

DMT GmbH & Co. KG · Postfach 13 01 01 · 45291 Essen
CME/CME2, Dr. Christoph Klinger

RAG Aktiengesellschaft
Im Welterbe 10
45141 Essen

DMT GmbH & Co. KG
Civil & Mining Engineering
Standort Essen

Am TÜV 1
45307 Essen, Deutschland

Unser / Ihr Zeichen
GEE5-2016-01186-j

Absender / Kontakt
Dr. Christoph Klinger
Christoph.Klinger@dm-tgroup.com

Telefondurchwahl / Fax
Tel +49 201 172-1812
Fax +49 201 172-1891

Datum
14.04.2021

Seite
1/17

Umsetzung von Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation im Zuge des Wasseranstiegs am Standort der Wasserhaltungen Zollverein und Amalie sowie Bewertung der ehem. Deponie Zollverein

Ergänzung zur Erosionssituation auf der 14. Sohle bei veränderten Terminen zur Einstellung der Wasserhaltungen im Einzugsbereich

Sehr geehrte Damen und Herren,

Der Rückzug aus der Wasserhaltung am Standort Zollverein wurde derart gestaltet, dass eine Erosion der mit PCB/PCDM belasteten Streckensohlen vermieden wird. Die hierfür durchgeführte Standortanalyse sowie die daraus abgeleiteten Abläufe und Maßnahmen (Umsetzung von Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation im Zuge des Wasseranstiegs am Standort der Wasserhaltungen Zollverein und Amalie sowie Bewertung der ehem. Deponie Zollverein, DMT GEE5-2016-01186-h, 25.07.2018) gingen von bestimmten Rahmenbedingungen bezüglich der Einstellung der Wasserhaltungen auf Zollverein selbst sowie den im südlichen Einzugsbereich befindlichen Wasserhaltungen Amalie und Carolinenglück aus. Die derzeitigen Planungen folgen allerdings nicht dem dem vorgenannten Gutachten zugrunde gelegten Konzept, so dass eine Neubewertung der Standortsituation sowie der erosionsverhindernden Maßnahmen erforderlich ist.

1. Ausgangssituation

Die im heutigen Streckensystem am Standort untersuchten Proben enthielten überwiegend hohe Belastungen mit mehr als 1.000 µg PCB bzw. PCDM / TCBT je kg Feststoff. Diese Belastungssituation besteht sowohl für den Hauptwasserweg zwischen den beiden Wasserannahmedämmen als auch in den peripher gelegenen Sumpfstrecken (Abbildung 1).

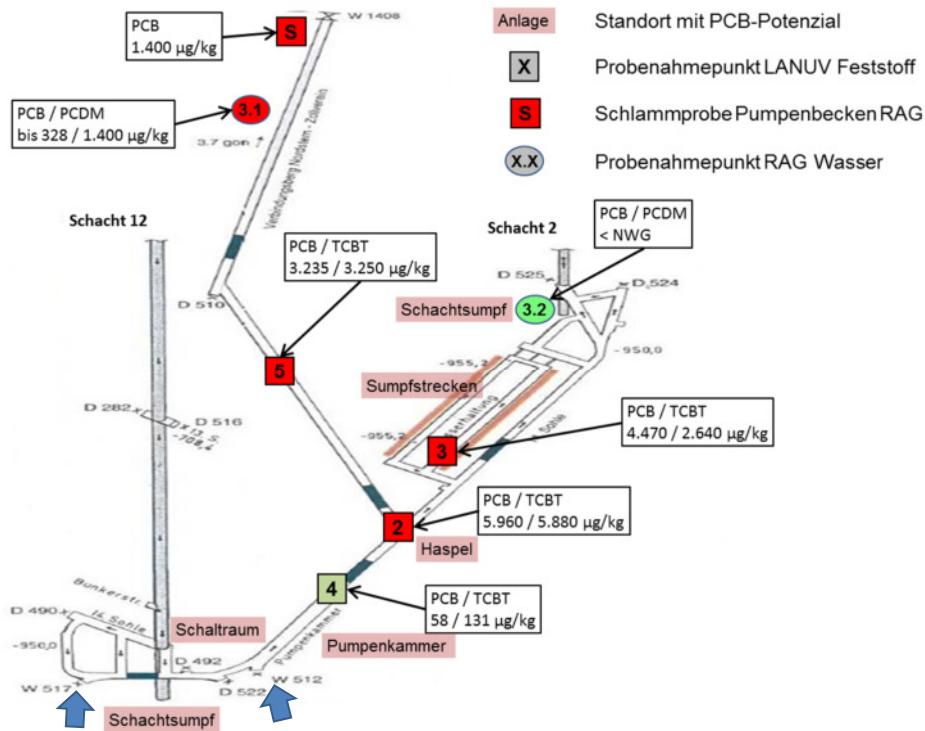


Abbildung 1: Grubengebäude Zollverein mit Probenahmepunkten und Analyseergebnissen.

Wird die Wasserhaltung Zollverein eingestellt, strömt (ohne weitere Maßnahmen) das Wasser von den südlichen Zollverein-Dämmen (W 512 und W 517 in Abbildung 1) mit zunächst 7 – 10 m³/min über die 14. Sohle am Schacht 2 vorbei durch die Anschlussstrecke und dann den Gesteinsberg hinab zum Stinnesdamm. Eine Erosionssituation ist gegeben, solange das Streckensystem (Stinnesberg und 14. Sohle) nicht vollständig eingestaut sind. Während dieser Übergangsphase würde eine intensive Auswaschung/Erosion und anschließende Verteilung des mit PCB/PCDM-belasteten Materials in dem nördlich angeschlossenen Grubengebäude erfolgen, was es gemäß den Vorgaben des ahu-Gutachtens (Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, ahu AG) zu vermeiden gilt. Diese Einschätzung führte dazu, dass an diesem Standort Maßnahmen zur Erosionsminderung bzw. –Verhinderung erforderlich sind.

Die auf dieser Grundlage abgeleiteten Maßnahmen wurden ausgelegt für eine Wassermenge von bis zu 10 m³/min, die abfließt, wenn die Wasserhaltung Carolinenglück mindestens 5 Monate nach Zollverein eingestellt wird. Die Vorgehensweise entspricht der Vorgabe der generellen Minderung von Erosionseffekten ungeachtet des großen Sedimentationsraumes bei Abstrom in Richtung Emschermulde.

Das derzeitige Besicherungskonzept sieht vor, das Wasser mittels Rohrleitungen von den Dämmen 512 und 517 bis an den Fuß des Stinnesbergs zu leiten. Die an den Dämmen mögliche Stauhöhe von 1,2 m zwischen den Rohranschlüssen an der Dammbasis und den im

Rückzug zu öffnenden Dammrohren (DN 700) reicht bei der zu überbrückenden Streckenlänge von 720 m aus, wenn entweder zwei DN 400-Rohre bzw. ein DN 500-Rohr angeschlossen werden. Diese Vorgabe geht davon aus, dass die anströmenden Wassermengen die vorgenannten 10 m³/min nicht übersteigen und die Rohrleitungen auf den Streckensohlen verlegt werden.

2. Aktualisierte Rahmenbedingungen

Die dem o.g. Gutachten zugrunde gelegten Rahmenbedingungen lassen sich mit den aktuellen Rückzugsoptionen bzw. der geplanten Einstellung der Wasserhaltungen nicht mehr realisieren. Dies hat zur Folge, dass sich auch die in der Wasseranstiegsphase im Grubengebäude Zollverein erwarteten Wassermengen verändern. Befahrungen haben zudem gezeigt, dass die verlegten Rohrleitungen nicht den zuvor beschriebenen Vorgaben entsprechen.

