



Hochwasserschutz Buoholzbach

Auflageprojekt

Prüfbericht Statik Stauanlage

Auftraggeber:		
Bauherrschaft:	Projektleiter Bauherr:	Stv. Projektleiter Bauherr:
Landwirtschafts- und Umweltdirektion Kanton Nidwalden Amt für Wald und Naturgefahren Stansstaderstrasse 59 Postfach 1251 6371 Stans	 KISSLING + ZBINDEN AG INGENIEURE PLANER USIC Tempelstrasse 8A Fon 033 334 20 50 3608 Thun www.kzag.ch martin.andres@kzag.ch	INDERGAND AG Bauherrenunterstützung Raumplanung – Planungs-/Baurecht Chälengasse 26 Fon 079 257 03 39 6053 Alpnachstad u.indergand@indergand-ag.ch

Projektbearbeitung:		
Bauingenieur:	Hydraulik/Geschiebe:	Prüfingenieur:
 SCHUBIGER AG BAUINGENIEURE 6052 Hergiswil Fon 041 632 66 22 6375 Beckenried info@schubiger-nw.ch 6048 Horw www.schubiger-nw.ch	<i>Beffa tognacca gmbh</i> A San Rocch Fon 091 863 44 41 6702 Claro www.fluvial.ch	 DR. VOLLENWEIDER AG GEOTECHNIK GRUNDBAU TUNNELBAU Badenerstrasse 621 Fon 043 343 30 24 8048 Zürich

	Datum:	erst.	gepr.	Dokumentenbezeichnung in Projektmappe	Format:	A4
	13.12.2023	Ry		6.8	Dok. Nr.:	2287-4007a
a	12.04.2024	Ry				
b						
c						
d						

Kanton Nidwalden
Amt für Wald und Naturgefahren

Hochwasserschutz Buholzbach

PRÜFBERICHT BAULICHE SICHERHEIT

Phase Bauprojekt

Sachverständiger: Matthias Ryser

Zürich, 13.12.2023
Dok. Nr. 3204.001

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Beauftragung	2
2. Grundlagen der Prüfung	2
2.1 Grundlagen der Prüfung (Normen, Richtlinien, Regelwerke)	2
3. Umfang der Prüfung	3
3.1 Projektübersicht	3
3.2 Inhalt der Prüfung und Abgrenzung	3
3.3 Geprüfte Bauwerke und Bauteile	4
3.4 Projektunterlagen	5
4. Prüfmethodik	7
5. Ablauf der Prüfung und Bereinigungen am Prüfgegenstand	7
6. Zusammenfassung der Prüfergebnisse	8
6.1 Unterlagen	8
6.2 Geotechnischer Bericht	9
6.3 Annahmen zu Hochwasser, Geschiebe- und Murgangablagerungen	9
6.4 Baustoffe und Baugrundmodell	9
6.5 Einwirkungen	10
6.6 Gefährdungsbilder bzw. Lastfälle	10
6.7 Abschlussbauwerk	10
6.8 Leitdamm Süd	13
6.9 Böschungen Stauraum (Leitdamm Nord)	14
7. Zusammenfassung und Empfehlungen	15

1. **Beauftragung**

- Auftraggeber: Kanton Nidwalden
Landwirtschafts- und Umweltdirektion
Amt für Wald und Naturgefahren
Buochserstrasse 1
6371 Stans
- PL Bauherr: Kissling und Zbinden AG
Tempelstrasse 8A
3608 Thun
- Projektverfasser: Schubiger AG Bauingenieure
Müliweg 2
8052 Hergiswil
- Sachverständiger: Dr. Vollenweider AG, Matthias Ryser
- Auftrag: Prüfung der baulichen Sicherheit des geplanten Geschiebe- und Hochwasserrückhaltebauwerks gemäss unserer Offerte vom 03.04.2023.

2. **Grundlagen der Prüfung**

2.1 **Grundlagen der Prüfung (Normen, Richtlinien, Regelwerke)**

- [1] Tragwerksnormen SIA 260-267 (aktuelle Ausgaben 2013, 2014 bzw. 2020)
- [2] Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil A: Allgemeines. Version 2.0 vom 01.03.2015, Bundesamt für Energie BFE
- [3] Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil B: Besonderes Gefährdungspotential als Unterstellungskriterium. Version 2.0 vom 26.04.2014, Bundesamt für Energie BFE
- [4] Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil C1: Planung und Bau. Version 2.1 vom 28.08.2017, Bundesamt für Energie BFE
- [5] Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil C2: Hochwassersicherheit und Stauseeabsenkung. Version 2.02 vom 03.10.2018, Bundesamt für Energie BFE
- [6] Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil C3: Erdbebensicherheit. Version 2.1 vom 14.07.2021, Bundesamt für Energie BFE
- [7] Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil D: Inbetriebnahme und Betrieb. Version 2.0 vom 30.10.2015, Bundesamt für Energie BFE
- [8] Wegleitung zur Ermittlung der Referenzbodenbeschleunigung vom 14.07.2021, Bundesamt für Energie BFE.

