



Herausgegeben von
Christian Moormann
Carola Vogt-Breyer



15. Kolloquium Bauen in Boden und Fels

**Die Fachtagung zu aktuellen
Herausforderungen in der Geotechnik**

Tagungshandbuch 2026

expert ›

Kainzmühlsperre – Sanierung der Staumauer mit Kunststoffdichtungsbahn und Dichtungsschleier

Dr.-Ing. Barbara Tönnis

Tractebel GmbH, Weimar

Dipl.-Ing. Bernd Aberle

Geotechnik Aberle, Kelbra

Zusammenfassung

Die Kainzmühlsperre ist Teil der Kraftwerksgruppe Pfreimd. Die Kainzmühl- und die Trausnitzsperre sind die Unterbecken des Hochspeichers Rabenleite. Eigentümer/Betreiber ist die ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH. Die Kainzmühlsperre wurde in den Jahren 1923/1924 als Gewichtsstaumauer aus Beton errichtet. In den Jahren 1954/1955 wurden umfangreiche Sanierungsmaßnahmen im Zuge der Erhöhung der Staumauer durchgeführt. Bauzustandsuntersuchungen, Standsicherheitsberechnungen und Auswertungen des Bauwerksmonitorings dokumentierten den schlechten Zustand der Bausubstanz, so dass die Aufsichtsbehörde im Jahr 2019 eine Stauspiegelbegrenzung festlegte. Seitdem wurde eine Sanierungsmaßnahme zur Wiederherstellung der Zuverlässigkeit der Staumauer geplant und im Jahr 2024 durchgeführt. Die Erfahrungen bei der Herstellung eines wasserseitigen Dichtungssystems mit einer Kunststoffdichtung und eines Dichtungsschleiers im Fels bei einer Bauausführung bei entleertem Stauraum ohne den Schutz eines Fangedammes werden erläutert. Mit der Sanierung der Staumauer wurde der normgerechte Zustand des Bauwerks hergestellt.

1. Vorhabenbeschreibung

Die Kainzmühlsperre ist Teil der Kraftwerksgruppe Pfreimd. Die Pumpspeicherkraftwerke Reisach und Tanzmühle nutzen als gemeinsames Oberbecken den Hochspeicher Rabenleite. Die Trausnitzsperre und die Kainzmühlsperre sind die zugehörigen Unterbecken.

Die Kainzmühlsperre wurde in den Jahren 1923/1924 als Gewichtsstaumauer aus Beton mit einer Kronenlänge von circa 120 m errichtet. In den Jahren 1954/1955 sind umfangreiche Sanierungsmaßnahmen im Zuge der Erhöhung der Staumauer durchgeführt worden. In den vergangenen Jahrzehnten erfolgten Bauzustandsuntersuchungen, Tragsicherheitsberechnungen und Auswertungen des Bauwerksmonitorings, die den allgemein schlechten Zustand der Bausubstanz dokumentieren. Im Ergebnis wurde im Jahr 2019 von der Aufsichtsbehörde schrittweise eine Stauspiegelbegrenzung angeordnet. Die letzte Begrenzung auf 456,40 m ü. NN, d. h. 1,6 m unterhalb des Vollstauziels, war bis zum baubedingten Abstau der Talsperre gültig.

In ihrer Verantwortung für die Talsperrensicherheit hat die ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH (EDEG) als Eigentümer und Betreiber.

- die Veränderungen von Messwerten untersuchen lassen,
- weitere Bauzustandsuntersuchungen durchgeführt und
- Sofortmaßnahmen zur Erhöhung der Tragsicherheit umgesetzt,

um auf diesen Erkenntnissen eine fundierte Entscheidung über ein Sanierungskonzept mit dem Ziel der Gewährleistung bzw. Wiederherstellung der normgerechten Zuverlässigkeit (Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und

Dauerhaftigkeit) der Staumauer bei den genehmigten Stauzielen treffen zu können.

Durch die Sanierungsmaßnahmen müssen folgende Ziele erreicht werden:

- Verhinderung der Durchsickerung der Staumauer,
- Reduzierung des Sohlenwasserdruckes und des Eindringens von Wasser aus dem Untergrund in die Staumauer sowie
- die Anpassung der Anlagen der messtechnischen Bauwerksüberwachung.

Die umgesetzten Maßnahmen zur Wiederherstellung der Zuverlässigkeit sind

- Herstellung eines Dichtungsschleiers im Untergrund der Staumauer,
- Einbau eines Dichtungssystems mit Kunststoffdichtung an der Wasserseite der Staumauer,
- Ergänzung der messtechnischen Bauwerksüberwachung.

2. Sanierungsmaßnahmen an der Kainzmühlsperre

2.1 Beschreibung des Bauwerks

Die Kainzmühlsperre ist eine Gewichtsstaumauer aus Beton mit gerader Mauerachse, einer Kronenlänge von ca. 120 m und einer Bauwerkshöhe von ca. 22 m über der Gründungssohle. Der Mauerkörper wurde blockweise hergestellt. Block 1 befindet sich am linken Widerlager, Block 11 am rechten Widerlager. Zwischen den drei Wehrfeldern (Block 3a/3b, Block 4a/4b und Block 5) befinden sich die Wehrpfeiler 2 und 3. Im Wehrpfeiler 3 ist der Grundablass angeordnet.

Mit einem Stauvolumen von ca. 1,1 Mio. m³ ist die Kainzmühlsperre der Talsperrenklasse 1 nach DIN 19700-11 zuzuordnen.