2.1 Abschalttermine und Rückzugskonzept

Für die derzeit noch auf den Standorten Carolinenglück und Amalie gehobenen Grubenwässer wird erwartet, dass sie nach Einstellung dieser Wasserhaltungen überwiegend der 14. Sohle Zollverein von Süden zufließen (Dämme 512 und 517 s.o.). Aufgrund der aktuellen Wasserstände sowie der prognostizierten Übertrittsniveaus wird erwartet, dass dies mit relativ geringer zeitlicher Verzögerung erfolgen wird (s. Kapitel 2.2). Daher kommt der zeitlichen Abfolge des Rückzugs aus diesen drei Wasserhaltungsstandorten eine hohe Bedeutung zu.

Aufgrund der in der Wasserhaltung Zollverein noch erforderlichen Arbeiten für den Rückzug incl. Verfüllung der Schächte sowie den Möglichkeiten zur Einleitung von Grubenwasser in den Emscherkanal (limitiert bis 31.12.2021) sollen die drei Wasserhaltungen zu diesem Stichtag gleichzeitig ihren Betrieb einstellen. Dies entspricht nicht den in Kapitel 1 beschrieben und dem Besicherungssystem zugrunde gelegten zeitlichen Abläufen (Zollverein 01.07.2021, Amalie 01.10.2021, Carolinenglück 01.12.2021).

Die daraus resultierenden Veränderungen für das hydraulische Geschehen am Standort Zollverein und die dann erforderlichen Besicherungsmaßnahmen müssen zudem den zeitlichen Ablauf der Rückzugsarbeiten berücksichtigen. Ein wichtiges Kriterium stellt dabei die Demontage der Pumpen dar. Ein Rückbau und Transport von Pumpen nach Übertage muss mindestens 12 Wochen vor dem Rückzug von der 14. Sohle und dem Beginn der Schachtverfüllungen erfolgt sein.

Das Rückzugskonzept sieht daher vor, als erstes die Wasserhaltung am Stinnesdamm (Zufluss ca. 5 m³/min, Abbildung 2) einzustellen und sowohl die Pumpen am Stinnesdamm als auch 4 Pumpen der Hauptwasserhaltung mit den zugehörigen z.T. ölhaltigen Aggregaten zu demontieren. 3 Pumpen verbleiben untertage, werden hierfür auf ölfreie Anlasser umgebaut und können in den folgenden 12 Wochen des Rückzugs und Schachtumbaus für die Förderung des Zuflusses am südlichen Wasserannahmedamm 512 (ca. 10 m³/min) genutzt werden. Dieses Konzept soll gewährleisten, dass bis zum Abschluss der Arbeiten auf der 14. Sohle diese nicht durch das aus der Emschermulde ansteigende Wasser überstaut wird.

2.2 Wassermengen und Wasseranstieg

Der Wasseranstieg in der nördlich an den Stinnesdamm angeschlossenen Emschermulde ist eng verknüpft mit den Abschaltzeitpunkten der Wasserhaltungen und den zufließenden Wassermengen. Während derzeit am Stinnesdamm recht konstant etwa $5 \text{ m}^3/\text{min}$ angenommen werden variiert der Zustrom von Süden zwischen 7 und $10 \text{ m}^3/\text{min}$ (Abbildung 2). 10 bis $12 \text{ m}^3/\text{min}$ werden auch am Standort Carolinenglück gehoben; Amalie fördert zwischen 10 und $14 \text{ m}^3/\text{min}$.

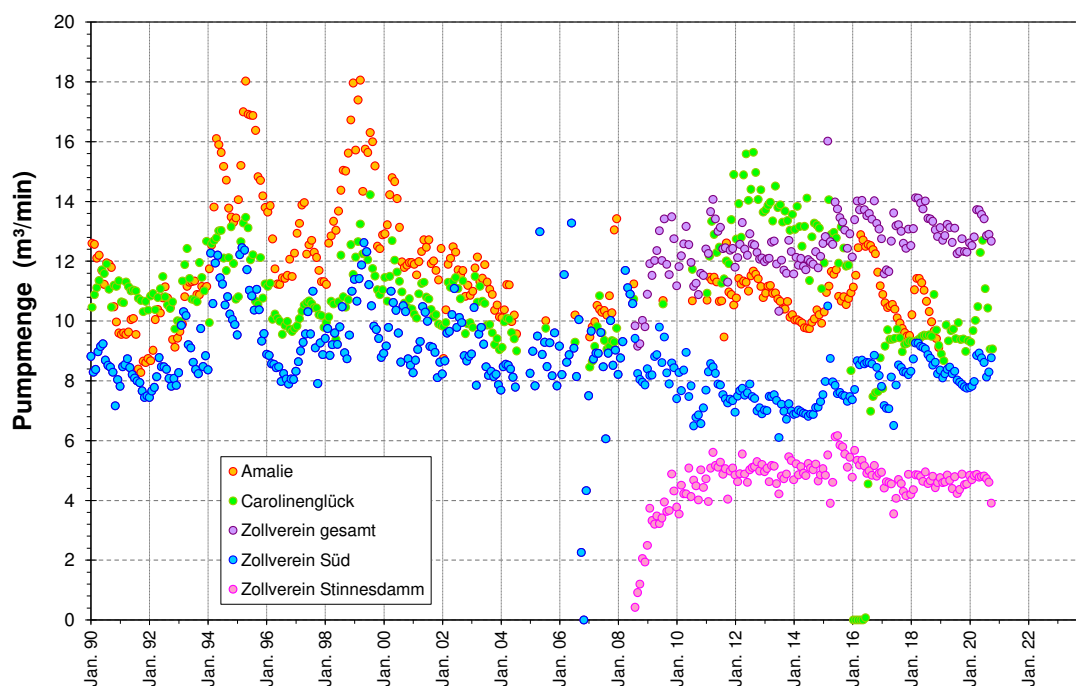


Abbildung 2: Wassermengenentwicklung in den an Zollverein hydraulisch angeschlossenen Wasserprovinzen.

Nach Abbau von Pumpen der Hauptwasserhaltung Zollverein kann kein Grubenwasser mehr gehoben werden. Das bisherige Konzept sah vor, alle 7 Pumpen zu demontieren und nach Übertage zu transportieren. Dies hätte zur Folge, dass ab diesem Zeitpunkt das bislang am südlichen Damm 512 angenommene Wasser dem Stinnesberg zugeführt werden müsste und gemeinsam mit dem Stinnesdamm-Wasser zur Auffüllung der Emschermulde beigetragen hätte. Der Wasseranstieg in den Grubenbauen hinter dem Stinnesdamm wird sich dann in einem auch im Stinnesberg ansteigenden Wasserspiegel auswirken.

Die Modellprognosen für diesen Wasseranstieg im Stinnesberg bis in das Niveau der 14. Sohle ergeben einen Zeitraum von ca. 6 Monaten, sofern noch kein Wasser aus Amalie und Carolinenglück beteiligt ist (Abbildung 3). Diesem Wasseranstiegsverlauf liegt ein Zufluss von $13,6 \text{ m}^3/\text{min}$ ($5,1 \text{ m}^3/\text{min}$ Stinnesdamm + $8,5 \text{ m}^3/\text{min}$ mittlerer Zufluss Zollverein Süd) zugrunde. Diese Situation bildete die Grundlage für das vorgenannte die PCB-Erosion betreffende DMT-Gutachten DMT GEE5-2016-01186-h vom 25.07.2018.