3. Umfang der Prüfung

3.1 Projektübersicht

Der Kanton Nidwalden plant im Rahmen des Projekts «Hochwasserschutz Buholzbach» im Mündungsbereich des Buholzbachs die Erstellung eines neuen Geschiebesammlers. Das Stauraumvolumen des neuen Sammlers beträgt rund 80'000 m³ und die Höhe des Abschlussdamms bis zu 10 m.

Aufgrund seiner Dimensionen wird der neue Geschiebesammler dem Stauanlagengesetz unterstellt. Da dieser dem Schutz vor Naturgefahren dient und nur temporär eingestaut wird, wird er der Stauanlagenklasse III zugeordnet.

Das Projekt für den neuen Geschiebesammler umfasst im Wesentlichen die folgenden Bauteile bzw. Bauwerke:

- Abschlussdamm mit integrierter Stahlbeton-Mauer
- Auslaufbauwerk (Betonkonstruktion)
- Entlastungsbauwerk I (Betonkonstruktion)
- Entlastungsbauwerk II (Betonkonstruktion)
- Leitdamm Süd
- Leitdamm Nord
- Brücke Buholz
- Fussgängerbrücke Engelberger Aa

3.2 Inhalt der Prüfung und Abgrenzung

Die Prüfung durch die Dr. Vollenweider AG beschränkt sich inhaltlich auf die bauliche Sicherheit der geplanten Bauwerke (Konzept, Tragsicherheit und Stabilität) auf Stufe Bauprojekt. Die Prüfung des Projekts bezüglich des Hochwasser-Schutzkonzepts erfolgt nicht durch die Dr. Vollenweider AG, sondern durch einen Dritten. Dies betrifft u.a. die folgenden Punkte:

- Festlegung der Schutzziele, Definition der erforderlichen Rückhaltevolumen
- Modellierung Hochwasser und Geschiebe
- Festlegen der Bauwerks-Geometrie inkl. der Überlauf- und Dammkoten
- Festlegung der massgebenden Ablagerungs- und Hochwassererhöhen sowie der Murgang-Einwirkung für die verschiedenen Szenarien (als Grundlage für die Bemessung der Bauwerke).
- Hydraulische Dimensionierung der Bauwerke (Grundablass und Schütz, Abmessungen Tosbecken, Kolkschutz usw.)

Ebenfalls nicht Bestandteil der Prüfung durch die Dr. Vollenweider AG sind sämtliche Aspekte bezüglich Betriebsorganisation, Unterhalt und Überwachung der Anlage.

Die folgenden Punkte bzw. Annahmen werden nicht weiter überprüft:

- Geländeverlauf und Geometrie werden als gegeben gemäss den Plänen vorausgesetzt.
- Hochwasserkoten und Geschiebehöhen werden als gegeben gemäss den Angaben in [21.0] bzw. den Projektplänen vorausgesetzt. Ob diese mit den Resultaten der entsprechenden Simulationen übereinstimmen, wird nicht geprüft.

3.3 Geprüfte Bauwerke und Bauteile

Die vorliegende Prüfung beschränkt sich auf die folgenden Bauteile bzw. Bauwerke:

- Abschlussbauwerk, bestehend aus
 - Abschlussmauer mit luftseitiger Anschüttung
 - Auslaufbauwerk
 - Entlastungsbauwerke I und II
- Leitdamm Süd (zwischen Abschlussdamm und Buholzbrücke)
- Böschungen Stauraum (Leitdamm Nord)

Die Brücke über den Buholzbach hat keinen direkten Zusammenhang mit der baulichen Sicherheit des dem Stauanlagengesetz unterstellten Rückhaltebauwerks. Die Brücke wurde daher aus terminlichen Gründen noch nicht geprüft und ist im vorliegenden Bericht nicht behandelt. Falls gewünscht, kann dies zu einem späteren Zeitpunkt separat erfolgen.

Für die Fussgängerbrücke über die Engelberger Aa ist im Rahmen des aktuellen Auftrags keine Prüfung vorgesehen.