Unter der Bezeichnung Pfreimdtalsperre wurde die Talsperre für die Stromerzeugung mit einer Ausbauleistung 1.800 kW betrieben. Im Zuge der Errichtung der „Pumpspeichergruppe Jansen“, heute Kraftwerksgruppe Pfreimd, wurde die Talsperre in den Jahren 1954/1955 umgebaut und erhielt die Bezeichnung Kainzmühlsperre. Folgende wesentliche Anpassungen wurden 1954/1955 vorgenommen:

- Erhöhung des Vollstauziels von 455,00 m ü. NN auf 458,00 m ü. NN.
- Erhöhung der Staumauer (Mauerkrone auf 460,1 m ü. NN), verbunden mit dem Rückbau/Abbruch der nicht standfesten Betonflächen der alten Staumauer, der Injektion des alten Mauerkörpers (Kernbeton) und dem beidseitigen Einbau einer Vorsatzbetonschale. Zum besseren Verbund zwischen dem porösen Kernbeton und der neuen Vorsatzschale wurden Haften Ø 14 mm Betonstahlgüte I, die auch als Schalungsverankerung dienten, eingebaut (s. Abb. 1).
- Außerbetriebsetzung des Kraftwerks der Pfreimdtalsperre, Nutzung des Gebäudes als Schaltheus bzw. Erholungsheim (nicht im Eigentum der EDEG).
- Neubau und Inbetriebnahme des Eulengrundstollens.



Abb. 1: Ansicht der Wasserseite während des Umbaus 1954/1955 [EDEG]

Im Ergebnis von Sicht- und Materialprüfungen seit 2019 wies der Beton starke Abwitterungen in der Wasserwechselzone auf. In den Fugenbereichen wurden tiefere Ausbrüche bis in den Dezimeterbereich festgestellt. Vorhandene Risse zeigten Wasserläufigkeiten, d. h. in der Mauer, insbesondere im porösen Kernbeton, steht Wasser. Messungen ergaben teilweise hohe Sohlenwasserdrücke in der Gründungsfuge.

2.2 Geplante Sanierungsmaßnahmen

Mit der Instandsetzung der Staumauer sollen die Tragsicherheit, Betriebssicherheit, Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit bei den genehmigten Stauzielen wiederhergestellt und für einen Zeitraum von mindestens fünfzig Jahren gewährleistet werden.

Die Maßnahmen zur Wiederherstellung der Zuverlässigkeit umfassen im Wesentlichen:

- Herstellung/Sanierung eines Dichtungsschleiers im Untergrund,
- Einbau eines Dichtungssystems mit Kunststoffdichtungsbahn an der Wasserseite der Staumauer,
- Sanierung/Ergänzung der Anlagen der messtechnischen Bauwerksüberwachung.

Zusätzlich muss die vorhandene Steuerzelle auf der Mauerkrone durch einen Anbau erweitert werden.

Im Jahr 2022 wurden die erforderlichen Kartierungen am Standort ausgeführt und auf deren Grundlage die naturschutzfachlichen Gutachten erstellt. Der Genehmigungsantrag wurde am 31. März 2023 eingereicht.

3. Bauliche Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen

3.1 Vorbereitende Maßnahmen

Auf der Luftseite wurde eine Baustelleneinrichtungsfläche hergestellt. Im Vorfeld der Sanierungsmaßnahmen wurde die Talsperre im September 2023 entleert und der überwiegende Teil der Fisch- und Krebsfauna sowie der Muscheln entnommen und in die unterhalb liegende Trausnitzsperre umgesetzt. Ohne erneute Befischung wurde die Talsperre im März 2024 abgestaut. Die Baumaßnahmen wurden von März bis Oktober 2024 umgesetzt.

Die Bautätigkeiten begannen mit der Beräumung und seitlichen Lagerung der Sedimente sowie der Herstellung der Baustraße im wasserseitigen Baufeld.

Bei der Einrichtung der Baustelle wurde festgestellt, dass auf der wasserseitigen Betonfläche ein PAK-haltiger Anstrich vorhanden war, der aufwändig durch Fräsen beseitigt werden musste.

3.2 Dichtungsschleier im Untergrund

Die Kainzmühlsperre liegt in der Moldanubischen Zone. Das Grundgebirge besteht überwiegend aus paläozoischen, metamorph überprägten Sedimentgesteinen (v. a. Cordieritgneis), in die später granitoide Gesteine intrudiert wurden. Laut geologischer Karte (GK 25, Tännenberg) treten im Sperrenbereich Sillimanitfleckengneis, Cordierit-Sillimanit-Flaser- und Zeilengneis sowie fein- bis feinkörniger Granit auf.

Der Baugrundbericht von 1955 beschreibt den Sperrenuntergrund als gebankten, teils hellen, teils dunklen Gneis. Im Nordwesten sind die Klüfte meist eng (1–2 cm) und mit Kluftletten oder Gesteinszerreißel verfüllt. Im Südosten dagegen enthalten sie weichen, plastischen Letten; dort wurden zwischen den harten Gesteinsbänken bis zu 10 – 30 cm starke Schalen von angereichertem Kluftletten beobachtet.

Bei der Erhöhung der Mauer in den 1950er Jahren hatte man im Hinblick auf die Sohlenwasserdrücke eine Vorspannung mit Stahlbündeln aus Rundstahl vorgesehen. Dies wurde jedoch nicht umgesetzt. Stattdessen wurde 1954/1955 ein Dichtungsschleier hergestellt.