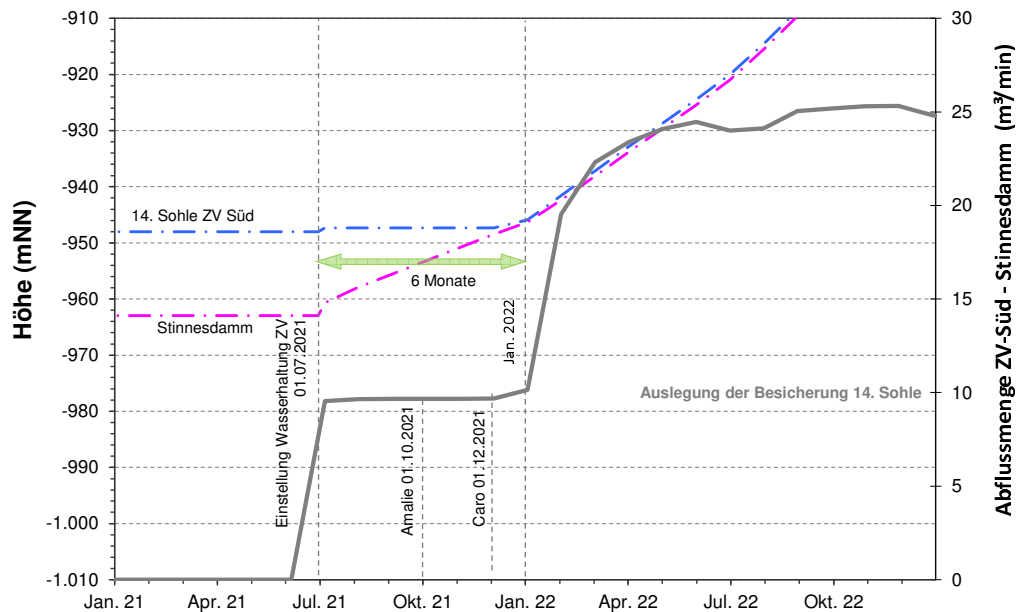


Abbildung 3: Wasseranstiegs- und Strömungssituation bei ausreichender Entzerrung der Abschaltzeitpunkte der 3 Wasserhaltungen.

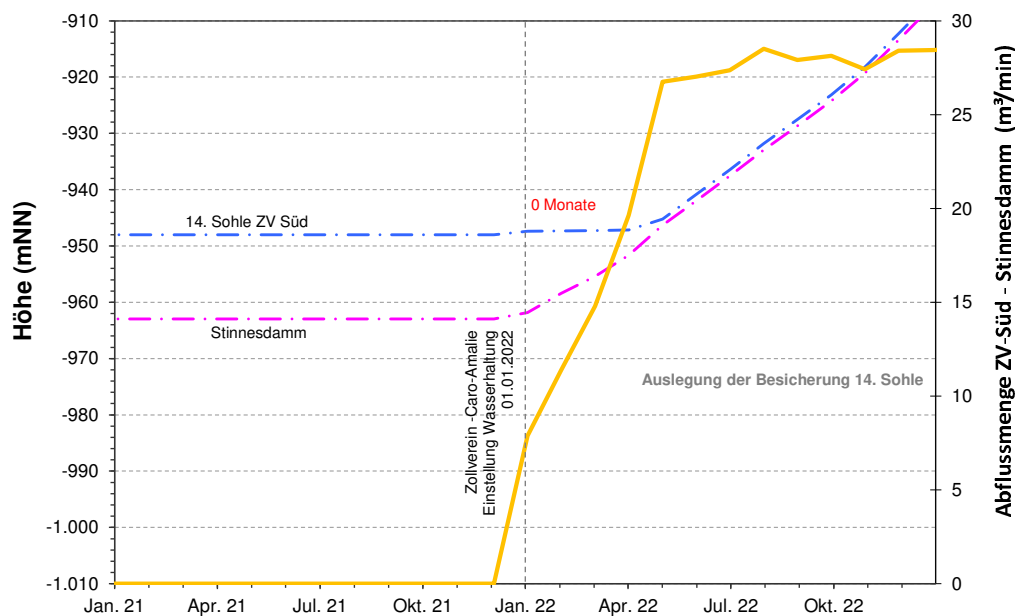


Abbildung 4: Wasseranstiegs- und Strömungssituation bei gleichzeitigem Abschalten der 3 Wasserhaltungen.

Das Modell berechnet diesen Prozess als großräumigen Anstieg in der Emschermulde auf Basis der Resthohlraumvolumina und der durch die bekannten hydraulischen Verbindungen angeschlossenen Grubenbereiche. Hierdurch kann es im kleinräumigen Maßstab zu Abweichungen zwischen Modellprognose und real verfügbaren Hohlraum kommen. Relevant wird

dies dadurch, dass der Höhenunterschied zwischen dem heutigen Wasserspiegel am Stinnesdamm und der 14. Sohle nur ca. 15 m beträgt. Zu einer ersten diesbezüglichen Abschätzung der real nutzbaren Hohlräume soll noch ein Wasseranstiegsversuch am Stinnesdamm durchgeführt werden. Allerdings zeigen erste Tests, dass der initiale Wasseranstieg hinter dem Stinnesdamm deutlich schneller erfolgt als die Großraumprognose andeutet. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass die 14. Sohle unter diesen Bedingungen auch schneller überstaut wird.

Erkennbar ist in den Modellrechnungen auch, dass durch die großen bislang auf Carolinenglück und vor allem Amalie geförderten Wassermengen ein rascher Überstau der relevanten Schwellen erwartet wird, woraufhin bereits innerhalb eines Monats nach Einstellung dieser Wasserhaltungen die Zuflüsse an den südlichen Zollverein-Dämmen auf schließlich auf mehr als 25 m³/min ansteigen werden (Abbildung 4). Ist die 14. Sohle dann noch nicht überstaut, werden diese Wassermengen die Kapazität der bestehenden Rohrleitungsbesicherung (10 m³/min vgl. Kapitel 1 und 3.2) übersteigen.

2.3 Angepasstes Rückzugskonzept

Aufgrund der Rahmenbedingungen zum Rückzug und maximaler Laufzeit der Wasserhaltungen (31.12.2021) musste somit ein neues Konzept erarbeitet werden. Dies umfasst die folgenden für diese Betrachtung relevanten Eckdaten:

- Abschaltung der Wasserhebung am Stinnesdamm und Demontage von 4 Hauptpumpen 12 Wochen vor Verschluss der Schächte.
- Fortführung der Hebung des Wassers vom südlichen Zollverein-Damm bis kurz vor dem endgültigen Rückzug aus dem Grubengebäude. Die hierfür erforderlichen 3 Pumpen verbleiben unter Tage.
- Damit ergibt sich ein Zeitraum von drei Monaten, in dem das Wasser im Stinnesberg unter Zustrom von 5 m³/min ansteigt.
- Endgültiger Rückzug, Einstellung der gesamten Wasserhaltung und Verschluss der Grube im Dezember 2021
- Einstellung der Wasserhaltungen Amalie und Carolinenglück am 31.12.2021

Dies hat zur Folge, dass der Wasseranstieg im Stinnesberg deutlich langsamer als mit den zunächst geplanten 13,6 m³/min erfolgt (vgl. Abbildung 3) und entsprechende Sicherheitsreserven bezüglich einer frühzeitigen Überstauung der 14. Sohle während der Rückzugsarbeiten erzeugt werden. Dies bewirkt aber auch andererseits, dass Stinnesberg und 14. Sohle bei erwartetem Zustrom der bislang auf Amalie und Carolinenglück von Zollverein ferngehaltenen Wässer noch nicht überstaut sind.

Die dann zeitnah im Januar 2022 zunehmenden Wassermengen (vgl. Abbildung 4) führen aber auch dazu, dass dieses Wasser an den südlichen Dämmen nicht mehr über die installierten Rohrleitungen abgeführt werden kann, der Wasserstand hinter dem Dämmen ansteigen und aus den dann geöffneten Dammrohren auf die Sohle strömen wird. Damit wären beim Abstrom

über die 14. Sohle diese und zudem der noch nicht eingestaute obere Abschnitt des Stinnesbergs der Erosion und damit der Mobilisation von PCB-haltigem Material ausgesetzt. Infolgedessen war es erforderlich, das bestehende Besicherungssystem zu überprüfen und anzupassen.