3.4 Projektunterlagen

Die Baugrundverhältnisse wurden mit einer zweistufigen projektspezifischen Baugrunduntersuchung erkundet und sind wie folgt dokumentiert:

- [10.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Geologischer Bericht Vorprojekt.
Dok. 05130-27, Geotest AG, 04.07.2017 (Geotest Bericht Nr. 2314070.1).
- [11.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Geologischer Bericht Bauprojekt 2023.
Dok. 2287-52, Geotest AG, 02.06.2023 (Geotest Bericht Nr. 2322377.1).

Folgende Unterlagen Stand Bauprojekt wurden uns am 03.10.2023 vom Projektverfasser zur Prüfung vorgelegt:

- [20.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Technischer Bericht Stauanlage. Dok. 2287-42, Schubiger AG, Entwurf vom 26.09.2023
- [21.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Gefährdungsbilder Stauanlage. Dok. 2287-42.1, Schubiger AG, 26.09.2023
- [22.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Larix-Berechnungen (Geotechnische Nachweise). Dok. 2287-42.2, Schubiger AG, 26.09.2023
- [23.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Axis-Berechnungen Stauanlage.
Dok. 2287-42.3, Schubiger AG, 26.09.2023
- [24.0] Hochwasserschutz Buholzbach, Excel-Berechnungen Stauanlage.
Dok. 2287-42.4, Schubiger AG, 26.09.2023
- [25.0] Hochwasserschutz Buholzbach: Übersichtsplan, Situation 1:1000.
Plan Nr. 2287-401, Schubiger AG, 01.09.2023
- [26.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Leitdamm Nord, Süd, Abschlussbauwerk,
Situation 1:1000. Plan Nr. 2287-431, Schubiger AG, 01.09.2023
- [27.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Leitdamm Nord, Längenprofil 1:500.
Plan Nr. 2287-456, Schubiger AG, 01.09.2023
- [28.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Leitdamm Süd, Längenprofil 1:500.
Plan Nr. 2287-457, Schubiger AG, 01.09.2023
- [29.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Mündungsbereich QP 1-7, Querprofile 1:200.
Plan Nr. 2287-471, Schubiger AG, 01.09.2023
- [30.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Geschieberückhalteraum QP 8-12,
Querprofile 1:200. Plan Nr. 2287-472, Schubiger AG, 01.09.2023
- [31.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Leitdamm Nord und Süd QP 13-18,
Querprofile 1:200. Plan Nr. 2287-473, Schubiger AG, 01.09.2023
- [32.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk, Normalprofile 1:100.
Plan Nr. 2287-492, Schubiger AG, 01.09.2023
- [33.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Leitdamm Nord, Normalprofil 1:100.
Plan Nr. 2287-493, Schubiger AG, 01.09.2023

- [34.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Leitdamm Süd, Normalprofil 1:100.
Plan Nr. 2287-494, Schubiger AG, 01.09.2023
- [35.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Geschieberückhalteraum, Normalprofil 1:100.
Plan Nr. 2287-495, Schubiger AG, 01.09.2023
- [36.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk, Situation 1:500.
Plan Nr. 2287-531, Schubiger AG, 01.09.2023
- [37.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk LP1, Längenprofil 1:200.
Plan Nr. 2287-532, Schubiger AG, 01.09.2023
- [38.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk LP2 bis LP5,
Längenprofile 1:200. Plan Nr. 2287-533, Schubiger AG, 01.09.2023
- [39.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk, Querprofile 1:200.
Plan Nr. 2287-534, Schubiger AG, 01.09.2023

Auf unsere Rückfrage wurden am 21.11.2023 die folgenden Unterlagen nachgereicht:

- [40.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Zusammenstellung der max. Murgang-Ablagerungshöhen (Schub 5), Querprofile 200 bis 206. Schubiger AG, 20./21.09.2023

Nachdem sich nach einer ersten Prüfung gezeigt hat, dass noch gewisse Projektanpassungen nötig sind, wurden uns vom Projektverfasser am 06.12.2023 die folgenden überarbeiteten bzw. ergänzenden Unterlagen zur Prüfung abgegeben:

- [20.1] Hochwasserschutz Buholzbach, Technischer Bericht Stauanlage. Dok. 2287-42, Schubiger AG, Entwurf vom 06.12.2023
- [21.1] Hochwasserschutz Buholzbach, Gefährdungsbilder Stauanlage. Dok. 2287-42.1, Schubiger AG, 06.12.2023
- [32.1] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk, Normalprofile 1:100.
Plan Nr. 2287-492a, Schubiger AG, Entwurf 04.12.2023
- [36.1] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk, Situation 1:500.
Plan Nr. 2287-531a, Schubiger AG, Entwurf 06.12.2023
- [37.1] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk LP1, Längenprofil 1:200.
Plan Nr. 2287-532a, Schubiger AG, Entwurf 22.11.2023
- [38.1] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk LP2 bis LP5,
Längenprofile 1:200. Plan Nr. 2287-533a, Schubiger AG, Entwurf 06.12.2023
- [39.1] Hochwasserschutz Buholzbach. Abschlussbauwerk, Querprofile 1:200.
Plan Nr. 2287-534a, Schubiger AG, Entwurf 06.12.2023
- [41.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Ergänzung Stabilitätsberechnungen (Janbu).
Schubiger AG, 05.12.2023
- [42.0] Hochwasserschutz Buholzbach. Ergänzung Larix-Berechnungen Schnitt 2 (erhöhter Wasserdruck). Schubiger AG, 05.12.2023