Laut Bautagebuch wurde zusätzlich eine Untergrundinjektion ausgeführt, über deren genaue Lage und Ausführung jedoch keine gesicherten Informationen vorliegen. Dazu wurden Bohrungen von der Wasserseite durch den

Sporn der Staumauer bis etwa 5 m unter die Gründungssohle abgeteuft (s. Abb. 2). Die Bohrungen waren 24° zur Luftseite geneigt.

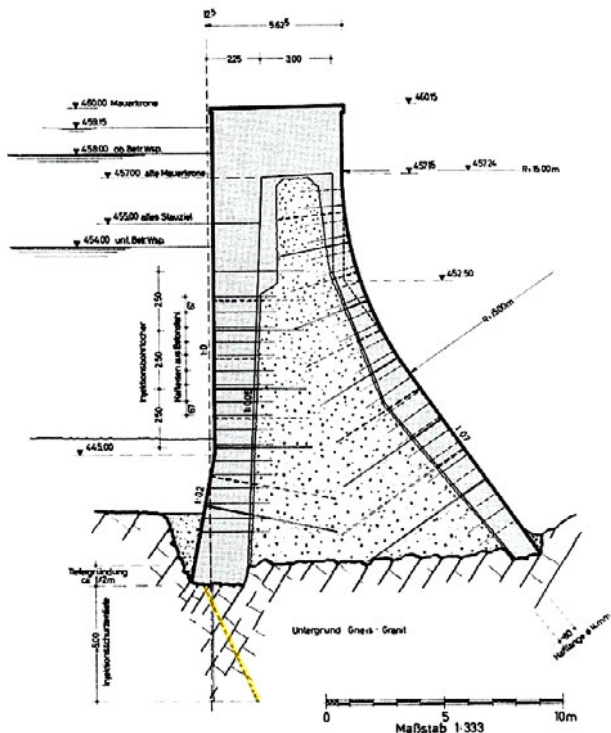


Abb. 2: Lage der Verpressbohrungen 1954 [EDEG]

Ziel der Injektion war eine Vergütung des Untergrundes und der Gründungssohle zur Begrenzung und Reduzierung der Sohlenwasserdrücke. Der Dichtungsschleier sollte möglichst nahe an der Wasserseite hergestellt werden. Dafür war im oberen Bohrbereich ein Verpresswiderlager erforderlich, um zu verhindern, dass die Zementsuspension unkontrolliert in den Zwickel zwischen Fels und Mauersporn austritt.

Im Zuge der Baumaßnahmen in 2024 wurden Suspensionsrückstände, die auf der Wasserseite vor der Staumauer ausgegraben (s. Abb. 3). In der obersten Lage wurden mehr als 30 Schichten gezählt.

Der Altbeton wurde mit einer Zementinjektion ertüchtigt. Dazu wurden rund 3.000 Bohrmeter mit einem Abstand von weniger als 2,5 m abgeteuft. Insgesamt wurden etwa 500 t Zement (W/Z-Verhältnis = 4:1) verpresst. Die mittlere Zementaufnahme betrug 117 kg/m³.



Abb. 3: Zementsuspensionsspuren aus 1954/1955

Bei den Sanierungsarbeiten in 2024 wurde der Dichtungsschleier einreihig, in zeitlich aufeinander folgenden Serien (A-, B-, C- und D-Serie) ausgeführt. Zur Verhinderung von Verbindungen der Bohrlöcher untereinander wurden zunächst die Primärbohrungen (A-Serie) mit einem Abstand von ca. 8 m hergestellt. Erst nach der Injektion der Primärbohrlöcher (A-Serie) wurden dazwischen die Sekundärbohrlöcher (B-Serie) und anschließend die Tertiärbohrungen (C-Serie) hergestellt. Nach Auswertung des bisher erreichten Dichtungserfolges wurde in einigen Abschnitten mit den D-Bohrungen der Bohrlochabstand auf 1 m reduziert.

Die Bohrungen wurden i. d. R. vom wasserseitigen Bau- feld aus, zum Unterwasser geneigt, als Kernbohrungen ca. 8 m im Vorsatzschalenbeton und ca. 8 m im Fels mittels Kernbohrungen bzw. Im-Loch-Hammerbohrungen hergestellt.

Die Injektion wurde von unten nach oben mit Verpressstufen von 3 m Länge ausgeführt. Die Bezeichnung der Stufen wurde so gewählt, dass die Verpressung mit Stufe 5 – im Bohrlochtiefsten – beginnt (s. Abb. 4). Die Stufe 3 verpresst bei allen Bohrungen den Bereich von 1 m über der Gründungssohle bis 2 m unterhalb der Gründungssohle.