3. Überprüfung des vorhandenen Besicherungssystems

Aufgrund dieser veränderten Planungsgrundlage war eine Überprüfung und Überarbeitung der Einrichtungen erforderlich, die für einen erosionsfreien Wasserfluss über die 14. Sohle in den Stinnesberg sorgen sollen, solange dieser noch nicht vollständig überstaut ist. Hierzu erfolgte am 01.12.2020 eine Befahrung des Streckensystems Zollvereins, bei der insbesondere die Sohlenbeschaffenheit und die Verlegung der zur Durchleitung vorgesehenen Rohrleitungen betrachtet wurde.

Das Besicherungssystem muss insgesamt die folgenden Vorgeben erfüllen:

- Bis zu 10 m³/min müssen über die an der Dammbasis angeschlossenen Rohrleitungen über 14. Sohle und Anschlussstrecke in den Stinnesberg geleitet werden, ohne dass hinter den Dämmen 512 und 517 der Wasserstand über das Niveau der Unterkante der Dammrohre (DN 700, werden im Rückzug geöffnet) überstaut wird.

Dieses System muss wirksam sein, solange der Wasserzufluss am Damm 512 auf dem heutigen Niveau stabil bleibt und nachdem die Wasserhaltung insgesamt eingestellt wird. Dies ist für einen Zeitraum von wenigen Tagen vor dem endgültigen Rückzug aus dem Grubengebäude geplant.

- Die nach Verlassen des Grubengebäudes an den beiden Dämmen erwarteten größeren Wassermengen, die dann zusätzlich durch die geöffneten Dammrohre auf die 14. Sohle fließen, müssen, da Sohle und oberer Bereich des Stinnesbergs noch nicht überstaut sind, so in Richtung Stinnesberg geführt werden, dass keine Erosion erfolgt. Hierfür sind zusätzliche Einrichtungen erforderlich, die in Kapitel 4 beschrieben werden.

Dieses Kapitel 3 untersucht das bestehende Ableitungssystem für die während der noch befahrenen 14. Sohle limitierte Wasserdurchleitung.

3.1 Rohrverlegung

Grundlage für die bisherigen Berechnungen war, dass die vorgenannten bis zu 10 m³/min über die etwas über der Basis von Damm W 512 eingelassenen DN 400-Rohre angenommen und über angeschlossenen Rohrleitungen in den Stinnesberg geführt werden (Abbildung 5). Diese Rohre weisen einen Fließwiderstand auf, weshalb ein Vordruck erforderlich ist, der durch einen Rückstau hinter dem Damm erzeugt werden kann. Da gewährleistet sein muss, dass die im oberen Bereich der Dämme eingelassenen DN 700-Dammrohre beim endgültigen Rückzug durch die Grubenwehr geöffnet werden können, darf der Wasserstand hinter dem Damm in dieser Phase die Unterkante der Dammrohre nicht übersteigen. Den Berechnungen war eine Höhendifferenz DN-400 Oberkante zur DN-700-Unterkante von 1,2 m zugrunde gelegt worden.

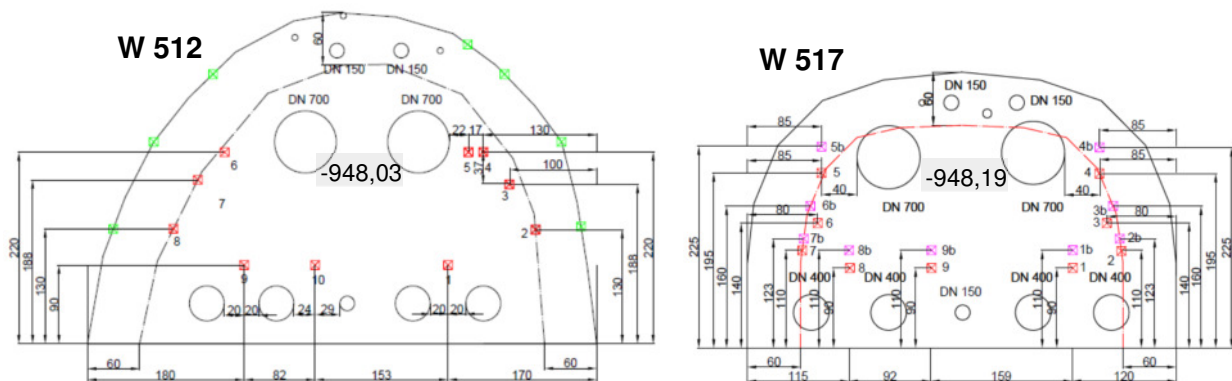


Abbildung 5: Ansichten der südlichen Wasserannahmedämme Zollverein 512 (links) und Reservedamm 517 (rechts).

Bei der o.g. Streckenbefahrung wurde festgestellt, dass die zur Wasserdurchleitung vorgesehenen DN 400- und DN 500-Rohre nicht gemäß Vorgabe auf der Strecke verlegt sind, sondern überwiegend aufgeständert deutlich über Sohlniveau verlaufen. Aufgrund dessen wurde eine erneute Höheneinmessung sowohl der Rohranschlüsse an den Dämmen als auch der Rohrleitungen durchgeführt. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass U-förmige Rohrverläufe zu von Beginn an vollständig gefüllten Rohrleitungen und damit erhöhten Fließwiderständen führen und zudem der wirksame hydraulische Gradient nur auf den Hochpunkt innerhalb des Rohrleitungsverlaufes wirken und damit den Durchflussberechnungen zugrunde gelegt werden kann.

Die Ergebnisse dieser Vermessung sind in Abbildung 6 als Sohlenriss und in Abbildung 7 im schematischen überhöhten Schnitt dargestellt. Das Rohrleitungssystem beginnt mit den DN 400-Rohren im Damm W 512, von denen 3 über ein Wasserschloss an eine DN 500-Leitung angeschlossen sind. Hinter der Pumpenkammer wird das Wasser in 2 DN 400-Leitungen überführt, die zunächst nur wenig über Sohlniveau dann aber etwas 1 m über der Sohle verlegt sind. Im Abzweig von der 14. Sohle in die Anschlussstecke befindet sich zudem eine Rohrbrücke, mittels derer der Fahrweg zum Schacht 2 freigehalten wird. Da sich diese Rohrbrücke oberhalb der UK der Dammrohre befindet ist offensichtlich, dass eine Wasserableitung so nicht funktionieren kann (die Dammrohre würden sofort überstaut) und diese rückgebaut werden muss. Dabei darf die Unterkante der Neukonstruktion nicht oberhalb des übrigen Rohrstrangs zu liegen kommen. Auch eine Unterflurverlegung ist daher möglich.

Die weiteren Untersuchungen betrachten somit eine Situation ohne diese Rohrbrücke. Gleichwohl wird deutlich, dass bei diesem Rohrverlauf keine Höhendifferenz von 1,2 m (DN-400 Oberkante zur DN-700-Unterkante) wie am Damm gegeben ist. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die Unterkante der DN-700 Dammrohre im Reservedamm 517 16 cm tiefer als im Damm 512 befindet (s. Abbildung 5, Abbildung 6 und Abbildung 7). Der relevante Bezugspunkt sind somit die -948,19 mNN am Reservedamm. Auf Basis dieser Gegebenheiten erfolgte eine Neubewertung mit einem detailliertem und für die einzelnen Rohrabschnitte differenziertem Berechnungsverfahren für den initialen, der Abschaltung der Pumpen Zollverein am südlichen Wasserannahmedamm folgenden, Wasserdurchfluss von bis zu 10 m³/min.