4. Prüfmethodik

Für die Prüfung wird die folgende Methodik angewandt:

- Durchsicht der Unterlagen bezüglich Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit;
- Konzeptionelle Prüfung der Bauwerkskonzepte;
- Prüfung der Annahmen für die Bemessung der Bauwerke und der Stabilitätsnachweise auf Übereinstimmung mit den Vorgabedokumenten [1 bis 8] sowie den Projektgrundlagen (Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sowie Wasserspiegel und Ablagerungshöhen)
- Prüfung der Tragsicherheit sowie der gewählten Abmessungen anhand von Erfahrungswerten, einer stichprobenartigen Durchsicht der statischen Berechnungen des Projektverfassers sowie von eigenen (überschlägigen) Berechnungen;

Auf eine detaillierte und vollständige Kontrolle der abgegebenen statischen Berechnungen des Projektverfassers wird verzichtet.

5. Ablauf der Prüfung und Bereinigungen am Prüfgegenstand

Im Zeitraum zwischen Juli und September 2023 wurden die massgebenden Annahmen für die Bemessung der Bauwerke und der Stabilitätsnachweise zwischen Projektverfasser und Sachverständigem bereinigt.

Am 3. Oktober 2023 wurden uns darauf die Projektunterlagen zur Prüfung zugestellt. Nach einer ersten Prüfung hat am 6.11.2023 eine Video-Konferenz zur Besprechung einiger offener Fragen stattgefunden. Die weitere Prüfung hat dann gezeigt, dass insbesondere im Bereich des Auslaufbauwerks noch gewisse Anpassungen nötig sind. Diese wurden vom Projektverfasser umgesetzt und die entsprechend angepassten Unterlagen wurden am 06.12.2023 zur Prüfung eingereicht.

6. Zusammenfassung der Prüfergebnisse

6.1 Unterlagen

Die Unterlagen sind nachvollziehbar und vom Umfang und der Bearbeitungstiefe her ausreichend für die Prüfung der baulichen Sicherheit.

Für das Projekt wurde keine Nutzungsvereinbarung und keine Projektbasis erstellt. Die massgebenden Vorgaben und Annahmen für die Bemessung der Bauwerke und die Stabilitätsnachweise sind jedoch im Technischen Bericht [20.1] aufgeführt. Dies ist grundsätzlich ausreichend. Wir empfehlen aber zu prüfen, ob in der nächsten Projektphase nicht doch eine separate Nutzungsvereinbarung erstellt werden sollte.

Die massgebenden Höhen der Wasserspiegel sowie der Murgang- bzw. Geschiebeablagerungen für die Berechnungsschnitte 1 bis 3 (gemäss Bild 1) sind für die verschiedenen Gefährdungsbilder im Dokument [21.1] zusammengestellt.



Bild 1 Lage der Berechnungsschnitte, Abb. 6 aus [20.1]. Gelb markiert Schnitte 1 bis 3.

Für die übrigen Berechnungsschnitte sind die angenommenen Höhen der Wasserspiegel sowie der Murgang- bzw. Geschiebeablagerungen nur in den eigentlichen Berechnungen ersichtlich. Um die Nachvollziehbarkeit der Annahmen zu verbessern empfehlen wir, entweder Dok. [20.1] oder [21.1] mit einer Tabelle zu ergänzen, in welcher die massgebenden Annahmen für alle Berechnungsschnitte aufgeführt sind. Ebenso empfehlen wir, die Annahmen für die verschiedenen Ablagerungshöhen in den Längenprofilen [27.0], [28.0] und [37.1] einzutragen.

Die für die Berechnungsschnitte verwendeten Bezeichnungen weichen von den Bezeichnungen der entsprechenden Querprofile in den Plänen ab. Um die Nachvollziehbarkeit der Unterlagen zu verbessern, empfehlen wir, die oben vorgeschlagene Tabelle auch mit Verweisen auf die zugehörigen Querprofile und den Bauwerkstyp zu ergänzen (z.B. Berechnungsschnitt 20 = QP 104 = Entlastungsbauwerk II).