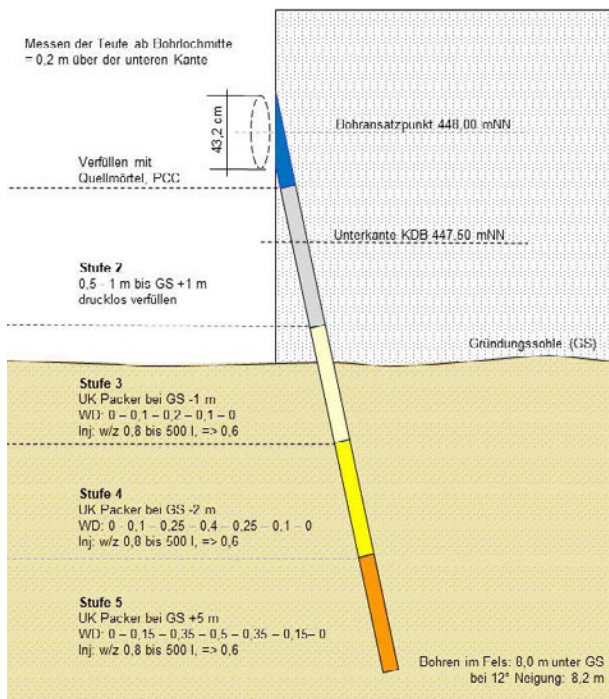


Abb. 4: Auszug aus der Arbeitsanweisung Injektion

Die Verpressung wurde beendet, wenn die Aufnahmemenge weniger als einen Liter pro Minute über eine Verpresszeit von 10 min erreicht hatte. Die Stufe 2, oberhalb der Gründungssohle wurde mit Zementsuspension drucklos bis ca. 0,5 m unter dem Bohransatzpunkt verfüllt. Mit Stufe 1 wurde der Abschnitt über Stufe 2 bezeichnet, der drucklos mit Quellmörtel verfüllt wurde. Bei Umläufigkeiten wurde der Packer gelöst und 0,5 m bis 1,0 m höher eingebaut. Bei Aufnahmemengen größer 500 l wurde der W/Z-Wert auf 0,6 und nach weiteren 500 l auf 0,5 reduziert.

Für den Dichtungsschleier waren im Wesentlichen die folgenden Hauptpositionen zu erbringen:

- | | |
|--------|--------------------------------------|
| 1 | Baustelleneinrichtung |
| 1.710 | Injektionsbohrmeter in 112 Bohrungen |
| 550 | Kernbohrmeter von den 1.710 m |
| 300 | Injektionsstunden |
| ca. 11 | Tonnen, Liefern von Injektionszement |
| 390 | Einbau/Umsetzen von Packern |
| 60 | WD-Tests |
| 20 | Bohrlochverlaufsmessung |

Die Arbeiten erfolgten von April bis August 2024 im entleerten Becken ohne Fangdamm (s. Abb. 5).



Abb. 5: Herstellung des Dichtungsschleiers an der Wasserseite der Staumauer

Gemäß den Vergabeunterlagen wurden die ersten Bohrungen als Probeinjektionen ausgeführt. Die Suspensionseigenschaften, WD-Tests und Verpressergebnisse wurden direkt vor Ort ausgewertet. Auf Basis der Ergebnisse wurde die Verpressungen mit einem W/Z-Wert von 0,8 begonnen, und auf die Zugabe von Einpresshilfen und Stabilisatoren weitgehend verzichtet.

Bei den ersten beiden Bohrungen zeigte sich trotz 8 m Abstand eine Verbindung über eine steilstehende Trennfläche, die auch eine direkte Verbindung zu einer Pegelbohrung aufwies. Nach zwei Wochen wurden die Arbeiten im Regelbetrieb fortgeführt.

Der kritische Pfad lag im Abteufen der Bohrungen. Aufgrund des engen Arbeitsraums und des Pilgerschrittverfahrens war der Einsatz zusätzlicher Bohrgeräte nur eingeschränkt möglich.

Die gesamte Ausrüstung musste täglich nach Arbeitsende – sowie bei akuter Hochwassergefahr – vollständig aus dem Becken beräumt werden.

Die Bohr- und Injektionsarbeiten begannen auf der linken Seite am Einlauf des Eulengrundstollens.

In den ersten zwei Monaten verzögerte sich der Baufortschritt durch:

- mehrere Hochwasserereignisse,
- PAK-haltige Beläge auf der Maueroberfläche,
- geringen Bohrfortschritt bei Kernbohrungen

Im rechten Mauerabschnitt erschwerten bis zu 30 cm mächtige Quarzbänder im Gneis die Kernbohrungen. Daher wurde entschieden, den überwiegenden Teil der Kernbohrung im Gebirge durch Im-Loch-Hammerbohrungen zu ersetzen. Als weitere Beschleunigungsmaßnahme wurde festgelegt, dass die Bohrungen von der Mitte des Blockes 09 bis zum rechten Hang (Block 11) von der Mauerkrone aus abgeteuft werden.

Aufgrund der geringen Aufnahme in der C-Serie entfielen in der D-Serie auf der linken Seite der Staumauer neun Bohrungen und auf der rechten Seite sieben Bohrungen.

In den Blöcken 04b und 05 beidseitig des Wehrpfeilers 3 wurde der Untergrund unterhalb des Grundablasses mit zwei „Bohrfächern“ verpresst.

Für die Verpressung wurden 100 Bohrungen abgeteuft. Für den Dichtungsschleier wurden 195,1 Bohrmeter als Kernbohrung und 1.307,8 Bohrmeter als Im-Loch-Hammerbohrung abgeteuft. Die Bohrausrüstung bestand aus:

- 1 x Kernbohrereinheit Hilti DD 500 CA mit Lafette
- 2 x Raupenbohrgeräte Morath BR400

Die Raupenbohrgeräte wurden durch elektrische Hydraulikaggregate angetrieben. Durch unterschiedliche Bohrköpfe konnten mit denselben Geräten sowohl Im-Loch-Hammerbohrungen also auch Kernbohrungen abgeteuft werden.

Für die Kernbohrungen wurde eine dünnwandige Diamantbohrkrone mit Doppelkernrohren ($d = 86 \text{ mm}$) eingesetzt. Die Bohrkern wurden gemäß den Vorgaben des Auftraggebers in Kernkisten gepackt.

Die Injektionsbohrungen wurden mit einem 3“ Im-Loch-Hammer, Durchmesser 88 mm, abgeteuft. Als Gestänge kamen Bohrstangen mit 2 3/8“ API-Gewinde zum Einsatz.

