

GEOTECHNISCHE STELLUNGNAHME

**Alpenrhein, Hochwasserdamm rechts, km 75+200 – 77+060
Interventionspiste Diepoldsau Oberspitz bis Rietbrücke,
Gemeinde Diepoldsau, Geotechnische Beurteilung und
Vorgaben zum Auflageprojekt**

Erstellt für:

Internationale Rheinregulierung
Parkstrasse 12
CH-9430 St. Margrethen

Triesen, 15. Dezember 2023

Seiten 1-16
GZ: 2018-6003
Bearbeiter: C. Krösbacher
S:\2018\6001-6049\6003_Rheindämme IRR CH\14_GA_STN_Berichte\77,20-77,00_R_IVP\2018-6003_GeoSTN_IVP_Oberspitz_20231215.docx

INHALTSVERZEICHNIS

1.	SITUATION UND AUFGABENSTELLUNG	1
2.	GRUNDLAGEN UND RANDBEDINGUNGEN	2
3.	ANLAGE- UND UNTERGRUNDVERHÄLTNISSE	3
3.1.	Untergrund	3
3.2.	Hochwasserschutzdamm	6
3.3.	Grundwasserverhältnisse	7
4.	AUFLAGEPROJEKT	10
5.	GEOTECHNISCHE BEURTEILUNG UND VORGABEN.....	11
5.1.	Auswirkungen der geplanten Massnahmen	11
5.2.	Ausführungshinweise	13
5.3.	Gehölzbewuchs / Wiederaufforstung.....	14

1. SITUATION UND AUFGABENSTELLUNG

Die Internationale Rheinregulierung (IRR) plant am rechtsufrigen Hochwasserschutzdamm des Alpenrheins zwischen Rhein-km 75+200 und Rhein-km 77+060 (Diepoldsauer Durchstich) die Errichtung einer Interventionspiste.

Gleichzeitig soll das Terrain zwischen dem Hochwasserschutzdamm und dem rund 25 m vom luftseitigen Dammfuss entfernten Sickerkanal aufgefüllt werden.

Diese Schüttung dient der Reduktion der luftseitigen Böschungshöhe des Dammes. Dadurch wird die Standsicherheit des Hochwasserschutzdammes signifikant erhöht.

Die Planung erfolgte in enger Abstimmung zwischen dem Bauherrn und dem Rheinunternehmen, der Bänziger Partner AG und der 3P Geotechnik Anstalt.

In der vorliegenden Geotechnischen Stellungnahme werden die Untergrund- und Anlageverhältnisse beschrieben und geotechnischen Vorgaben zur Planung und Ausführung zusammenfassend dargestellt.

2. GRUNDLAGEN UND RANDBEDINGUNGEN

Für die Beurteilung stehen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [A] Auflageprojekt: Technischer Bericht, Situation und Längenschnitt, Querprofile, Normalprofile, Rodungsplan; Bänziger Partner AG, Oberriet, Stand 15.12.2023.
- [B] Geotechnisches Gutachten „Rechtseitiger Hochwasserdamm des Rheins, Rhein-km 75.000 bis Rhein-km 77.000“, Büro Dr. Waibel, Hohenems vom September 1995
- [C] Untergrunderkundung im Zuge der Bestandsanalyse und des Hochwasserschutzprojekts «Hochwasserschutz Alpenrhein km 65 – 91» aus den Jahren 2012 bis 2020, Internationale Rheinregulierung, St. Margrethen
- [D] Erkundungsbericht «Alpenrhein Internationale Strecke km 65 – km 91, Hochwasserdämme Schweiz, Rhein km 75.2 – 77.0 rechts, Erkundung der Situation am Dammfuss am 19.8.2020»

3. ANLAGE- UND UNTERGRUNDVERHÄLTNISSE

3.1. Untergrund

Die geplante Interventionspiste befindet sich in der sogenannten Torfstrecke des Diepoldsauer Durchstichs. Die fluviatilen Kiese des Rheins fehlen hier mit Ausnahme unmittelbar im Mittelgerinne. Der oberste Bereich der Talflur wird von Stillwassersedimenten gebildet, welche aus Tonen bzw. plastischen Schluffen sowie Torfen bestehen, die in Wechsellagerung bzw. als Ton-Torf-Gemische auftreten. Es handelt sich dabei um das Isenriet, welches südlich des bebauten Gebiets von Diepoldsau zungenförmig in die Hohenemser Schlinge des (Alten) Rheins hinein reicht. Die südliche Begrenzung liegt im Bereich des rechtsufrigen Hochwasserschutzdammes bei Rhein-km 75+20, die nördliche Begrenzung auf Höhe der Brücke Balgach – Diepoldsau («Rietbrücke») etwa bei Rhein-km 77+06.