6.2 Geotechnischer Bericht

Umfang und Art der Baugrunduntersuchung sowie die Beschreibung von Baugrund- und Grundwasserverhältnissen sind ausreichend. Die angegebenen Baugrundwerte werden als plausibel und zweckmässig beurteilt.

6.3 Annahmen zu Hochwasser, Geschiebe- und Murgangablagerungen

Wie in Kapitel 3 erläutert haben wir die vom Projektverfasser verwendeten Annahmen zu den Hochwasserspiegeln sowie den Geschiebe- und Murgangablagerungen nicht selber geprüft, sondern als Vorgabe vorausgesetzt.

Wir haben aber die im Dokument Gefährdungsbilder [21.1] angegebenen Höhen mit den im Plan der Querprofile 8 - 12 [30.0] eingezeichneten Ablagerungshöhen verglichen. Die Angaben in den beiden Dokumenten erscheinen in sich konsistent.

6.4 Baustoffe und Baugrundmodell

Die für die verschiedenen Bauwerke bzw. Bauteile verwendeten Baustoffe sind im Technischen Bericht [20.1] in Tab. 10 (Beton) und in Tab. 14 (Geogitter) aufgeführt. Die gewählten Baustoffe sind zweckmässig und die angenommenen Kennwerte und Festigkeiten entsprechen den Normvorgaben.

Die in den Berechnungen verwendeten Kennwerte für den anstehenden Baugrund sind im Technischen Bericht [20.1] in den Tab. 12 und 13 aufgeführt, die Kennwerte für die Murgangablagerungen in Tab. 16 und für die Geschiebeablagerungen in Tab. 17. Die Werte sind zweckmässig gewählt, stimmen mit den Grundlagen [11.0] überein und werden als plausibel beurteilt.

Die Modellierung des Baugrunds bzw. die Festlegung der Schichtgrenzen in den einzelnen Berechnungsschnitten ist plausibel und zweckmässig.

6.5 Einwirkungen

Die bei der Bemessung der Bauwerke und die Stabilitätsnachweise betrachteten Einwirkungen sind im Technischen Bericht [20.1] in den Tab. 15 und 16 aufgeführt.

Es werden alle massgebenden Einwirkungen berücksichtigt. Die Annahmen zu den einzelnen Einwirkungen sind zweckmässig und entsprechen den Vorgaben der Stauanlagen-Richtlinie sowie der SIA-Normen. Die Festlegung der Erdbeben-Einwirkungen entspricht den Vorgaben der Stauanlagen-Richtlinie Teil C3 [6] und der entsprechenden Wegleitung des BFE [8].

6.6 Gefährdungsbilder bzw. Lastfälle

Die für die Bemessung der Bauwerke und die Stabilitätsnachweise betrachteten Gefährdungsbilder bzw. Lastfälle sind im Technischen Bericht [20.1] in den Tab. 18 und 19 definiert und in [21.1] für die drei Berechnungsschnitte 1 bis 3 grafisch dargestellt.

Die für die Stabilitätsnachweise in den einzelnen Gefährdungsbildern bzw. Lastfällen berücksichtigten Einwirkungen mit den entsprechenden Lastbeiwerten sind in Tab. 18 festgelegt, die für die Baugrundwerte angesetzten partiellen Widerstandsfaktoren in Tab. 11.

Die für die Bemessung der Stahlbeton-Bauteile in den einzelnen Gefährdungsbildern bzw. Lastfällen berücksichtigten Einwirkungen mit den entsprechenden Lastbeiwerten sind in Tab. 19 festgelegt. Die Ermittlung der Erddrücke erfolgt mit reduzierten Baugrundwerten gemäss Tab. 11 bzw. Vorgabe der Stauanlagen-Richtlinie, so dass auf den Ansatz eines zusätzlichen Lastbeiwerts für die Erddrücke verzichtet werden kann.

Die betrachteten Gefährdungsbilder sind vollständig, zweckmässig festgelegt und entsprechen den Vorgaben der Stauanlagen-Richtlinie Teil C1 sowie der SIA-Normen.

6.7 Abschlussbauwerk

Das Abschlussbauwerk besteht aus einer durchgehenden vertikalen, etwa 4 m bis 12 m hohen Stahlbetonwand, welche auf einer massiven, nach beiden Seiten auskragenden Bodenplatte fundiert wird. Zur Erhöhung des Gleitwiderstands sind unter der Bodenplatte Sporne angeordnet.

In den Normalquerschnitten wird die Mauer luftseitig und teilweise auch wasserseitig mit lokalem Aushubmaterial angeschüttet. Durch die Anschüttung wird die Mauer abgestützt und gleichzeitig wird durch das Gewicht der Schüttung der Gleitwiderstand der gesamten Konstruktion erhöht. Die Fundamentbreite beträgt in den Normalquerschnitten je nach Mauerhöhe rund 5 m bis 12 m.