Die Bohrungen aus dem Stauraum wurden mit einer Neigung von 12° zur Vertikalen abgeteuft. Für die Bohrungen wurde der Beton des Mauerwerks durchteuft und die Bohrung bis 8 m unterhalb der Gründungssohle fortgesetzt. Die Bohrungen von der Mauerkrone wiesen eine Neigung von 4° zur Wasserseite auf. Die Bohrungen in der Wand der Kahntreppe wurden auch von der Mauerkrone mit dem gleichen Winkel abgeteuft.

Das Bindemittel wurde in einem hochoffenen Mischer (Kolloidalmischer) mit hohem Schergefälle aufbereitet. Für die Einhaltung des W/Z-Wertes wurde die Wasserzugabe über eine präzise Wasseruhr dosiert. Dem Mischer war ein Vorratsbehälter mit Rührwerk nachgeschaltet.

Für die Verpressarbeiten wurde zwei Injektionscontainer der Fa. Obermann (OM 100) mit jeweils 2 hydraulisch gesteuerten Pumpen eingesetzt. Damit konnten bei Bedarf größere Injektionsmengen in die Bohrungen eingebracht werden. Die Maschinensteuerung der Injektionsanlage berücksichtigt die gewählten Injektionsparameter wie maximaler Druck, Durchflussrate und Druckhaltezeit. Alle Injektionsparameter sowie Druck und Menge wurden kontinuierlich mit einem Logsystem (Log SG2) erfasst und gespeichert. Die Verpresseinrichtung wurde auf dem Vorplatz östlich der Mauerkrone und auf der rechten Mauerseite installiert. Damit wurden die Schlauchlängen von der Verpressstation und dem Bohrloch verringert.

Für das Einpressen wurden pneumatische Manschettenpacker eingesetzt. Die Parameter Druck, Durchflussrate,

Abbruchkriterien usw. wurden vor Beginn der Arbeiten nach Vorgaben der Baubeschreibung festgelegt und bei Bedarf durch die Bauüberwachung an die Gegebenheiten vor Ort angepasst.

Als Injektionsgut wurde der Zement Variodur 50 des Herstellers Dyckerhoff eingesetzt. Von der ausführenden Firma wurde an jedem Verpresstag die Dichte der Suspension mit einem Aräometer und die Fließfähigkeit mit einem Marshtrichter bestimmt. Zusätzlich wurde das Absetzmaß in einem Standzylinder bestimmt. Die Verpressungen wurden mit einem W/Z-Wert von 0,8 begonnen. Bei größeren Aufnahmen wurde zuerst der Verpressdruck und später der W/Z-Wert reduziert. Die maximalen Drücke (MPa) bei den WD-Tests und Injektionen waren wie folgt begrenzt (s. Tab. 1).

Tab. 1: Maximaldrücke WD-Test und Injektion

	Druck WD-Test [MPa]	Injektion [MPa]
Stufe 2	kein Test	drucklos verfüllt
Stufe 3 (GS)	0,0 – 0,1 – 0,2 – 0,1 – 0,0	0,2
Stufe 4	0,0 – 0,2 – 0,4 – 0,2 – 0,0	0,4
Stufe 5	0,0 – 0,35 – 0,5 – 0,35 – 0,0	0,5

Schlammwässer aus den Bohrungen und Spülwässer mit Zementrückständen wurden in ein Absetzbecken geleitet. Prozesswässer der Bohrspülung, WD-Tests und für die Reinigung der Verpressanlage wurde, soweit möglich, wiederverwendet, um die Kapazität der Absetzbecken zu erhöhen.

Zur Beurteilung der Injektionsarbeiten wurde das gesamte Verpressvolumen einer Stufe in eine Nettozementaufnahme pro Bohrmeter [kg/m] umgerechnet. Dabei wurden sowohl das Bohrlochvolumen als auch die zur Herstellung der Suspension erforderliche Wassermenge von der verpressten Gesamtmenge abgezogen.

In den Verpressstufen 3 bis 5 wurden insgesamt 21.618 kg Zement mit 24.645 l Suspension eingebracht. Die durchschnittliche Nettozementaufnahme betrug 15,5 kg/m bei einer erfassten Gesamtverpresszeit von 218,1 Stunden. (s. Abb. 6).