Die Tone und Torfe weisen luftseitig des Hochwasserschutzdammes des Rheins eine Mächtigkeit von etwa 14 m (im Süden) bis 12 m (im Norden) auf. Etwa in der Mitte der Schicht ist grossflächig eine Zwischenlage mit einer Stärke von ca. 0.3 bis 1.2 m vorhanden, welche im Süden aus Sand mit meist geringem Feinkornanteil besteht. Nach Süden nimmt der Sandanteil der Zwischenlage ab und der Feinkornanteil zu.

Unterhalb der Tone und Torfe stehen Deltasedimente an, die im oberen Bereich aus einer Wechselfolge aus Kies und Sand und in grösserer Tiefe aus einer Wechselfolge aus Sand und Schluff/Silt bestehen. Der Übergang zu feinkörnigen Stillwassersedimenten wurde in einzelnen Bohrungen im Bereich des Oberen Rheinspitzes in rund 45 bis 50 m Tiefe festgestellt.

Abbildung 1 zeigt das Körnungsband des Untergrundes von Rhein-km 74+75 bis Rhein-km 77+05. Dementsprechend sind hier auch die Böden des oberhalb liegenden Abschnittes mit kiesigem Untergrund enthalten (gelbe Linien). Die Korngrössenverteilung wurde nur an den Tonen und organischen Tonen, nicht aber an den Torfen bestimmt.

Zu erkennen sind ganz links die oberflächennahen Tone und Torfe, welche durch die flächendeckend vorhandene Zwischenschicht aus Sand und Schluff (orange Linien) in einen oberen (braune Linien) und einen unteren

(violette Linien) Bereich geteilt wird. Die Korngrößenverteilungen der darunter liegenden kiesigen-sandigen Deltasedimente sind blau dargestellt.

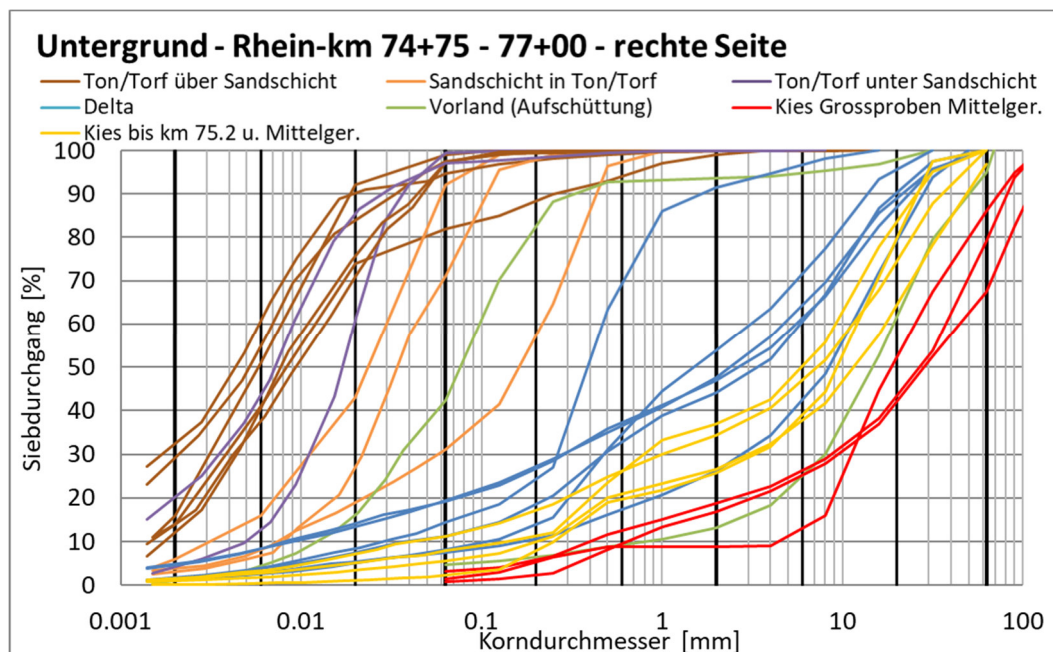


Abbildung 1 Körnungsband Böden Abschnitt 2a rechts „Torfstrecke“ inkl. Abschnitt Rhein-km 74+75 – 75+20 (fluvialer Kies)

Die eingelagerte Sandschicht trennt die Tone und Torfe in 3 Teilschichten:

T1 Tone und Torfe oberhalb der Sandschicht

T2 Sandschicht

T3 Tone und Torfe unterhalb der Sandschicht

Der Feinkornanteil $D_{0.063\text{mm}}$ der Böden beträgt im Mittel 87 %, der Anteil an Feinstkorn $D_{0.002\text{mm}}$ variiert zwischen 3 und 31 %. Der Sandanteil liegt aufgrund der Sandschicht im Mittel bei 13 %, in den Tonen und Torfen oberhalb der Sandschicht bei 6 %. Der organische Anteil der Böden liegt zwischen 1.7 und 62.8 %, der Wassergehalt zwischen $w = 26$ und 367 % (Tabelle 1). Dabei weisen die Proben aus der Schicht T1 einen deutlich höheren organischen Anteil auf als jene aus der Schicht T3 unterhalb der Sandschicht.