Beim Auslaufbauwerk fehlen die luft- und wasserseitigen Anschüttungen, bei den beiden Entlastungsbauwerken die luftseitigen Anschüttungen. Die vertikale Mauer wird bei diesen

Bauwerken durch die beiden seitlichen Leitmauern bzw. Leitwerke, welche auch den Übergang zu den anschliessenden Schüttungen bilden, und zwei luftseitig angeordnete Aussteifungsrippen stabilisiert. Luftseitig der vertikalen Mauer ist jeweils ein mit Blöcken ausgelegtes Tosbecken angeordnet, welches vorne mit einer Stahlbetonwand (Vorsperre) abgeschlossen wird. Die Breite der Fundamentplatte inkl. Tosbecken beträgt beim Auslaufbauwerk rund 33 m, bei den Entlastungsbauwerken rund 20 m bzw. 24 m.

Stabilitätsnachweise - äussere Tragsicherheit

Die Nachweise der Gesamtstabilität der Bauwerke bzw. die Nachweise der äusseren Tragsicherheit (Kippen, Gleiten, Grundbruch) wurden vom Projektverfasser in einem ersten Schritt mit dem Stützmauer-Modul der Software LARIX geführt. Die Resultate der entsprechenden Nachweise sind im Technischen Bericht [20.1] in Tab. 20 zusammengestellt.

Im Rahmen einer ersten Prüfung durch den Sachverständigen hat sich aber gezeigt, dass diese Nachweise für die Gesamtstabilität bzw. Gleitsicherheit der Bauwerke nicht auf der sicheren Seite liegen, da der durch die unter der Bodenplatte angeordneten Sporne mobilisierte zusätzliche Gleitwiderstand überschätzt wurde. Der Projektverfasser hat deshalb die Gesamtstabilität bzw. die Gleitsicherheit zusätzlich mit einer Stabilitätsberechnung nachgewiesen (Methode Janbu mit horizontalen Lamellen-Zwischenkräften), welche für die vorliegenden geometrischen Verhältnisse bzw. Bruchkörperformen tendenziell etwas konservative Resultate liefert. Die Resultate der entsprechenden Nachweise sind im Technischen Bericht [20.1] in Tab. 21 zusammengestellt. Gemäss den Resultaten des Projektverfassers sind die Nachweise alle erfüllt. Massgebend wird das Gefährdungsbild Erdbeben, wo die geforderten Sicherheiten mit $F = R_d / E_d = 1.00$ beim Auslaufbauwerk und $F = 1.04$ beim Entlastungsbauwerk I nur noch knapp erfüllt sind.

Die Gesamtstabilität wurde vom Sachverständigen in mehreren Schnitten für ausgewählte Gefährdungsbilder mit unabhängigen Kontrollrechnungen überprüft. Die Kontrollrechnungen bestätigen im Wesentlichen die Resultate des Projektverfassers. Die Gesamtstabilität der Bauwerke kann somit als genügend beurteilt werden.

Allerdings ist nach der Beurteilung des Projektverfassers die Gleitsicherheit bei den beiden Entlastungsbauwerken eher etwas geringer als beim Auslaufbauwerk und nur noch knapp erfüllt. Im Sinne einer besseren Robustheit empfehlen wir deshalb, bei den beiden Entlastungsbauwerken die luftseitige Fundamentplatte über die ganze Länge der Entlastungsbauwerke (inkl. Bereich der Unterhaltszufahrt) mit einer konstanten Breite von 7.0 m bzw. 8.0 m auszuführen und den unter der Fundamentplatte angeordneten Sporn um einen halben Meter nach unten zu verlängern.

Innere Tragsicherheit

Die Nachweise der inneren Tragfähigkeit des Projektverfassers beschränken sich für die aktuelle Projektphase im Wesentlichen auf den Biege- und Querkraftwiderstand der aufgehenden Betonwand und der Bodenplatte bei der Einspannstelle der Wand in die Bodenplatte.

Dazu hat der Projektverfasser in einem ersten Schritt für alle Berechnungsschnitte die auf Wand und Bodenplatte wirkenden Einwirkungen sowie die entsprechenden Beanspruchungen mit dem Stützmauern-Modul der Software LARIX berechnet (ebenes Modell). Gemäss diesen Berechnungen wird für die Bemessung der wasserseitigen Biegebewehrung der Wand das Gefährdungsbild 2.2 (letzter Schub des Murgangs) massgebend, für die luftseitige Bewehrung der Zustand bei leerer Sperre, was wir beides als plausibel beurteilen.