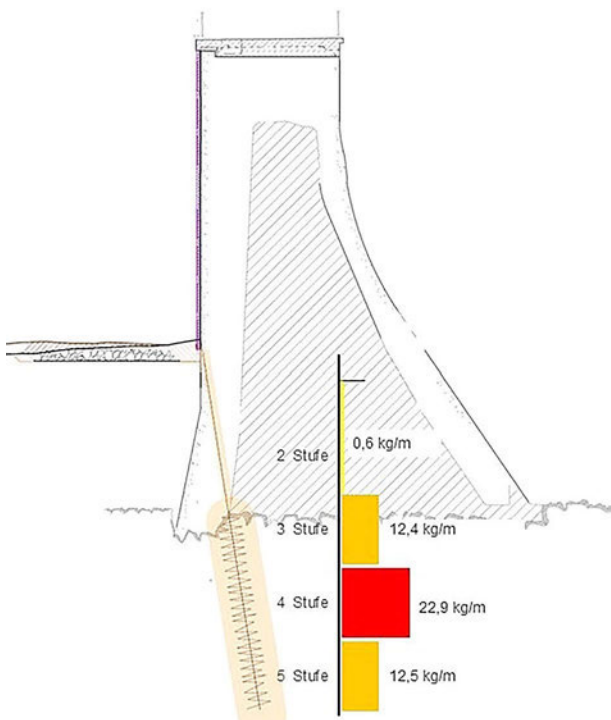


Abb. 6: Durchschnittliche Nettozementaufnahme über die Tiefe

In der Stufe 2 wurde das Bohrlochvolumen drucklos verfüllt. Die geringe Aufnahmemenge von 0,6 kg/m zeigt, dass nur sehr geringe Mengen Suspension in die Vorsatzschale eingedrungen sind. Im Bereich der Gründungssohle wurde eine mittlere Aufnahme von 12,4 kg/m erzielt, was darauf hindeutet, dass Teile des bestehenden Dichtungsschleiers aus früheren Maßnahmen weiterhin wirksam sind (s. Abb. 6). In den tieferliegenden Felsbereichen (2–5 m unterhalb der Gründungssohle) wurden durchschnittlich 22,9 kg/m verpresst. Wie bei derartigen Arbeiten üblich, nimmt die Verpressmenge mit der nächst tieferen Stufe ab, da der Fels dort geringere Verwitterungsgrade und somit eine niedrigere Durchlässigkeit aufweist. Dieses Verhalten zeigt sich deutlich in den Zementaufnahmen der Stufe 5.

Bei der Injektionsmaßnahme 1954/1955 wurden die Bohrungen nur bis zu einer Tiefe von ca. 5 m unterhalb des Sporns abgeteuf. Mit der Stufe 5 wurde der Fels unterhalb des bestehenden Dichtungsschleiers vergütet.

In Abb. 7 ist die Verpressgutaufnahme der Blöcke grafisch als Abwicklung über die Mauerlängsachse dargestellt. Es zeigt sich, dass die Talflanken nur geringe Verpressmengen aufnehmen, während in den Zentralbereichen der Staumauer deutlich höhere Aufnahmen verzeichnet wurden. Auffällig ist eine erhöhte Zementaufnahme in Stufe 4 der Blöcke 03a und 03b. Bereits während der WD-Tests zu Beginn der Maßnahmen wurden hydraulische Verbindungen zwischen den Bohrungen 03a-A-06 und 03b-A-06 sowie zu den Messstellen BK 6 und BK 8 festgestellt. Die Bohrkern zeigen ausgeprägte vertikale Trennflächen, die diesen Bereich durchörtern.

Unterhalb des Grundablasses im Block 05 wurden ebenfalls deutlich höhere Aufnahmemengen beobachtet. Dies lässt darauf schließen, dass die Maßnahme aus den 1950iger Jahren für einen Dichtungsschleier in diesem Bereich nicht mehr vollständig wirksam ist oder nicht vollständig umgesetzt wurde.

Die schematische Auswertung der Zementaufnahme nach Tiefenstufen und Mauerblöcken erfolgt in Abb. 8. Hierbei wurde Block 05 in die Teilbereiche 05.1 und 05.2 untergliedert. Die Grafik zeigt eine Abwicklung der Talsperre mit den Bohrungen. Eine dunklere Färbung bedeutet bei der Zementaufnahme und bei den WD-Tests einen höheren Lugeon-Wert gegenüber den helleren Feldern.

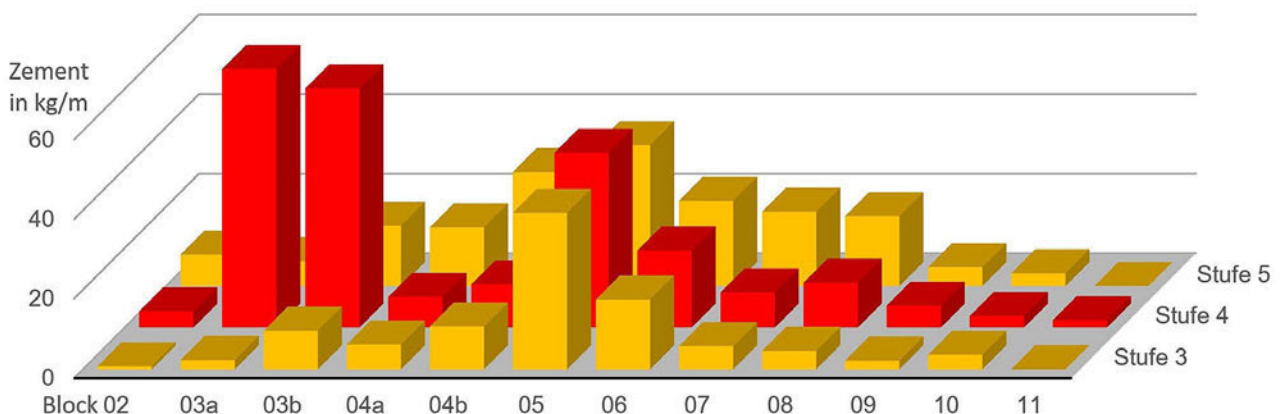


Abb. 7: Verpressgutaufnahme in den Stufen 3, 4 und 5 in den Blöcken (Abwicklung in Mauerlängsachse)