Der Feinkornanteil der Sandzwischen-schicht (T2) nimmt von Süden nach Norden zu.

Gemäss Plastizitätsdiagramm (Abbildung 2) handelt es sich bei den Tonen und Torfen oberhalb der Sandschicht um organische Tone (Cl,or). 2 Proben sind dabei aufgrund ihrer Fließgrenze von 123 bzw. 167 % im Diagramm nicht mehr dargestellt. Eine Probe aus den Tonen und Torfen unterhalb der

Sandschicht ist als ausgeprägt plastischer Schluff (Si,A) zu klassifizieren, die Probe aus der Sandschicht liegt im Zwischenbereich zwischen den Sand-Schluff- und den Sand-Ton-Gemischen.

	Korndichte	Wassergehalt	organischer Anteil	Kies	Sand	Schluff / Silt	Feinstes	Feinkorn $D_{0,063}$ mm	Flie遡grenze	Ausrollgrenze	Plastizitatzahl	Konsistenzzahl
	ρ_s g/cm ³	w_n %	V_o %	Gr %	Sa %	Si %	Cl %	$D_{0,063}$ %	w_L %	w_p %	I_p %	I_c -
Anzahl	11	29	26	12	12	12	12	12	7	7	7	2
Minimum	2.30	26.4	1.7	0	1	27	3	31	24.5	19.5	5.0	0.4
Maximum	2.77	366.9	62.8	1	69	95	31	99	167.3	79.6	87.7	0.8
Mittelwert	2.52	132.8	22.9	0	13	72	15	87	93.4	50.3	43.1	0.6
Median	2.51	114.3	22.4	0	5	73	14	95	93.0	52.0	36.5	0.6
Standardabweichung	0.16	82.2	14.8	0	19	17	10	19	45.4	19.4	27.2	0.3
Variationskoeffizient	6.5%	62%	64%	210%	152%	24%	67%	22%	49%	39%	63%	50%
5 %-Quantil	2.45	112.7	19.1	0	5	65	11	79	69.1	39.9	28.6	
95 %-Quantil	2.59	152.8	26.7	0	20	79	19	95	117.7	60.7	57.7	

Tabelle 1 Bandbreite Korngrößenverteilung, Wassergehalt, organischer Anteil und Plastizität der Tone und Torfe (Torfe nur Wassergehalt und organischer Anteil); Schichten T1 bis T3