In einem nächsten Schritt wurde das Auslaufbauwerk für das massgebende Gefährdungsbild mit der Software Axis VM dreidimensional modelliert, um den Einfluss der seitlichen Leitwerke und der Rippen zu erfassen. Als Einwirkungen wurden dabei die mit Larix ermittelten Wanddrücke verwendet. Diese Berechnungen zeigen, dass durch die Rippen und Leitwerke die Biege- und Querkraftbeanspruchung im Bereich der Einspannstelle gegenüber der Berechnung am ebenen Modell deutlich reduziert wird. Für die eigentliche Bemessung wurden danach beim Auslaufbauwerk und bei den beiden Entlastungsbauwerken die Beanspruchungen gemäss ebenem Modell für alle Lastfälle mit dem so ermittelten Reduktionsfaktor reduziert.

Für die vertikale Wand ist an der Einspannstelle zur Bodenplatte beidseitig eine Bewehrung $\varnothing 26$ mm mit $s = 150$ mm vorgesehen, für die untere Bewehrung der Bodenplatte ebenfalls, für die obere Bewehrung der Bodenplatte $\varnothing 18$ mm mit $s = 150$ mm. Damit sind gemäss den Berechnungen des Projektverfassers alle Nachweise erfüllt, die entsprechenden Ausnutzungsgrade sind im Technischen Bericht [20.1] in den Abb. 11, 12, 14 und 16 zusammengestellt.

Auf eine detaillierte Kontrolle der Berechnungen des Projektverfassers durch den Sachverständigen wurde verzichtet. Unabhängige, überschlagsmässige Kontrollrechnungen des Sachverständigen haben aber ebenfalls gezeigt, dass die Tragsicherheit der Betonstruktur mit den gewählten Abmessungen grundsätzlich nachgewiesen werden kann.

Die Nachweise der Betonstruktur bzw. der inneren Tragsicherheit müssen aber in der nächsten Projektphase zwingend noch verfeinert und weiter detailliert werden. Dabei sind die folgenden Punkte speziell zu berücksichtigen:

- Im Rahmen der Prüfung hat sich gezeigt, dass bezüglich der korrekten Ermittlung der Einwirkungen mit dem Stützmauer-Modul der Software LARIX gewisse Einschränkungen und Unsicherheiten bestehen, insbesondere beim Wasserdruck. Die massgebenden Einwirkungen auf die vertikale Mauer und die resultierenden Beanspruchungen sind deshalb mindestens für die Lastfälle 2.2 (Murgang) und 3.2 (Erbeben) mit einer unabhängigen Kontrollrechnung (z.B. Ermittlung der Einwirkungen mit Erddruckansätzen von Hand) zu überprüfen.
- Detaillierte Bemessung der vertikalen Mauer (horizontale Bewehrung), der Leitwände und der Rippen beim Auslaufbauwerk sowie den beiden Entlastungsbauwerken.
- Detaillierte Bemessung der unter der Fundamentplatte angeordneten Sporne für den durch diese mobilisierten Schubwiderstand.

- Überprüfung der Tauchwand auf Querbiegung und allenfalls Torsion infolge von unterschiedlichen Einwirkungen wasser- und luftseitig (unterschiedliche Ablagerungshöhen und Wasserstände, dynamische Einwirkungen).

Konstruktive Ausbildung

Bei der Ausführung der Anschüttungen ist darauf zu achten, dass diese luft- und wasserseitig möglichst parallel bzw. gleichmässig eingeschüttet werden, um übermässige einseitige Belastungen der Mauer zu vermeiden.

Damit eine gute Ausführungsqualität der Anschüttung erreicht werden kann, muss die Oberfläche der einzelnen Schüttlagen mit einem Gefälle ausgebildet werden, so dass allfälliges Regenwasser gut abfließen kann. Das Gefälle der Schichten ist deshalb auch bei der wasserseitigen Schüttung von der Mauer weg auszubilden, nicht wie im Normalprofil [32.1] dargestellt zur Mauer hin.