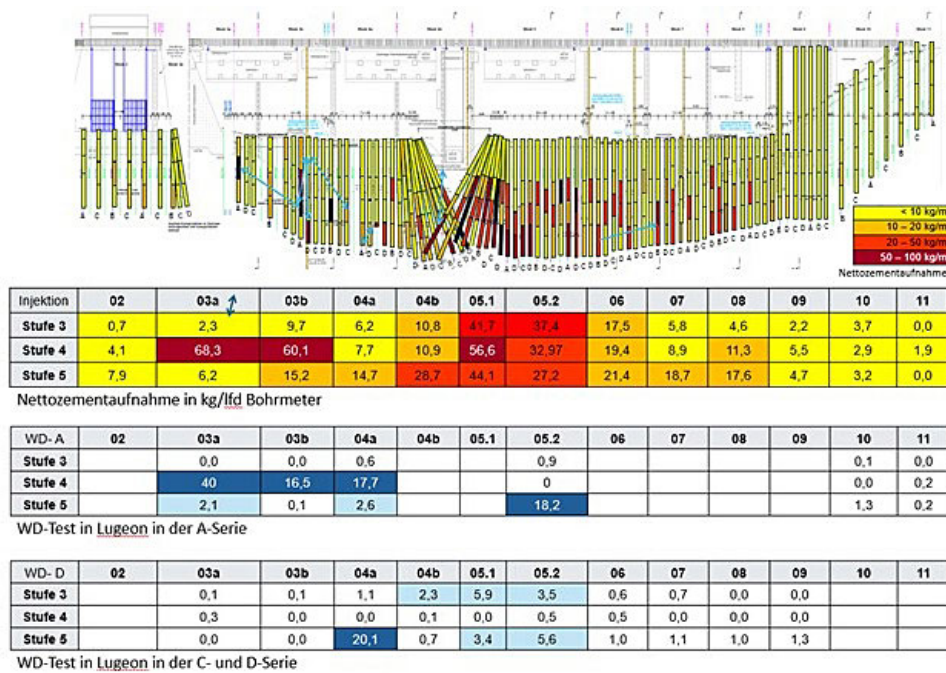


Abb. 8: Gegenüberstellung Zementaufnahme und WD-Tests

Ein ähnliches Bild zeigt sich in der Zementaufnahme. Auch hier nimmt die Aufnahmemenge in der D-Serie ab. Nur in den Fächerbohrungen in Block 04b und 05 unterhalb des Grundablasses wurde in der C-Serie und D-Serie größere Mengen Zement verpresst. Die hohen Aufnahmen in Block 03a und 03b beschränken sich auf die Stufe 4 und sind ein Hinweis auf eine oder mehrere stark wasserführende Klüfte. Zu den Talflanken hin nehmen die Aufnahmen deutlich ab was auf dichtes, wenig durchlässiges Gestein hindeutet.

Der zentrale Bereich (Block 04b bis 05.2) bildet eine lokal begrenzte Zone, in der die Wasserdurchlässigkeit durch die Injektion reduziert werden konnte.

Die Sanierungsmaßnahmen an der Kainzmühlsperre wurden gemäß den planerischen und technischen Vorgaben vollständig und in der geforderten Ausführungsqualität umgesetzt. Ziel der Arbeiten war die dauerhafte Reduzierung des Sohlenwasserdrucks und die Wiederherstellung der Dichtheit der Gründungssohle unterhalb der Staumauer.

Die Untersuchung der Gründungssohle bestätigte im Wesentlichen die Ergebnisse der Erkundung von 2011, mit überwiegend gutem Verbund zwischen Beton und Fels. Die Verpressarbeiten verliefen technisch störungsfrei und zeigten eine deutliche Abnahme der Zementaufnahme von der A- zur D-Serie. Dies weist auf einen erfolgreichen Dichtungsanschluss und eine homogene Ausbildung des Dichtungsschleiers hin. Die durchschnittliche Nettozementaufnahme lag mit 15,5 kg/m im Bereich vergleichbarer Sanierungsprojekte an Stauanlagen und bestätigt die Wirksamkeit der Maßnahme.

Die WD-Testergebnisse belegen eine Verringerung der Durchlässigkeit. Der mittlere WD-Wert der Kontrollbohrungen liegt bei 1,1 l/min·m bei 1,0 MPa. 89 % aller Testetagen unterschreiten den zulässigen Grenzwert von 3,0 l/min·m. Damit ist die geforderte hydraulische Dichtheit des Dichtungsschleiers nachweislich erreicht. Die Bohr- und Injektionsarbeiten mussten aufgrund von Hochwasserereignissen mehrfach unterbrochen werden. Durch Umstellung des Bohrverfahrens auf Im-Loch-Hammerbohrung und Abteufen von Bohrungen von der Mauerkrone aus konnten die Arbeiten beschleunigt und somit fristgerecht fertig gestellt werden.

3.3 Dichtungssystem mit Kunststoffdichtungsbahn

Vor Einbau des Dichtungssystems mit Kunststoffdichtungsbahn erfolgten die Arbeiten zur Verpressung der Block- und der Arbeitsfugen im Mauerbeton. Größere Hohlräume wurden verfüllt. Weiterhin mussten die Bohrungen der Sickerwasserableitungsrohre fertiggestellt und ausgebaut sein, um zu gewährleisten, dass ggf. anfallendes Wasser hinter dem Dichtungssystem zur Luftseite der Staumauer kontrolliert abgeführt werden kann. Oberhalb der Grundablasses wurde in der Nische für den Revisionsverschluss ein Oberflächenschutzsystem auf den Vorsatzbeton aufgetragen.

Aufgrund der unplanmäßigen Fräsarbeiten an der Wasserseite der Staumauer zur Entfernung des PAK-haltigen Anstriches war die Ebenheit des Untergrundes für das Dichtungssystem mit KDB aus Sicht der Fremdüberwachung nicht ausreichend, so dass händisch herausstehende Ecken abgeschlagen und unterhalb des Drängitters ein zusätzliches Schutzvlies verlegt werden mussten. Weiter-

hin war es erforderlich, in den Bereichen der druckwasserdichten Befestigungen die raue Oberfläche mit Mörtel zu glätten.