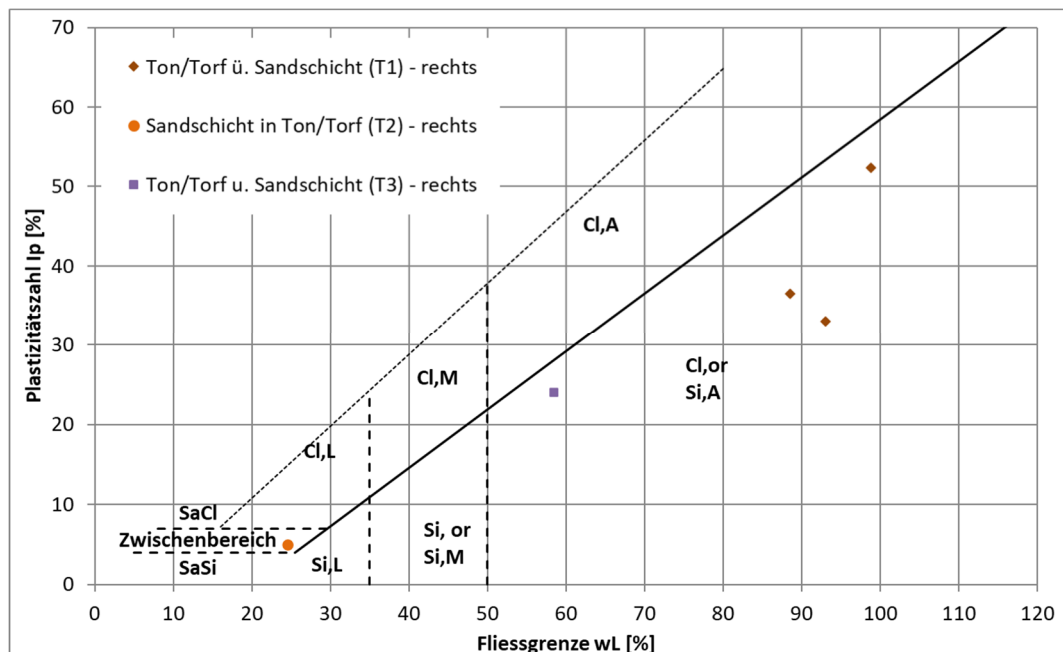


Abbildung 2 Plastizitätsdiagramm Untergrund Tone und Torfe

Luftseitig des Dammes weisen die bisher unbelasteten Tone und Torfe eine sehr hohe Zusammendrückbarkeit und geringe Scherfestigkeit bzw.

Tragfähigkeit auf. Bei Belastung treten sehr grosse Setzungen auf, die aufgrund der geringen Durchlässigkeit über Jahre und Jahrzehnte andauern, wobei die Setzungsgeschwindigkeit stetig abnimmt.

Unterhalb des bestehenden Hochwasserschutzdammes haben die Böden bereits eine Vorbelastung und dementsprechende Verdichtung erfahren. Die Zusammendrückbarkeit ist hier etwas kleiner, die Scherfestigkeit höher. Trotzdem führen auch dort zusätzliche Belastungen zu neuerlichen Setzungen.

Die unterlagernden Deltasedimente weisen gegenüber den Tonen und Torfen eine hohe Tragfähigkeit und geringe Zusammendrückbarkeit auf. Die Sande und Kiese im oberen Bereich der Deltaschüttungen stellen den Aquifer dar.

3.2. Hochwasserschutzdamm

Im Bereich der Torfstrecke besteht der Hochwasserschutzdamm vollständig aus Kies. Die Unterkante der Kiese reicht etwa 3 bis 4 m unter das luftseitige Terrain. Dies ist zumindest grösstenteils auf die grossen Setzungen der Torfe infolge der hohen Dammschüttungen zurückzuführen. Gemäss alten Unterlagen war jedoch auch die Teilauswechslung der Torfe in der Dammaufstandsfläche vorgesehen (Wey, 1906).

In den alten Unterlagen gibt es mehrere Hinweise darauf, dass die Kiese im Damm über Drainagen mit den Sickergräben verbunden sind. Von Rhein-km 76+30 nach Norden sind diese Rohre auch noch in der Natur ersichtlich und führen zum Teil noch Wasser. Am Dammfuss zwischen Rhein-km 76+28 und 76+50 wurde zu einem späteren Zeitpunkt noch eine seicht liegende Längsdrainage abgeordnet, welche bei Rhein-km 76+28 in den Sickerkanal ausleitet [D] .

Die Höhe der luftseitigen Dammböschung beträgt im Süden (Rhein-km 75+40) ca. 5.4 m und nimmt nach Norden bis rund 9.0 m zu. Die Kronenbreite liegt zwischen 5.5 und 5.9 m. Die luftseitige Dammböschung ist mit 1 : 2 (ca. 26°) geneigt und weist eine schmale Berme auf, welche rund 2.5 – 3.0 m über dem Dammfuss liegt. Die Höhe der wasserseitigen Böschung beträgt rund 4.0 m ab dem Niveau des Vorlandes, die Neigung beträgt rund 1 : 3.50 bis 1 : 3.75.

Im Winter 1996/1997 wurde in der Dammmachse zwischen Rhein-km 75+20 und 77+00 eine Schmaldichtwand angeordnet, welche durch die Kiesschüttung des Dammes bis etwa 2 m in die Tone und Torfe reicht. Der Damm wird dadurch gegenüber dem Rhein abgedichtet. Trotzdem treten von Süden sowie aus dem Untergrund (gespanntes Grundwasser) Wässer in den Dammkörper ein und sammeln sich dort. Diese werden über die bestehenden Drainagen in den Sickerkanal ausgeleitet oder fließen im Damm nach Norden ab.