Der Übergang von der Bodenplatte zur aufgehenden Wand stellt bei Winkelstützmauern eine bekannte Schwachstelle dar, da dort beim Betonieren gerne Kiesnester entstehen. Führt das zu einer an dieser Stelle konzentrierten Bewehrungskorrosion, wirkt sich dies massiv auf die Tragsicherheit aus, da die Beanspruchungen an dieser Stelle maximal sind und das Tragsystem keine Redundanz aufweist. Im vorliegenden Fall des Abschlussbauwerks kommt noch dazu, dass ein allfälliger Schaden sehr lange unbemerkt bleiben und sich erst im Falle eines grossen Ereignisses auswirken würde. Aus diesen Gründen empfehlen wir folgendes:

- systematische und strikte Kontrolle des Übergangsbereiches Wand - Bodenplatte auf Kiesnester durch den Projektverfasser bei sämtlichen Betonieretappen
- sorgfältige Instandsetzung allfälliger Kiesnester
- Abkleben der Arbeitsfuge Bodenplatte – Wand mit Combiflex-Band

6.8 Leitdamm Süd

Die Stabilität des Leitdamms Süd wurde vom Projektverfasser mit Stabilitätsberechnungen nachgewiesen. Die entsprechenden Resultate sind im Technischen Bericht [20.1] in den Tab. 22 und 23 zusammengestellt. Massgebend wird der Lastfall Erdbeben.

Gemäss den Nachweisen des Projektverfassers kann die erforderliche Stabilitätssicherheit für alle Lastfälle und Schnitte nachgewiesen werden. Dies wird durch eine unabhängige Kontrollrechnung des Experten im massgebenden QP 200 (Schnitt 3) bestätigt.

Die Dammschüttung muss gemäss statischer Berechnung im unteren (westlichen) Bereich mit einer Bewehrung durch Geogitter Sytec LS 80 PET mit einem Lagenabstand von 0.60 m verstärkt werden. Im Normalprofil [34.0] ist der Lagenabstand zwar korrekt gezeichnet, allerdings falsch beschriftet (1.20 m statt 0.60 m), ebenso im Längenprofil [28.0]. Dies ist auf den Plänen zu korrigieren.

6.9 Böschungen Stauraum (Leitdamm Nord)

Die Stabilität der Böschungen im Bereich des Stauraums wurde vom Projektverfasser an einem repräsentativen, als ungünstig beurteilten Berechnungsschnitt überprüft. Die entsprechenden Resultate sind im Technischen Bericht [20.1] in Tab. 25 zusammengestellt.

Für den Lastfall Erdbeben resultiert eine ungenügende Stabilitätssicherheit. Der Projektverfasser vertritt jedoch die Ansicht, dass dies im vorliegenden Fall akzeptiert werden kann, und zwar aus zwei Gründen:

- Der instabile Bereich der Böschung liegt mehrheitlich im eingestauten Bereich der Böschung oder erstreckt sich nur wenige Meter über den eingestauten Bereich hinaus, so dass bei einer allfälligen Instabilität nicht mit einer relevanten Flutwelle gerechnet werden muss.
- Die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten eines 300-jährlichen Hochwasser- und eines 1000-jährlichen Erdbebenereignisses ist sehr klein.

Der Sachverständige schliesst sich dieser Beurteilung an und empfiehlt, diesbezüglich keine Massnahmen zu treffen.

7. Zusammenfassung und Empfehlungen

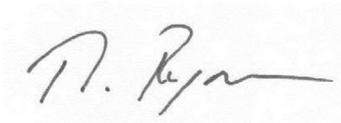
Die Prüfung konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die Prüfung hat ergeben, dass die gewählten Abmessungen und Dimensionen der verschiedenen Bauwerke ausreichend sind und die bauliche Sicherheit des Rückhaltebauwerks gewährleistet ist, unter Voraussetzung einer sorgfältigen, verfeinerten Bemessung der Stahlbeton-Bauwerke in der nächsten Projektphase (vgl. Kap. 6.7) sowie einer fachgerechten und plangemässen Ausführung.

Da die Gesamtstabilität im Bereich der beiden Entlastungsbauwerke als eher knapp eingeschätzt wird, empfiehlt der Sachverständige allerdings geringfügige geometrische Anpassungen an diesen beiden Bauwerken (vgl. Kap. 6.7).

Für die folgenden Projektphasen empfiehlt der Sachverständige zudem, die folgenden Empfehlungen zu berücksichtigen:

- Nutzungsvereinbarung ev. als separates Dokument (Kap. 6.1)
- Verbesserung der Nachvollziehbarkeit der Projektunterlagen (Kap. 6.1)
- Hinweise zur konstruktiven Ausbildung (Kap. 6.7)
- Korrektur der Pläne bezüglich Lagenabstand Geogitter (Kap. 6.8)

Die vorliegende Prüfung beschränkt sich auf die bauliche Sicherheit. Die entsprechenden Annahmen, Voraussetzungen und Abgrenzungen gemäss Kapitel 3 sind zu beachten.



Matthias Ryser
Dr. Vollenweider AG
Geotechnik Grundbau Tunnelbau

Zürich, 13. Dezember 2023

Verteiler: - Schubiger AG
- Dr. Vollenweider AG

per Mail