



Kanton St.Gallen



Gemeinde Balgach

# Hochwasserschutz Dorfbach

Balgach

Abschnitt GN 10 -0.505 km – 0.000 km

Hydraulische Berechnung

## Genehmigungsvermerke

Vom Gemeinderat Balgach erlassen am

öffentlich aufgelegt vom

bis

Gemeindepräsidentin

Ratsschreiberin

Silvia Troxler

Susana Jevremovic

Vom Amt für Wasser und Energie des Kantons St.Gallen genehmigt am

Ausfertigung für		Projekt Nr. 02.084		Plan Nr. 502-2	Beilage Nr. 4
Studie	<div>Projektverfasser</div> <div><div>gruner</div><div><div></div></div></div> <div>Gruner AG Taastrasse 1, CH-9113 Degersheim T: +41 71 372 50 10, F: +41 71 372 50 19 Web: www.gruner.ch</div>	Entw.	Gez.	Gepr.	Datum
Vorprojekt		sta	-	Bg	31.10.2024
Auflageprojekt					
Ausführungsprojekt					
Abschlussakten					
		Format 21 x 30		m <sup>2</sup>	

## Kontrollblatt

Ansprechperson    Andreas Stadler  
Tel. direkt        072 372 50 10  
Email              andreas.stadler@gruner.ch

## Änderungsgeschichte

Version	Änderung	Kürzel	Datum
1.0	Abgabe Bauprojekt	sta	14.10.2022
2.0	Abgabe Auflageprojekt, Erhöhung Rohrdurchmesser	sta	01.03.2024

## Status

Kapitel	Inhalt	Status
---------	--------	--------

## Verteiler

Firma	Name	Anz. Expl.
Gemeinde Balgach	Silvia Troxler	1
Amt für Wasser und Energie (AWE)	Marcel Ammann	1
Gruner AG, Degersheim	Adrian Baumgartner	1

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Hergang	5
1.2	Abgrenzung	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Projektgrundlagen	5
2.2	Literatur und Normen	6
<b>3</b>	<b>Vorgaben</b>	<b>7</b>
3.1	Rauigkeiten	7
3.2	Hochwasserabflüsse	7
3.3	Niedrigabflussmenge	7
3.4	Freibord	8
3.5	Dimensionierung Rohreindolung	8
<b>4</b>	<b>Dateneingabe und Berechnung</b>	<b>9</b>
4.1	Berechnungsansätze	9
4.2	Betriebliche Rauigkeitsbeiwerte	9
<b>5</b>	<b>Resultate</b>	<b>10</b>
5.1	Tabellen Hochwasserabfluss HQ <sub>100</sub>	10
<b>6</b>	<b>Bemerkungen zu den Resultaten</b>	<b>11</b>
6.1	Eindolung Bugglerstrasse (Stat. 0 – 84)	11
6.2	Energievernichtung Bugglerweg (Stat. 84 - 124)	11
6.3	Bohrung Kirche (Stat. 124 – 308)	12
6.4	Steilstrecke Kirchbühlstrasse(Stat. 308 – 444)	12
6.5	Flachstrecke Kreuzung Bülstrasse / Weinbergstrasse (Stat. 444 – 480)	12
6.6	Bachöffnung Bühlstrasse (Stat. 480 – 509)	12
6.7	Druckabfluss Einlaufbereich	13
6.8	HQ <sub>300</sub> –EHQ	14
6.9	Niedrigwasserabfluss	14
<b>7</b>	<b>Verklaunungsgefahr</b>	<b>15</b>
7.1	Ergebnisse	15
7.2	Bemerkungen	15
<b>8</b>	<b>Rohrstatik</b>	<b>16</b>
8.1	DN 800 Kirchbühlstrasse	16
8.2	DN 1000 Bugglerstrasse	16
<b>9</b>	<b>Geschiebehaushalt</b>	<b>17</b>
<b>10</b>	<b>Schwemmholz</b>	<b>17</b>

## **Anhang**

- A Freibordberechnungen
- B Verklausungsnachweise
- C Nachweise Rohrstatik

## 1 Einleitung

### 1.1 Hergang

Der Projekthergang ist im Technischen Bericht zum Bauprojekt beschrieben.

Dieser Bericht fasst sämtliche Abklärungen zur Hydraulik, Rohrstatik und Grundlagen der Dimensionierung des Dorfbaches im Rahmen des Bau- und Auflageprojektes zusammen.

### 1.2 Abgrenzung

In diesem Bericht sind die Berechnungen des Dorfbaches im Projektperimeter Bühlstrasse bis Bild aufgeführt. Die hydraulischen Berechnungen des Wolfs- und Eberliswibaches sind in separaten Berichten abgehandelt.