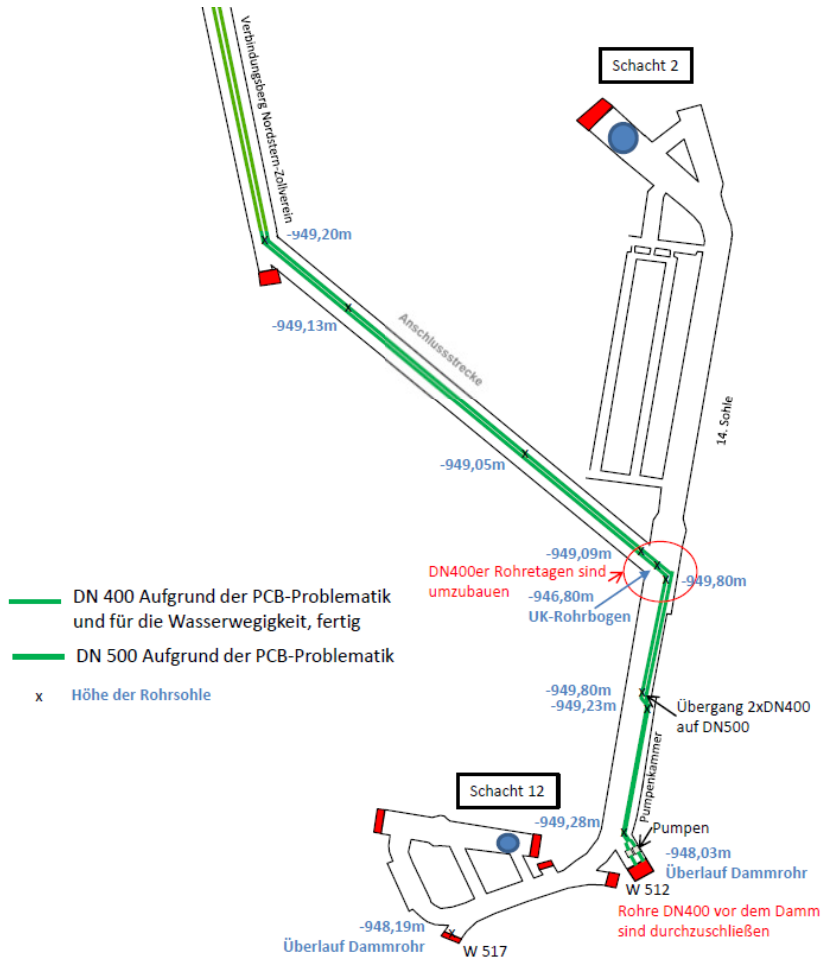


Abbildung 6: Höhen der Leitungen vom Damm W 512 zum Stinnesberg.

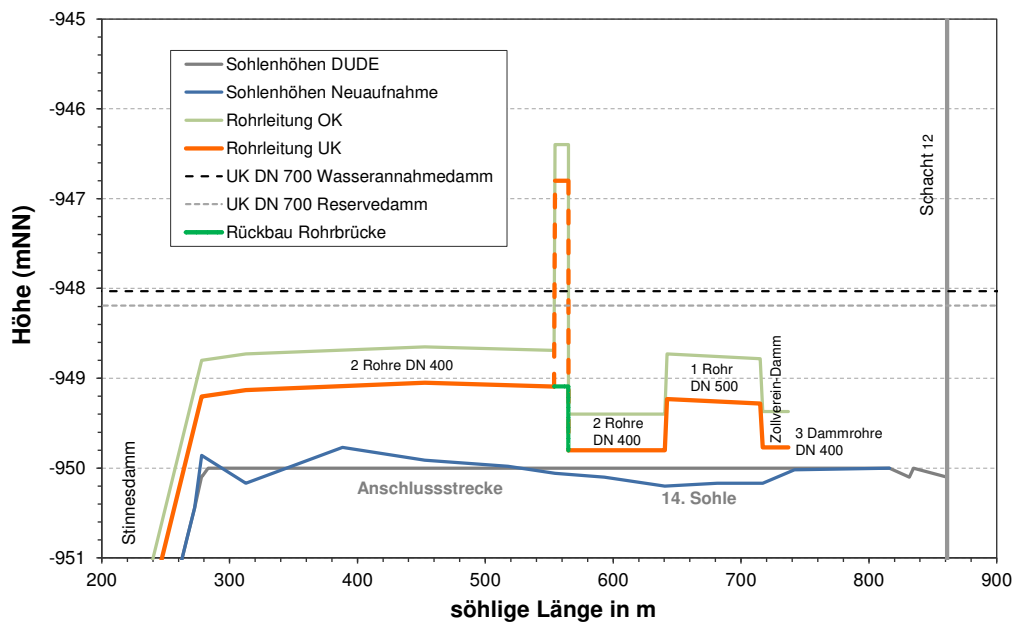


Abbildung 7: Höhenniveaus vom Damm W 512 zum Stinnesberg.

3.2 Berechnung der Grubenwasserdurchleitung vom Damm W512 bis zum Damm W1408 auf Zollverein

Die Überleitungsrohrverbindung vom Damm W 512 zum Damm W 1408 (Stinnesdamm) besteht wie beschrieben aus 4 verschiedenen Abschnitten (Abbildung 7): zunächst über ein Wasserschloss angeschlossen an den Damm W 512 eine Rohrleitung DN 500 (77 m lang etwa im Niveau -949,25 mNN), ab da besteht die Rohrverbindung aus zwei DN 400-Leitungen, zunächst über ca. 77 m im Niveau von -949,8 mNN verlegt, anschließend über ca. 285 m aufgeständert etwa im Niveau -949,1 mNN und die restliche Strecke über ca. 278 m bis zum Damm W 1408 im Stinnesberg verlegt. Auf diesem letzten Abschnitt verläuft die Rohrverbindung von -949,2 mNN bis auf ein Niveau von -966 mNN am Damm W 1408. Alle Niveauangaben beziehen sich auf die Unterkante der Rohrverbindung. Die drei letzten Abschnitte (2 Rohre DN 400) werden für die rohrhydraulischen Berechnungen als ein gemeinsamer Abschnitt betrachtet.

Im Folgenden werden die Verlusthöhen oder Vordrücke bei der Durchströmung dieser Rohrverbindung berechnet. Als Durchströmungsrate werden auf der sicheren Seite liegend $10 \text{ m}^3/\text{min} = 0,166666 \text{ m}^3/\text{s}$ angesetzt. Diese Rate liegt etwas höher als die maximalen Förderaten in den durch feuchten Jahreszeiten beeinflussten Grubenwasserzufluss der letzten Jahre (vgl. Abbildung 2). Für die Durchströmungsberechnung wird ein ungünstiger Zeitpunkt gewählt, an dem die Grubenwasserstände auf der Nordsternseite im Stinnesberg nach Abstellen der Pumpen auf Zollverein bis kurz unterhalb der 14. Sohle angestiegen sind. Unter diesen Bedingungen fungiert die Rohrverbindung zwischen den beiden Dämmen fast über die gesamte Länge als Druckrohrleitung und ist damit überwiegend wassererfüllt. Zur Vereinfachung und als ungünstige Betrachtung wird für die Berechnungen die gesamte Rohrleitung als vollständig wassererfüllt angesehen. In der Zeit davor wird es in dem im Verbindungsberg verlegten Rohrleitungsabschnitt wegen des beachtlichen Sohlgefälles ein Strömen mit freiem Wasserspiegel geben, das zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten und einem nicht vollständig wassererfüllten Rohrleitungsabschnitt im Verbindungsberg führt.

3.2.1 Abschnitt 1: Rohrleitung DN 500 ab Damm W 512 über 77 m

Die durchströmbare Querschnittsfläche beträgt hier pro Rohrleitung $0,196 \text{ m}^2$. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v beträgt $0,85 \text{ m/s}$. Hierfür ergibt sich eine Reynolds-Zahl Re gemäß

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad v \text{ in m/s, } d \text{ in m}$$

mit ν = kinematische Viskosität (20°C) = $1 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

zu $Re = 0,85 * 0,5 * 10^6 = 425.000 [-]$.

In beiden Rohrleitungen ist demgemäß ($Re > 2.300$) eine hochturbulente Rohrströmung zu erwarten.

