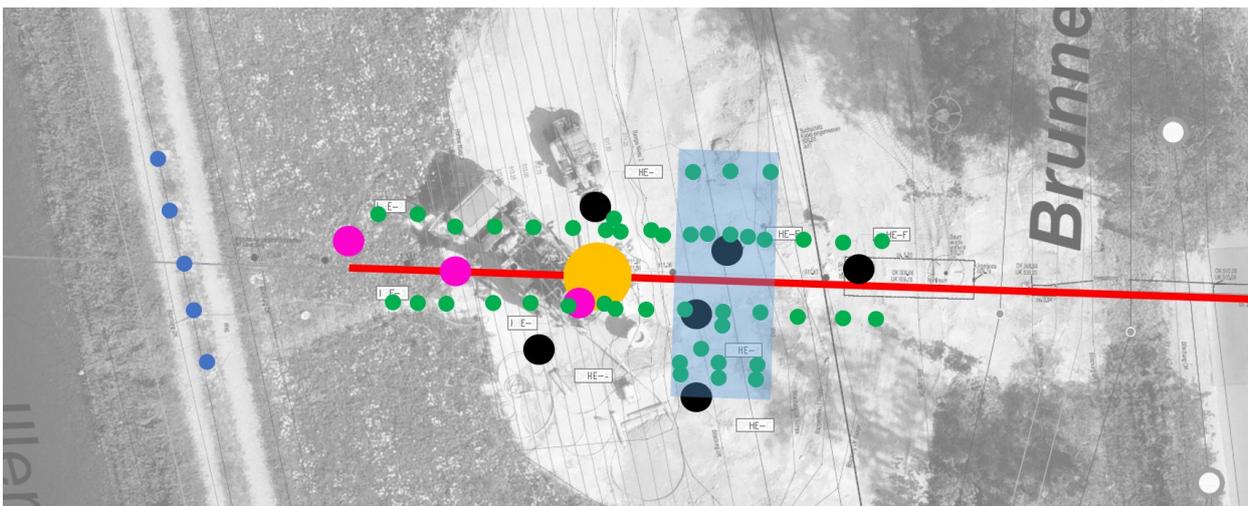


Abb. 7 Lageplan der Injektions- und Untersuchungsstellen. Dargestellt sind die Leitungsachse des Schutzrohrs (rote Linie), die Setzungsmesspunkte auf der Dammkrone (blaue Punkte), die Ansatzpunkte der Injektionen (grüne Punkte), die zusätzlichen schweren Rammsondierungen (schwarze Punkte), die zusätzlichen Aufschlussbohrungen als (magentafarbene Punkte) und der Erosionstrichter (oranger Kreis).

5 Erfolgskontrolle und Abschluss

Zur Überprüfung des Erfolgs der Injektionsmaßnahmen wurde ein Erkundungskonzept bestehend aus Rammsondierungen und Kernbohrungen erarbeitet (Abb. 7). Durch die geplanten Rammsondierungen sollte ein direkter Vergleich zum Zustand vor der Sanierung ermöglicht werden. Da bei den Rammsondierungen bereits die oberen injizierten Bereiche nicht mehr durchdrungen werden konnten, war eine Aussage zum Injektionserfolg in den tieferen Bereichen nicht möglich. Daher wurden während der ebenfalls vorgesehenen Erkundungsbohrungen ergänzend Bohrlochrammsondierungen vorgenommen. Die Kernbohrungen wurden an der Stelle des ursprünglichen Einbruchtrichters, über der vermuteten Einbindung des Schutzrohres in das Tertiär und im standsicherheitsrelevanten Bereich der Dammböschung abgeteuft. In allen drei Bohrungen konnte der Injektionserfolg durch gut sichtbares, an den Kieskörnern anhaftendes Verpressgut bestätigt werden. Ferner zeigten die Bohrlochrammsondierungen (Standard Penetration Tests) über die gesamte Erkundungstiefe eine sehr hohe Festigkeit.

Durch diese abschließenden Untersuchungen konnte belegt werden, dass alle relevanten Hohl- und Porenräume durch die Injektionen verfüllt wurden, wodurch auch die Wiederherstellung des plangemäßen Zustandes bestätigt werden konnte.

Literatur

Hanke, H; Baumann, B (2006). Unterer Iller Kanal – Standsicherheit Dämme, Einschnittböschungen und Dichtung, Bau + Plan Ingenieurgesellschaft mbH, München, unveröffentlicht.

Hagemeister, A (2021). Gutachtliche Stellungnahme Verlegung Gasleitung bei Illertissen/ Erkundung Schadensbereich Iller-Seitenkanal (UIAG), Kling Consult, Krumbach, unveröffentlicht.

Wolf, D., Schneider R (2005). Baugrunderkundung Gutachten Kanaldämme, Crystal Geotechnik, Utting, unveröffentlicht.

VÖBU-Bohrhandbuch (2004). VÖBU Vereinigung Österreichischer Bohr- und Spezialtiefbauunternehmungen, Wien, 2. Ausgabe, 2004.

Anschrift der Verfasser

Dr.-Ing. Tobias Liepert
Uniper Kraftwerke GmbH
Johann-Schmidt-Str. 11, D-86966 Landsberg am Lech
Tobias.Liepert@uniper.energy

Dr.-Ing. Andreas Bauer
Uniper Kraftwerke GmbH
Luitpoldstraße 27, D-84034 Landshut
Andreas.Bauer@uniper.energy

Prof. Dr.-Ing. (EoE) Theodor Strobl
Arcisstraße 21, D-80333 München
theodor.strobl@tum.de