Der projektierte Gerinneabschnitt wurde isoliert betrachtet. Retentionswirkungen der obliegenden Weiher, Rückstaueffekte aus dem Wolfsbach oder dynamische Auswirkungen von Einleitungen sind nicht abgebildet.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Projektgrundlagen

Für den vorliegenden Bericht sind folgende Projektgrundlagen verwendet worden:

- Dossier Vorprojekt "Hochwasserschutz Dorfbach Balgach",  
Abschnitt "Bühlstrasse bis Bild", Gruner Wepf AG, Buchs, 14.02.2020
- Bauprojekt "Hochwasserschutz Dorfbach", Abschnitt Bühlstrasse bis Bild,  
Gruner Schweiz AG, Degersheim, September 2022
- Ergänzungen der Angaben zum Vorprojekt, Gruner Wepf AG vom 31.03.2020, rev. 22.03.2022
- Bauprojekt "Offenlegung Wolfsbach", Abschnitt Dorfaach bis Bild,  
Gruner Schweiz AG, Degersheim, April 2022
- Geoportal Kanton St. Gallen, diverse Auszüge und Plangrundlagen

## 2.2 Literatur und Normen

Folgende Normen und Fachliteraturen wurden für die Projektbearbeitung herangezogen:

- J. Speerli + A. Huber, Skript Hydraulik, Version HS 2015/16
- J. Speerli, A. Schumacher + St. Berchtold, Skript Wasserbau, Version HS 2017/18
- D. Vischer / A. Huber, Wasserbau, 5. Auflage 1993
- Baudepartement Amt für Wasser und Energie Kanton St. Gallen, Normalien Wasserbau, Stand: 10.10.2017
- Baudepartement Amt für Wasser und Energie Kanton St. Gallen, Merkblatt "Beurteilung der Verklauungsgefahr an Brücken oder Durchlässen", 2017
- Baudepartement Amt für Wasser und Energie Kanton St. Gallen, Merkblatt "Freibord für Gerinne und Gewässerübergänge", 2017
- Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung, BWG/BAFU, 2001
- KOHS, Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen, 2013
- US Army Corps of Engineers, HEC-RAS User's Manual, Version 5.0, Februar 2016

### 3 Vorgaben

#### 3.1 Rauigkeiten

Für die hydraulische Berechnung wurden folgende Rauigkeiten angesetzt. Die Rauigkeiten werden als Manning-Strickler-Beiwert  $k_{Str}$  beziehungsweise als dessen Kehrwert  $n$  angegeben.

$$n = \frac{1}{k_{Str}}$$

Bei Rohrquerschnitten wird zusätzlich die Rauigkeit  $k_B$  nach Colebrook-White angegeben. Die betriebliche Rauigkeit nach SIA 190 berücksichtigt teilweise die Einflüsse der Schachtbauwerke und Einläufe.

Material / Bereich	Bemerkung	Rauigkeit	
		$k_{Str}$ [m <sup>1/3</sup> /s]	$n$
Kiessohle		25	0.040
freie Böschung	bepflanzt	20	0.050
Blocksteinmauer	grobes Bruchsteinmauerwerk	35	0.028
Beton neu	unverputzt, Holzschalung	60	0.016
Beton alt	Raue Oberfläche	50	0.020
		$k_{Str}$ [m <sup>1/3</sup> /s]	$k_B$ [mm]
GFK Rohr	glatt, Schleuderverfahren	95	0.016
Betonrohr neu	Stahlbeton	85	0.800
Betriebliche Rauigkeit	Allg. Kanäle mit Schächten	80	1.000
Betonrohr alt	Berücksichtigung Lebensdauer	70	2.400

Tabelle 1: Rauigkeiten

#### 3.2 Hochwasserabflüsse

Die Hydrologie der einzelnen Teileinzugsgebiete ist im Kurzbericht, "Ergänzungen der Angaben zum Vorprojekt" der Gruner Wepf AG detailliert dargelegt. Für die hydraulischen Berechnungen dienten die folgenden Wassermengen als Grundlage.

Als Dimensionierungshochwasser für den Gewässerabschnitt im Siedlungsgebiet gilt das 100-jährliche Hochwasser  $DHQ = HQ_{100}$ .

Berechnungsknoten	HQ <sub>30</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>300</sub>	EHQ
	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
Einlauf Weinbergstrasse	1.0	2.2	4.1	6.1

Tabelle 2: Hochwasserabflüsse Dorfbach

#### 3.3 Niedrigabflussmenge

Im Projektperimeter wurde für den Dorfbach oberhalb der Weinbergstrasse eine Niedrigabflussmenge  $Q_{347}$  von **2.1 - 4.2 l/s**, bei einem massgebenden Einzugsgebiet von 0.210 km<sup>2</sup> und einer spezifischen Abfluss-spende von 10 - 20 l/s/km<sup>2</sup> festgelegt.

### 3.4 Freibord

Für die offenen Querschnitte soll beim Dimensionierungshochwasser ein Freibord gemäss den Vorgaben des Kantons St. Gallen eingehalten werden. Die detaillierte Darstellung der Eingabegrössen und Berechnungsergebnisse ist im Anhang ersichtlich.