Der luftseitige Dammfuss und damit der Bereich der geplanten Interventionspiste wurde im August 2020 durch ergänzende Baggerschürfe erkundet. Dabei wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

Bei den Baggerschürfen wurden am 19.08.2020 folgende wesentliche Erkenntnisse gewonnen [D]:

- Die Berme des Dammes besteht aus Kies. Einzige Ausnahme ist der Bereich bei km 76+985. Dort weist die kiesige Dammschüttung offensichtlich keine Berme auf. Die Vorschüttung inklusive der vorhandenen Berme besteht aus feinsandigem, gering plastischem Schluff (Rheinletten). Dies ist jener Bereich, der stark vom Dachs befallen ist resp. war.
- Am Fuss der Berme bzw. am luftseitigem Dammfuss wurde generell keine Längsdrainage erkundet. Auch bei der bestehenden Ausleitung in den Sickerkanal bei km 76+580 konnte neben dem am Dammfuss freiliegenden Rohr, das mit Schroppen eingefasst ist und offensichtlich Wasser führt, keine Längsdrainage festgestellt werden.
- Eine Ausnahme diesbezüglich besteht zwischen etwa Rhein-km 76+200 (südliches Ende der Drainage wurde nicht genau erkundet) und km 76+580. Hier wurde am luftseitigen Dammfuss eine seicht liegende Drainage bestehend aus einem Betonrohr, gelocht, Aussendurchmesser 300 mm (DN 250), erkundet. Die Scheitelüberdeckung beträgt etwa 0.45 bis 0.75 m.

3.3. Grundwasserverhältnisse

In der betreffenden Strecke sind entlang des Hochwasserdammes Grundwasserpegel vorhanden, in welchen von der Internationalen Rheinregulierung (IRR) seit dem Jahr 2013 resp. 2014 Grundwasserspiegelmessungen mit automatischen Datenloggern durchgeführt werden:

Pegel Nr.	Rhein-km	Lage im Querschnitt	Boden im Bereich der Filterstrecke
HGIRR2066 (KB47a)	75.10	Dammkrone	Kies
HGIRR2065 (KB65)	75.21	Vorland	Kies
HGIRR2055 (KB2)	75.60	Dammfuss luftseitig	Kies (Damm), Torf, Ton
HGIRR2056 (KB3)	76.85	Dammfuss luftseitig	Torf, Ton, Silt

Tabelle 2 Vorhandene Grundwassermessstellen

In diesen Pegeln wurden die folgenden massgeblichen Grundwasserspiegel gemessen:

Pegel Nr.	Rhein-km	Minimaler Grundwasserspiegel	Maximaler Grundwasserspiegel	Mittlerer Grundwasserspiegel
HGIRR2066 (KB47a)	75.10	407.97 m ü. M.	408.99 m ü. M.	408.15 m ü. M.
HGIRR2065 (KB65)	75.21	407.88 m ü. M.	408.68 m ü. M.	408.14 m ü. M.
HGIRR2055 (KB2)	75.60	407.58 m ü. M.	409.34 m ü. M.	408.16 m ü. M.
HGIRR2056 (KB3)	76.85	404.66 m ü. M.	405.73 m ü. M.	405.36 m ü. M.

Tabelle 3 Massgebliche gemessene Grundwasserspiegel

Der höchste Grundwasserspiegel wurde dabei (mit Ausnahme von HG2056) jeweils während des Hochwassers am 16.6.2016 gemessen.

Die Pegel HG2065 und HG2066 zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf, wobei im Pegel HG2066 etwas grössere Schwankungen auftreten. Ihre Filterstrecken liegen in den fluviatilen Kiesen resp. kiesig-sandigen Deltasedimenten.

Der Pegel HG2055 misst den Grundwasserspiegel im kiesigen Dammkörper. Er zeigt die grössten Schwankungen und insgesamt auch den höchsten Grundwasserspiegel. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt dabei auf derselben Höhe wie bei den Pegeln HG2065 und HG2066.

Der Pegel HG2056 mit der Filterstrecke innerhalb der Torfe und Tone zeigt ein gänzlich anderes Verhalten als die anderen Pegel. Die Grundwasserspiegelschwankungen sind meist sehr gering zwischen 404.3 und 404.6 m ü. M. Im Sommer bis Herbst sinkt der Grundwasserspiegel meist deutlich ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich innerhalb der gering durchlässigen Tone und Torfe kurzfristige Änderungen des Grundwasserstandes in den Kiesen nicht abbilden.

Der Wasserstand im Alten Rhein ist nicht genau bekannt. Gemäss der vorliegenden Unterlagen ist von einem mittleren Wasserstand etwa auf einer Höhe von 407.9 bis 408.0 m ü. M. auszugehen.