Über dem Schutzvlies wurde ein kontrollierbares Dichtungssystem aus einer vlieskaschieren geosynthetischen Kunststoffdichtungsbahn aus PVC und einem Drängitter eingebaut. Die jeweiligen Bahnen sind flächig und überlappend mit linienhaften Befestigungssystemen aus Edelstahl montiert worden. Das Dichtungssystem kann feldweise über die Sickerwasserableitungsrohre überwacht werden.

Die KDB wurde über die Bohransatzpunkte geführt, so dass ein lückenloses Dichtungssystem von der Mauerkrone bis in den Fels entstand. In Abb. 9 sind eine vertikale Klemmleiste und die untere Klemmleiste der KDB zu erkennen. Die druckwasserdicht verfüllten Bohransatzpunkte (grau) liegen oberhalb der unteren Klemmleiste.



Abb. 9: Klemmleiste der KDB unterhalb der Bohransatzpunkte des Dichtungsschleiers

Die Montage des Dichtungssystems erfolgte von Hebebühnen aus, die an Traversen auf der Mauerkrone befestigt waren. Die Traversen konnten in U-Profilen, die auf der Mauerkrone positioniert wurden, horizontal verfahren werden. Die Arbeiten mussten aufgrund von Hochwasserereignissen kurzzeitig unterbrochen werden. Mit einer angepassten persönlichen Schutzausrüstung konnten die Arbeiten über den eingestauten Bereichen fortgeführt und fristgerecht beendet werden. Nach Abschluss der Dichtungsarbeiten wurden die Anbauten an der Wasserseite der Staumauer, z. B. Pegellatte, Eisluftfreihaltungsanlage, montiert.

3.4 Weitere Arbeiten

Zeitgleich mit den beschriebenen Arbeiten wurden durch neue Messstellen der Bauwerksüberwachung zusätzliche Messprofile geschaffen. Die Sanierungsmaßnahme wur-

de genutzt, die automatisierte Messanlage der Bauwerksüberwachung zu modernisieren und das trigonometrische Überwachungsnetz mit neuen Festpunkten zu optimieren. Die vorhandene Steuerzelle wurde durch einen Anbau erweitert.

Weiterhin erfolgten die Tiefbauarbeiten luftseitig der Staumauer für die Ableitung von ggf. anfallendem Sickerwasser hinter dem Dichtungssystem. Aufgrund nicht vorhandener Bestandsunterlagen sowie der Automatisierung der Messstellen und geänderten Kabelwegen gestalteten sich diese Arbeiten umfangreicher als geplant.

Der Probestau erfolgte gemäß Probestauprogramm vom 22.10.2024 bis zum 15.11.2024 (s. Abb. 10). Die Auswertung aller Messungen und Beobachtungen bestätigte das Erreichen der vorgesehenen Sanierungsziele und den Nachweis der normgerechten Zuverlässigkeit in den genehmigten Stauzielen.



Abb. 10: Wasserstand beim Probestau am 22.10.2024

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Rahmen der Sanierung durchgeführten Maßnahmen haben zu einer Reduktion des Sohlenwasserdruckes geführt. Die Dauerhaftigkeit der Staumauer ist durch den niedrigeren Wasserstand im Bauwerk und die wesentlich geringere Durchsickerung des Bauwerks im Vergleich zum Zustand vor der Sanierung, wesentlich verbessert worden.

Sickerwasser aus dem wasserseitigen Dichtungssystem kann schadlos über die vorhandenen Sickerwasserableitungsrohre in der Staumauer zur Luftseite abgeführt werden. An den Sickerwasserableitungsrohren des Dichtungssystems mit Kunststoffdichtungsbahn treten sehr geringe Wassermengen aus (Tropfen). Die Zuverlässigkeit der Staumauer wird davon nicht ungünstig beeinträchtigt.

Die Absenkung des Sohlenwasserdruckes auf der Luftseite beträgt im Mittel 80 %. Somit zeigen sowohl der

neu hergestellte Dichtungsschleier als auch die ergänzende Kunststoffdichtungsbahn ihre volle Wirksamkeit.

Die Baumaßnahme konnte dank der konstruktiven Mitwirkung aller Beteiligten, d. h. Bauherr, Planer, Bauleitung des Bauherrn, ökologische Baubegleitung, Gutachter, SiGeKo, Behörden und Bauunternehmer im vertraglich vereinbarten Zeitrahmen und im vorgesehenen Kostenrahmen abgeschlossen werden.

Seit Sommer 2025 werden die Baumaßnahmen zur Schaffung einer zusätzlichen, unabhängig bedienbaren Verschlussebene im Grundablass umgesetzt. Sie umfassen neben Anpassungsmaßnahmen am Bestandsbauwerk im Wesentlichen:

- Herstellung eines Kastenfangendamms im Tosbecken als Kranstandort,
- Herstellung eines begehbaren Schachtbauwerkes auf der Luftseite,

- Einbau eines Rollschützes als zweiten Betriebsverschluss,
- Instandsetzung bestehender Stahlwasserbauteile,
- Verbesserung der Zugänglichkeit der Verschlüsse im Grundablassstollen.

Die Arbeiten sollen im Sommer 2026 abgeschlossen werden.

Literatur

- [1] DIN 19700-11 Stauanlagen – Teil 11: Talsperren. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin Juli 2004
- [2] Merkblatt DWA-M-512-2 Dichtungssysteme im Wasserbau – Teil 2 Flächenhafte Dichtungen an Massivbauwerken, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef; Dezember 2016