Verwendet wird das Strömungsgesetz von Prandtl-Colebrook, das turbulente Rohrströmungen sowohl bei glatten als auch rauen Rohrwandungen beschreibt. Zur Bestimmung der dimensi-

onslosen Rohrreibungszahl λ (repräsentiert das Maß an Dissipation) wird wegen der hydraulischen Glattheit der Rohrwandung die Formel von Prandtl verwendet. λ hängt dabei nur von Re ab. Mit $Re = 4,25 * 10^{-5}$ ergibt sich $\lambda = 0,0135$.

Prandtl-Colebrook:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{\lambda * v^2}{d * 2g}$$

hydraulischer Gradient i [-]
Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Es ergibt sich

$$i = \frac{9,75 * 10^{-3}}{9,81} = 9,95 * 10^{-4} = 0,001$$

Bei einer Streckenlänge von 77 m ergibt sich für diesen Rohrleitungsabschnitt eine Verlusthöhe oder ein Vordruck von $\Delta h = 0,077 \text{ m} = 7,7 \text{ cm}$.

3.2.2 Abschnitt 2: 2 Rohrleitungen DN 400 bis zum Damm W 1408 über 640 m

Der zweite Abschnitt der Überleitungsrohrverbindung verläuft in den verschiedenen o.g. Niveaus von der Rohrleitung DN 500 bis zum Damm W 1408 und hat eine Länge von 640 m. Sie besteht aus 2 parallelen Rohrleitungen à DN 400.

Die durchströmbare Querschnittsfläche beträgt pro Rohrleitung $0,126 \text{ m}^2$. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v beträgt für jede der beiden Rohrleitungen $0,6614 \text{ m/s}$. Hierbei wird wie oben geschrieben eine gleiche Verteilung der Durchflussraten auf die Rohre berücksichtigt. Für jede der beiden Rohrleitungen ergibt sich die Reynolds-Zahl

$$Re = 0,6614 * 0,4 * 10^6 = 265.000 [-].$$

In beiden Rohrleitungen ist demgemäß ($Re > 2.300$) eine hochturbulente Rohrströmung zu erwarten. Verwendet werden wie beim Abschnitt ab Damm W 512 das Strömungsgesetz von Prandtl-Colebrook und zur Bestimmung der Rohrreibungszahl λ die Formel von Prandtl. Mit $Re = 2,65 * 10^{-5}$ ergibt sich $\lambda = 0,015$.

Nach Prandtl-Colebrook ergibt sich

$$i = \frac{6,56 * 10^{-3}}{7,85} = 8,35 * 10^{-4} = 0,000835$$

Bei einer Streckenlänge von 640 m ergibt sich für jede der beiden Rohrleitungen und damit für die Überleitungsrohrverbindung insgesamt (2 mal DN 400) eine Verlusthöhe oder ein Vordruck von $\Delta h = 0,54 \text{ m}$. Die errechnete Verlusthöhe teilt sich folgendermaßen auf die drei Teilstücke auf:

77 m langer Abschnitt etwa im Niveau -949,8 mNHN: $\Delta h = 0,065 \text{ m}$,

285 m langer Abschnitt etwa im Niveau -949,1 mNHN: $\Delta h = 0,24 \text{ m}$,

278 m langer Abschnitt im Verbindungsberg: $\Delta h = 0,232 \text{ m}$.

3.3 Fazit und Empfehlungen

Unter den wie einleitend beschrieben ungünstig angesetzten Rahmenbedingungen (hoher Wasserstand im Stinnesberg und vollständig wassergefüllte Rohrleitung) stellt der Hochpunkt im Rohrleitungssystem den hydraulischen Bezugspunkt dar. Angesetzt wurde hierfür ein Wert von $-948,8 \text{ mNN}$ (vgl. Abbildung 7, Oberkante Rohrleitung in der Anschlussstrecke). Dann ergibt sich nach obiger Rechnung für den Anschluss an den Damm W 512 ein Grubenwasserstand von $-948,8 \text{ mNN} + 0,62 \text{ m} = -948,18 \text{ mNN}$. Das ist gerade 1 cm höher als die Unterkante der beiden zu öffnenden DN 700-Dammrohre im Damm W 517 ($-948,19 \text{ mNN}$). Da in der Berechnung die 4 Abwinkelungen (jeweils 90°) in den Rohrleitungen, die zu kleinen additiven Energieverlusten führen, nicht berücksichtigt wurden, kann der Grubenwasserstand am Damm W 512 auch 1 oder 2 cm höher liegen. Dieser Wasserstand wäre bei einer Öffnung der beiden Dammrohre nicht akzeptabel.

In der Grubenwasseranstiegsphase auf der Nordsternseite/Stinnesdamm sind allerdings zunächst geringere Grubenwasserstände am Damm W 512 zu erwarten (unterhalb Niveau 14. Sohle). Da wir bei niedrigeren Grubenwasserständen auf der Nordsternseite, also z.B. -960 mNN , in dem oberhalb gelegenen Rohrabschnitt von einem Fließen im Freispiegelgefälle ausgehen können, sind die Wasserstände am oberen Ende des Stinnesbergs maximal bei $-949,2 \text{ mNN}$ (Unterkante Rohrleitung), was einem drucklos vollständig wassererfüllten Rohr entspricht. In einer solchen Situation sind am Damm W 512 $-948,8 \text{ mNN} + 0,39 \text{ m} = -948,41 \text{ mNN}$ zu erwarten. Das Niveau liegt $0,22 \text{ m}$ unterhalb der Unterkante der zu öffnenden DN 700-Rohre im Damm W 517.

In Anbetracht der bestehenden Unsicherheiten zum zeitlichen Verlauf des Wasserstandes und zur Gewährleistung einer sicheren Öffnung der Dammrohre empfehlen wir diese mit 90° -Winkelstücken zu versehen, deren flächige Öffnung sich dann mindestens im Niveau der jetzigen Dammrohr-Oberkante und somit 70 cm über dem heutigen Überlaufniveau befindet. Dabei ist der Überlauf insbesondere am Damm 517 aufgrund der hier tieferen Dammrohrposition trotz der hier diese Maßnahme erschwerenden Ausbaubedingungen zu hoch wie möglich zu setzen.

An dieser Stelle möchten wir zudem Entlüftungseinrichtungen in den Rohrleitungen empfehlen, damit die Überleitungsverbindung im vollen Umfang für die Durchströmung zur Verfügung steht und unnötige Strömungshindernisse in Form von Luftblasen vermieden werden. Entlüftungseinrichtungen empfehlen wir am Übergang von DN 500 auf zweimal DN 400, am höchsten Punkt der DN 400-Leitungen und am oberen Ende des Verbindungsbergs.

4. Ergänzung des Besicherungssystems

Unter den gegebenen Abschaltplanungen der Wasserhaltungen (vgl. Kap. 2.3) ist davon auszugehen, dass mehr als $10 \text{ m}^3/\text{min}$ im Streckensystem der heutigen Wasserhaltung Zollverein von Süden nach Norden strömen, was mehr ist als die zuvor beschriebenen Besicherungsröhre durchleiten können und zwar bevor Stinnesberg und 14. Sohle überstaut sind. Dann wird Wasser über die geöffneten Mannrohre (Überlauf angehoben s.o.) auf die 14. Sohle fließen. Die zuströmende Gesamtmenge kann mehr als $25 \text{ m}^3/\text{min}$ betragen (s. Abbildung 4).

Diese Angabe zu dem erwarteten Durchfluss, auf den sich die folgenden Betrachtungen und Systemauslegungen auch beziehen, berücksichtigt die ungehindert durch die Dämme abfließenden = anströmenden Wassermengen. Eine Installation der üblichen Berstscheiben, die wie Untersuchungen gezeigt haben zu einem Rückstau von bis zu 6 m führen können, verursacht beim gewollten Bruch einen Wasserschwall durch das betroffene Rohr. Durch ein 5 m langes Dammrohr DN 700 können dann bis zu 700 m³/min abfließen, was ein Vielfaches des normalen Abflusses darstellt und eine unkontrollierbare Erosion des Streckensystems verursachen würde. Es ist daher erforderlich, beim Rückzug entweder auf Barrieren an den Rohröffnungen ganz zu verzichten oder extrem dünne aufweichebare Trennelemente einzusetzen.