4. AUFLAGEPROJEKT

Gemäss [A] sind folgende wesentlichen Baumassnahmen vorgesehen:

- Luftseitig des Hochwasserschutzdammes wird eine Interventionspiste mit einer Breite von 3.5 m und beidseitigem Bankett mit einer Breite von 0.5 m errichtet.
- Die Interventionspiste liegt dabei höher als der luftseitige Dammfuss, etwa auf der Höhe der bestehenden Berme in der Dammböschung (2.5 – 3.0 m über dem Dammfuss).
- Das Terrain unterhalb der Interventionspiste wird aufgeschüttet. Die Vorschüttung wird in Lagen eingebaut. Von der Interventionspiste weist sie ein Gefälle nach Osten und fällt dann mit einer Neigung von rund 1 : 4 zum Sickerkanal ab. Zwischen dem Böschungsfuss und dem Sickerkanal verbleibt ein rund 3 - 4 m breiter Streifen, in welchem keine Auffüllung erfolgt.
- An der Basis der Auffüllungen werden in einem Abstand von 25 m Drainagen bestehend aus einem mit Filtergewebe ummantelten Filterkies sowie einer Sickerleitung aus PP-S DN 160 angeordnet. Die Sickerleitung entwässert in den Sickerkanal.
- Die Drainagen schliessen an den kiesigen Dammkörper an. Die Sickerleitung wird im Anschlussbereich an den Damm bis auf Höhe der Interventionspiste hochgezogen und endet dort in einem Spülschacht.
- Die luftseitigen Dammböschungen werden überwiegend mit einer Neigung von 1 : 3 ausgeführt. Die Dammböschung wird dabei neu aufgebaut und mit der bestehenden Dammböschung verzahnt.
- Die Interventionspiste wird von Süden (ca. Rhein-km 75+10) sowie vom Begleitweg an der Ostseite des Sickerkanals etwa bei Rhein-km 76+35 erschlossen. Dort sind jeweils auch Rampen von der Interventionspiste auf die Dammkrone vorgesehen.
- Am Nordende ist nur eine Rampe auf die Dammkrone vorgesehen. Die Interventionspiste endet in einem Wendepunkt vor der Dammschüttung der Oberrieterstrasse.
- Die Böschungsoberfläche wird als Magerwiese gestaltet. Die Vorschüttung zwischen Interventionspiste und Sickerkanal wird aufgeforstet.

5. GEOTECHNISCHE BEURTEILUNG UND VORGABEN

5.1. Auswirkungen der geplanten Massnahmen

Die geplanten Baumassnahmen haben abgesehen von der Verbesserung der Zugänglichkeit des Hochwasserschutzdammes im Hochwasserfall folgende Auswirkungen:

- Durch die Anhebung des Terrains zwischen derzeitigem Dammfuss und dem Sickerkanal werden die gering tragfähigen und stark zusammen-drückbaren Tone und Torfe belastet und dadurch verbessert.
- Diese Verbesserung des Untergrundes sowie die aus der Vorschüttung resultierende wesentliche Reduktion der Höhe der luftseitigen Dammböschung wirkt sich sehr positiv auf die Standsicherheit des Hochwasserschutzdammes aus. (Eine ähnliche Massnahme wurde linksufrig bereits früher ausgeführt).
- Durch die Abflachung der luftseitigen Dammböschungen oberhalb der Interventionspiste wird die Standsicherheit des Dammes weiter erhöht.
- Durch die rund 2 – 3 m hohe Vorschüttung zwischen Damm und Sickerkanal sind Setzungen in einer Grössenordnung von 0.5 bis 1.0 m zu erwarten. Diese Setzungen werden zunächst sehr schnell auftreten und nachfolgende (langsamer) über Jahre bis Jahrzehnte andauern.
- Durch diese Setzungen werden die bestehenden Ausleitungen vom Damm in den Sickerkanal sehr stark verformt oder auch zerstört. Um die Entwässerung des kiesigen Dammkörpers auch weiterhin zu ermöglichen, werden neue Drainagen hergestellt. Dadurch werden ein Aufstau des Wassers im Dammkörper und Wasseraustritte auf Höhe der Interventionspiste verhindert.
- Die neuen Drainagen werden etwas oberhalb der bestehenden situiert. Der Wasserspiegel im Damm steigt dementsprechend an. Die Ausleitung dieser Wässer erfolgt dann über die bestehenden (solange funktions-tüchtig) und die neuen Drainagen sowie die Drainage im Bereich der neuen Interventionspiste nördlich der Rietbrücke. Die Menge der im Damm anfallenden Wässer wird durch die Massnahme nicht verändert. So ist auch davon auszugehen, dass die Gesamtmenge der in den Sickerkanal ausfliessenden Wässer unverändert bleibt.

- Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen ist davon auszugehen, dass die geplanten Massnahmen keine oder nur sehr geringe (wenige Zentimeter) Setzungen im Bereich der Dammkrone auslösen. Der Hochwasserschutz bleibt daher mit dem vorhandenen Freibord auch weiterhin erhalten bzw. kann durch geringfügige Anpassungsmassnahmen im Bereich der Dammkrone sichergestellt werden.
- Etwas grössere Setzungen können im Bereich der Rampen zwischen Interventionspiste resp. im Bereich mit grösseren Auffüllungen in der Dammböschung oberhalb der Interventionspiste auftreten.
- Die Einbindung der Drainagen (Ausleitungen) in den bestehenden Dammkörper stellen nur einen kurzzeitigen und punktuellen Eingriff in den Damm dar. Die Massnahme wirkt sich nur im Ausmass von wenigen Stunden auf den Damm aus. Langfristig wird die Standsicherheit durch die verbesserte Entwässerung des Dammkörpers verbessert.
- Werden im Zuge der Aushubarbeiten Dachsbauten festgestellt, sind diese vollständig abzutragen und mit anstehendem Aushubmaterial zu verfüllen. Reichen die Dachsbauten an den Damm heran bzw. in diesen hinein, ist Rücksprache mit dem Geotechniker zu halten.

Die Dimensionierung der Vorschüttung erfolgte unter Berücksichtigung der geometrischen Verhältnisse sowie der gewünschten Verbesserung der Standsicherheit des Hochwasserschutzdammes.

Hinsichtlich der Standsicherheit wurden hier keine eigenen Standsicherheitsberechnungen durchgeführt. Für die Beurteilung wird auf vergleichbare Untersuchungen für andere Damm- und Interventionspistenabschnitte in der internationalen Strecke des Alpenrheins zurückgegriffen.

Der verbleibende Abstand zum Sickerkanal schützt diesen vor Verformungen infolge der Vorschüttung und der dadurch ausgelösten Setzungen. Des Weiteren bleibt die Möglichkeit bestehen, den Sickerkanal zu einem späteren Zeitpunkt zu renaturieren (Aufweitung, geschwungene Linienführung, o. ä.)

5.2. Ausführungshinweise

Aus geotechnischer Sicht sind bei der weiteren Planung sowie bei der Ausführung folgende Ausführungshinweise zu beachten:

- Die Anschüttung ist in Lagen einzubauen und zu verdichten. Die Schütthöhe darf dabei 0.50 m nicht überschreiten.
- Die Befahrbarkeit des Terrains zwischen Damm und Sickerkanal ist sehr eingeschränkt. Die ersten rund 1.0 m müssen daher über Kopf eingebaut werden oder es sind entsprechend befestigte Baupisten herzustellen.
- Die Anordnung eines Filtervlieses (Geogewebes o. ä.) an der Basis der Aufschüttung ist aus geotechnischer Sicht nicht erforderlich.
- Durch die Aufschüttung entstehen im Untergrund Porenwasserüberdrücke, welche die Scherfestigkeit verringern und zu einem Versagen der Aufstandsfläche (Grundbruch) führen können. Die Schüttungen sollen daher langsam auf entsprechend grossen Flächen eingebaut werden. Der rasche Einbau mit Schütthöhen über 1.5 m ist nicht zulässig.
- Nach dem Einbau der Schüttlagen (max. 0.5 m) ist eine Liegezeit erforderlich, bevor zusätzliche Schüttlagen aufgebracht werden dürfen. Eine genaue Beurteilung und Festlegung kann im Zuge der Ausführung erfolgen. Die Ausführung von Setzungsmessungen im Bereich der Vorschüttung ist dafür erforderlich.
- Für die Befestigung der Interventionspiste ist folgender Aufbau erforderlich (von oben nach unten):
 - Planie: Kiesgemisch 0/16 mm, gebrochen, Stärke 0.050 m
 - Koffer: Kies-Sand-Gemisch 0/63 mm, Stärke 0.75 m (dreilagig)
 - Trennvlies (Geogewebe), Flächengewicht mind. 200 g/m²
 - Dammschüttung mit gut verdichtbarem, standfestem Schüttmaterial, Einbau und Verdichtung in Lagen mit maximal 0.5 m Dicke
- Bei der Herstellung der Drainagen (Ausleitungen in den Sickerkanal) ist darauf zu achten, dass diese gut an den Kies im Dammkörper einbinden. Die Herstellung muss im Auf-zu-Verfahren erfolgen. D. h., dass sofort nach dem Öffnen des Baggerschlitzes am Dammfuss die Drainage eingebaut und der Schlitz am Dammfuss wieder vollständig zu verfüllen ist.