4.1 Schachtnahe Bereiche Schacht 12

Das durch die Dammrohre austretende Wasser wird unabhängig davon, ob das Wasser aus Damm W 512 oder W 517 ausfließt, aufgrund der Höhenniveaus der 14. Sohle nach Auffüllung der Senke im Bereich der Pumpenkammer zunächst die Strecke bis zum Schacht 12 fließen und den Schachtsumpf auffüllen (Abbildung 8). Der Schachtsumpf stellt eine Senke dar und auch wenn dieses Volumen vergleichsweise rasch aufgefüllt sein wird, ist Erosion in diesem Streckenabschnitt (Sohle ist nicht betoniert) dann nicht auszuschließen.

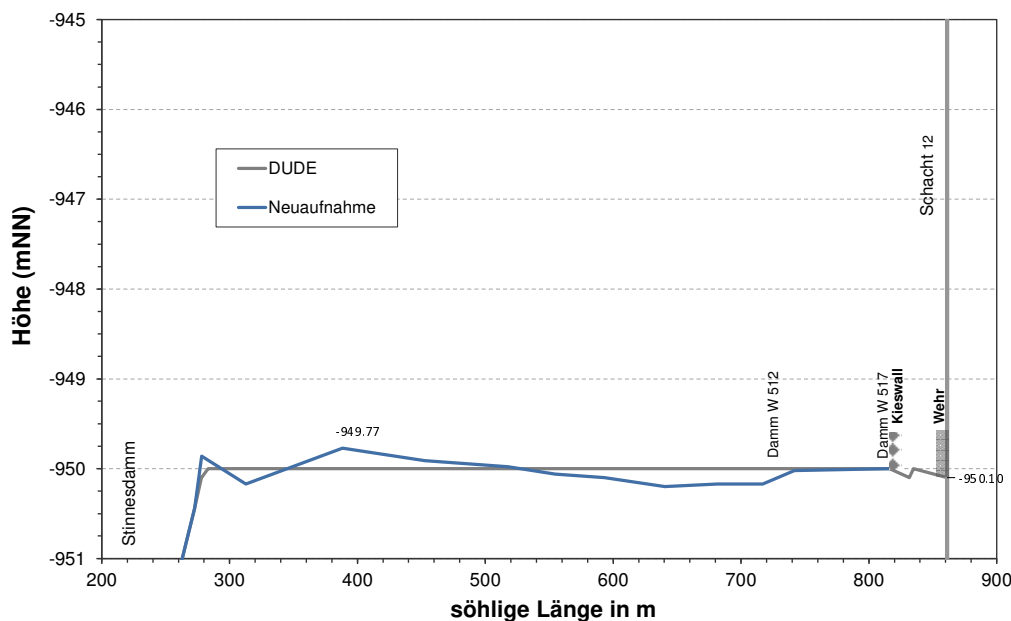


Abbildung 8: Höhenniveaus der 14. Sohle und Besicherungseinrichtungen zum Schacht 12.

Diese kann verhindert werden, wenn sich bereits eine Wasserschicht auf der Sohle befindet, wenn die Wasserströmung in den Schachtsumpf einsetzt. Hierfür kann ein Wehr direkt am Schachtanschlag zur 14. Sohle errichtet werden. Da sich der Hochpunkt der 14. Sohle nach der aktuellen Vermessung bei -949,77 mNN und der Anschlag am Schacht 12 auf -950,10 mNN befindet, reicht eine 50 cm hohe Mauer zu diesem Zweck aus. Zur Verlangsamung der Strömung in Richtung Schacht bis zum Erreichen des Anstau-niveaus ist ein Kieswall am Abzweig vom Reservedamm in Richtung Schacht 12 sinnvoll (Abbildung 9). Dieser müsste

40 cm hoch sein, um das Niveau der Schachtmauer zu erreichen. Um zu verhindern, dass die beiden anderen Verbindungen zum Schacht (Elektroraum, Aufenthaltsraum) als Wasserweg genutzt werden, sind auch dort entsprechende Sperrbauwerke vorzusehen.

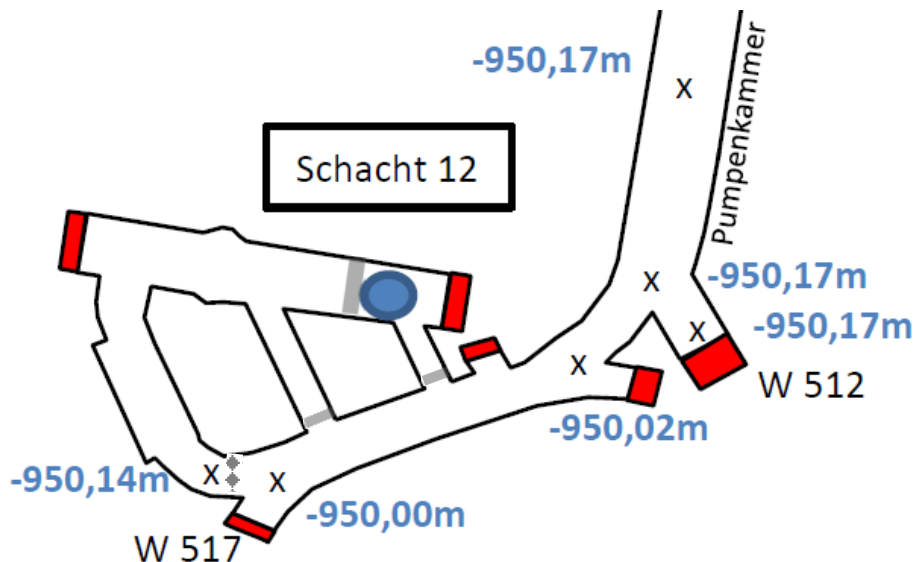


Abbildung 9: Streckenriss der 14. Sohle mit den Wasserannahmedämmen und Besichtigungseinrichtungen zum Schacht 12.

4.2 14. Sohle zwischen den Dämmen W 512 und W 517

Dieser Streckenabschnitt ist zwar nicht betoniert aber söhlig aufgefahren. Durch den Hochpunkt der 14. Sohle auf -949,77 mNN (s. Abbildung 8) ist dieser nach Auffüllung der davor befindlichen Senke im Bereich der Pumpenkammer überstaut, bevor ein Wasserabfluss in Richtung Stinnesberg einsetzt. Relevante Erosion ist hier somit nicht zu erwarten auch wenn bedingt durch tiefere Dammrohr-Öffnungen der Wasserabfluss zunächst über Damm W 517 erfolgt.

4.3 Pumpenkammer

Die Pumpenkammer ist betoniert, so dass nach Rückbau und Reinigung der dortigen Standortflächen (s. DMT-Gutachten GEE5-2016-01186-c, Gutachterliche Stellungnahme zu Standorten mit potenzieller Exposition von wassergefährdenden Stoffen im Umfeld der Schächte Zollverein 2 und 12 sowie Amalie und Marie, 13.07.2018) dort keine relevanten PCB-Belastungen zu erwarten sind.

Nicht betoniert ist das Gleisbett in diesem Streckenabschnitt. Die Schwellen bzw. die dazwischen befindlichen Berge liegen etwa 5 cm unter dem Gleisoberkanten, so dass dieser Bereich mit feinem Beton/Baustoff aufgefüllt und so vor Erosion und PCB-Ausspülung geschützt werden kann.

4.4 14. Sohle zum Schacht 2

Der Streckenabschnitt vom Abzweig der Anschlussstrecke zum Schacht 2 wird durch einen Damm verschlossen, der zusammen mit den installierten Rohranschlüssen bei Bedarf eine getrennte Hebung der von Norden und Süden zufließenden Wässer erlauben soll. Dementsprechend wird er nicht durch die von Süden über die 14. Sohle abfließenden Wässer berührt. Geringe Zuflüsse im Schacht 2 werden zur langsamen Füllung dieses Streckenabschnittes beitragen. Weitere Maßnahmen sind hier nicht erforderlich.

4.5 Anschlussstrecke

Hinter der Pumpenkammer im Bereich der Weiche im Abzweig zur Anschlussstrecke sowie in der gesamten Anschlussstrecke ist die 14. Sohle nicht betoniert. Ein nicht mehr durch die Rohrleitungen und somit über die Strecke abgeführter Wasserabfluss von mehr als 15 m³/min in Richtung Stinnesberg würde trotz des weitgehend söhligem Streckenverlaufes zu einer deutlichen Erosion des hier nachgewiesenermaßen hoch PCB/PCDM-belasteten Sohlmaterials (vgl. Abbildung 1, Proben 2 und 5) führen.

Um dies zu verhindern wurde eine Abflussrinne geplant, die zwischen den Rohrleitungen und nordöstlichem Stoß den Abfluss aus der Pumpenkammer fasst und zum Stinnesberg führt. Eine solche Einrichtung hat gegenüber Rohrleitungen den Vorteil, dass damit dieser Streckenabschnitt auch nach Installation noch befahrbar und für den Transport nutzbar ist.

Die Auslegung dieses Systems wird in einem gesonderten Gutachten behandelt (ZPP INGENIEURE AG, ZWH Zollverein Hydraulische Betrachtungen zur Grubenwasserführung auf der 14. Sohle), das derzeit im Entwurf vorliegt. Demnach ist eine solche Konstruktion unter den Gegebenheiten des Streckenverlaufes (Gefälle) sowie dem zur Verfügung stehenden Platz in der Lage, die erwarteten Wassermengen auch bei Versagen der Rohrleitungen zu fassen und durchzuleiten.

Zu beachten ist, dass das Wasser aus dem Bereich der Pumpenkammer über die gesamte Streckenbreite anströmen wird. Für den Übergang in den geplanten Stahlkanal ist eine geeignete Fassung der Wässer vorzusehen, die die vorhandenen Rohrleitungen berücksichtigt und einen dichten Stoßabschluss gewährleistet.

4.6 Stinnesberg

Es ist nicht sicher vorhersagbar, wie weit der Stinnesberg bei Übertritt der erhöhten Wassermengen eingestaut ist. Aufgrund der nachgewiesenen PCB-Belastungen muss auch hier eine zusätzliche Erosion verhindert werden. Zwar ist die Sohle im gesamten Berg mit Stufen betoniert, jedoch befinden sich am westlichen Stoß unter den Rohrleitungen beträchtliche Bergemengen, die unter gegebenen Transportmöglichkeiten kaum mehr geräumt werden können.

Es ist daher geplant für die Wasserableitung den weitgehend bergfreien Fahrweg am östlichen Stoß zu nutzen, über den bereits heute ein geringer Wasserabfluss stattfindet. Das Konzept sieht vor, zunächst die östliche Streckenseite zu reinigen. Hierzu wurden bereits größere Berganhäufungen unter die Rohrleitungen verlagert und anschließend die Betonoberfläche abgespritzt. Das schlammhaltige Spülwasser wurde am Fuß des Berges in dem Pumpenbecken am Stinnesdamm gesammelt und dann mittels Pumpe durch den Damm in die ehemalige

Hauptwasserhaltung gespült. In der Hauptwasserhaltung liegt bereits eine PCB/PCDM-Anreicherung vor, so dass hierdurch keine zusätzliche Kontamination erfolgt. Darüber hinaus ist der Bereich bereits durch Dämme vom restlichen Streckensystem abgeschlossen und so gegen Stoffaustrag besichert.

Anschließend wird durch am bestehenden Ständerwerk der Rohrleitungen befestigte Bleche die östliche Streckenseite als Strömungsrinne ausgebaut und das Haufwerk unter den Rohrleitungen so vor Erosion geschützt. Auch die konstruktive Umsetzung dieses Konzeptes wird im o.g. Gutachten der ZPP INGENIEURE AG beschrieben.

Bei der Montage ist darauf zu achten, dass eine Abdichtung sowohl zwischen den einzelnen Blechelementen als auch zur Betonbasis erfolgt, um einen parallelen Wasserstrom außerhalb der Rinne und Erosion des Haufwerks zu verhindern.

5. Zusammenfassung und Fazit

Das aktuelle Konzept für den auslaufenden Pumpbetrieb Zollverein sieht vor, zunächst nur die Förderung des Wassers aus der Emschermulde (Stinnesdamm) einzustellen und mit drei untertage verbleibenden Pumpen die südlichen Wasserzuflüsse weiter zu heben und so den Wasseranstieg in der Emschermulde zu verlangsamen. Dies erhöht die Sicherheit für die dann noch erforderlichen Rückzugsarbeiten auf der 14. Sohle. Dies impliziert aber auch, dass die PCB-belasteten Strecken im Stinnesberg und auf der 14. Sohle noch nicht überstaut sind, wenn gegenüber dem heutigen Zustand erhöhte Wassermengen zufließen.

Der nunmehr zeitgleich geplante Rückzug aus den Wasserhaltungen Zollverein, Amalie und Carolinenglück führt zudem dazu, dass der vermehrte Wasserandrang von Süden auf die 14. Sohle Zollverein nicht, wie den früheren Planungen zugrunde gelegt, verzögert einsetzt. Die so vor dem geforderten Überstau auf der 14. Sohle abfließenden Wassermengen überlasten das vorhandene Besicherungssystem und erfordern zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation.

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die zur Besicherung der Strecken (14. Sohle, Anschlussstrecke, Stinnesberg) gegenüber PCB-Erosion installierten Rohrleitungen nicht den bereits formulierten Anforderungen genügen. Infolgedessen wurde die Standortsituation insgesamt nochmals überprüft und neu bewertet.

Hieraus ergeben sich die folgenden noch durchzuführenden Maßnahmen:

Rohrbesicherung für Abfluss <10 m³/min

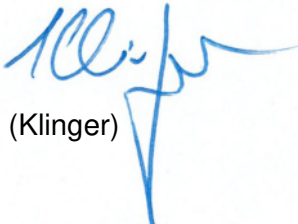
- Rückbau der Rohrbrücke
- 90°-Winkelstücke an den Öffnungen der Dammrohre D 512 und D 517, so dass die flächige Öffnung sich dann mindestens 70 cm über dem heutigen Überlaufniveau befindet
- Entlüftungseinrichtungen in den Rohrleitungen

Streckenbesicherung für Abfluss >10 m³/min

- Verzicht auf Barrieren (Berstscheiben) an den Rohröffnungen der Dämme D 512 und D 517 bzw. Einsatz extrem dünner aufweichbarer Trennelemente
- Errichtung von Wehren am Schacht 12 und an den Verbindungsstrecken zum Schacht
- Betonierung des Gleisbettes im Bereich der Pumpenkammer
- Installation einer Abflussrinne in der Anschlussstrecke mit den erforderlichen Anschlüssen zur Pumpenkammer
- Materialverlagerung und Reinigung der Fahrwegseite im Stinnesberg
- Montage von Wasserleitblechen im Stinnesberg

Mit diesen Maßnahmen kann ein wirkungsvoller Beitrag zur Minimierung der PCB-Mobilisation auch unter verschiedenen Rahmenbedingungen bewirkt werden. Das dann installierte System beinhaltet ausreichende Sicherheitsreserven, um auch bei von den jetzigen Planungen abweichenden Szenarien zu funktionieren.

Mit freundlichen Grüßen
DMT GmbH & Co. KG

i. V.  (Klinger)

i. V.  (Kories)