- Die Einbindungen sind unter Berücksichtigung der Abflusssituation im Rhein auszuführen. Bei Hochwassergefahr (bereits ab HQ_1) sind die Arbeiten zu unterbrechen.
- Die Ausleitungen sollen nicht vor dem Beginn der Vorschüttung sondern erst zu einem späteren Zeitpunkt (möglichst nach Abschluss der Schüttarbeiten) und mit möglichst grossem Gefälle hergestellt werden, wenn schon ein Grossteil der sofort resp. sehr rasch auftretenden Setzungen stattgefunden haben. Der genaue Zeitpunkt soll im Zuge der Bauausführung in Abhängigkeit der Bauzustände und der auftretenden Setzungen festgelegt werden.
- Trotz dieser Massnahme werden die Drainagen noch Setzungen im Dezimeterbereich erfahren. Die grössten Setzungen sind dabei in der Mitte der Auffüllungen zwischen Damm und Sickerkanal zu erwarten (Setzungsmulde). Das Gefälle der Ausleitung wird dadurch reduziert bzw. kann auch ein Gegengefälle entstehen. Das System aus flexiblen Kunststoffleitungen und der Filterkiespackung ist jedoch robust, sodass seine Wirkung auch nach grossen Setzungen gegeben ist. Ablagerungen infolge eines Gegengefälles können durch eine entsprechende Wartung (Spülung) einfach behoben werden.

Auf der Dammkrone des Hochwasserschutzdammes ist ein Höhenbeweissicherungsprogramm durchzuführen. Dazu sind im Abstand von 50 m am linken und rechten Kronenrand je ein Messpunkt zu vermarken und dessen Höhe geodätisch zu kontrollieren. Der Messumfang ist an die Bauzustände (Schüttbereiche und Schütthöhen) anzupassen. Während der Hochwassersaison (Mai – Oktober) ist jedenfalls einmal pro Monat eine Messung durchzuführen.

5.3. Gehölzbewuchs / Wiederaufforstung

Aus geotechnischer Sicht ist eine Bepflanzung des Hochwasserschutzdammes mit Bäumen und Büschen kritisch zu sehen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass der erdstatisch erforderliche Dammquerschnitt nicht durchwurzelt wird.

Als statisch erforderlicher Querschnitt ein Trapezprofil mit einer Breite der Dammkrone von 5.0 m und einer Neigung der Dammböschungen von 1 : 2 anzusehen.

Beim gegenständlichen Projekt weist die Dammkrone eine Breite von rund 5.5 m auf und die Dammböschung wird auf eine Neigung von 1 : 3 reduziert. Der Damm weist daher auch im Bereich der geplanten Buschplantungen an der Dammkrone bereits ein Überprofil über den erdstatisch erforderlichen Querschnitt auf. Ausserdem ist die Dammkrone aufgrund des Freibords und der Schmaldichtwand im Damm auch bei Hochwasser nicht hydraulisch beansprucht.

Der Pflanzung einzelner Buschgruppen im Bereich der Dammkrone kann daher unter Einhaltung folgender Auflagen zugestimmt werden:

- Das untere Drittel der Dammböschung (oberhalb) der Interventionspiste sind im Hinblick auf die Kontroll- und Interventionsmöglichkeiten im Hochwasserfall gehölzfrei zu halten.
- Oberhalb dieser Kontrollzonen dürfen die Gehölzplantungen ein Ausmass von 10 % der Böschungsoberfläche nicht überschreiten.
- Durchgehende Hecken sind im Hinblick auf die Einsehbarkeit und Zugänglichkeit der Dammböschung nicht zulässig.
- Durch Pflegemassnahmen ist die Höhe der Büsche mit 6 m und deren Stammdurchmesser mit 10 cm zu begrenzen.
- Andernfalls besteht eine erhöhte Gefahr eines Wühltierbefalls des Dammes. Die Buschgruppen sind dann zumindest einmal jährlich während des Winters (laubfreie Zeit) hinsichtlich der Ansiedlung von Wühltieren zu kontrollieren. Wühltiere sind zu vergrämen und die Bauten durch die lokale Neuerrichtung der Dammschüttung zu zerstören.

Der Wiederaufforstung auf der Auffüllung zwischen Damm und Sickerkanal kann aus geotechnischer Sicht unter folgenden Auflagen zugestimmt werden:

- Im Bereich der Ausleitungen in den Sickerkanal (Drainagen) ist auf eine Aufforstung zu verzichten oder die Durchwurzelung der Drainagen (einschliesslich Filterkies) ist durch einen entsprechenden Durchwurzelungsschutz (PE-Folien o. ä.) zu verhindern.

- Schäden durch umstürzende Bäume, etc. sind zu beheben.
- Die Funktion der Drainagen ist im Abstand von 5 Jahren durch eine Kamerabefahrung zu prüfen.

Triesen, 15. Dezember 2023

Clemens Krösbacher

3P Geotechnik Anstalt