#### Freie Fliessstrecken

Auf den freien Fliessstrecken im Zulaufbereich der Durchlässe oder in den Bachöffnungsabschnitten gilt ein Freibord von:

$$f_{min} \leq f_e = \sqrt{(0.06 + 0.06 h)^2 + \sigma_{wz}^2} \leq f_{max}$$

Mit einer mittleren Abflusshöhe von ca.  $h = 0.33$  m und einer Unschärfe der massgeblichen Sohlenlage (Sohle baulich gesichert) von  $\sigma_{wz} = 0.3$  m ergibt sich ein  $f_e$  von 0.310 m.

- Damit wird das minimale Freibord von **0.5 m** massgebend.

#### Dambereiche

In Dammbereichen gilt gegenüber Geländeeinschnitten ein erhöhtes Freibord:

$$f_{min} \leq f_e = \sqrt{\left(\frac{v^2}{2g}\right)^2 + (0.06 + 0.06 h)^2 + \sigma_{wz}^2} \leq f_{max}$$

Unter Berücksichtigung einer Geschwindigkeit bei Normalabfluss von  $v = 4.40$  m/s ergibt sich ein  $f_e$  von 0.1.034 m.

- Damit wird das minimale Freibord von **1.0 m** massgebend.

### 3.5 Dimensionierung Rohreindolung

Für die Eindolungsstrecke wurde aufgrund folgender Massnahmen und Umstände kein übliches Freibord nach den Anforderungen des Wasserbaus zu Grunde gelegt.

- kaum Schwemmholz (Rechen vor Einlauf)
- kaum Geschiebetrieb (Rückhalt oberhalb)
- keine Kiessohle im Rohr
- lange Eindolungsstrecke, kein kurzer Bachdurchlass

#### Dimensionierung nach SIA 190

Die Rohrhydraulik wird, entsprechend der Siedlungsentwässerung, nach der Norm SIA 190 nachgewiesen. Dabei ist abhängig vom Fliesszustand das zulässige Teilfüllungsverhältnis bei Normalabfluss massgebend.

#### Grundsatz Kapazität Bachdurchlässe

Unter Berücksichtigung von einem nötigen Freibord (20%) sowie einer möglichen Kiessohle / Kiestransport (10%) wird die Dimensionierungswassermenge bei Bachdurchlässen grundsätzlich auf 130 % erhöht.

Somit ergibt sich eine Kapazität für Wasserbauten, im Gegensatz zur Siedlungsentwässerung, welche einem Teilfüllungsverhältnis von rund 0.7 entspricht.

- Als **Zielgrösse** für die Dimensionierung wurde deshalb ein **Teilfüllungsverhältnis** von **0.7** festgelegt.



## 4 Dateneingabe und Berechnung

Die Rohreindolung wurde entsprechend dem Projekt "Hochwasserschutz Dorfbach" in Abschnitte pro Haltung eingeteilt. Die Resultate der jeweiligen Abschnitte sind in der Tabelle im nächsten Kapitel aufgeführt.

### 4.1 Berechnungsansätze

Die Abflusstiefen und Teilfüllungsverhältnisse sind nach den beiden Ansätzen "Strickler" und "Colebrook-White/Darcy-Weisbach" bei Normalabfluss berechnet.

Die Wasserspiegellagen im Einlaufbereich mit der Gewässeröffnung wurden bei Normalabfluss nach Strickler berechnet.

### 4.2 Verwendete Rauigkeitsbeiwerte

Die Herleitung der Rauigkeit wurde in Anlehnung an die betriebliche Rauigkeit nach SIA 190 durchgeführt, welche für Rohrleitungen ohne Einläufe eine Rauigkeit  $k_B = 1.0 \text{ mm}$  resp.  $k_{Str} = 80$  vorgibt.

Mit Einbezug der Lebensdauer des Kanalbauwerks und um ein gutmütiges System zu erhalten, wird für die Dimensionierung der Rohrleitungen eine Rauigkeit  **$k_B = 2.4 \text{ mm}$**  resp.  **$k_{Str} = 70$**  festgelegt.

5 Resultate

5.1 Tabellen Hochwasserabfluss HQ<sub>100</sub>

Rohrangaben								Strickler					Colebrook-White/Darcy-Weisbach					
Haltung	Beschreibung	Nennweite [mm]	Haltungslänge [m]	Gefälle [‰]	Rauigkeit		Szenario	Abfluss [m³/s]	Kapazität Voll [m³/s]	Teilfüllungsverhältnis [-]	Geschwindigkeit teil [m/s]	Froudezahl [-]	Energiehöhe [m]	Kapazität Voll [m³/s]	Teilfüllungsverhältnis [-]	Geschwindigkeit [m/s]	Froudezahl [-]	Energiehöhe [m]
H1	Einlauf Wolfsbach 1	1000	19.21	20.8	70	2.40	HQ100	2.20	3.13	0.61	4.40	1.89	0.99	3.20	0.61	4.40	1.95	0.99
H2	Dorfbach 2-3	1000	5.23	19.1	70	2.40	HQ100	2.20	3.07	0.62	4.34	1.84	0.96	3.13	0.62	4.33	1.90	0.95
H3	Dorfbach 3-4	1000	61.03	19.7	70	2.40	HQ100	2.20	3.07	0.62	4.34	1.84	0.96	3.13	0.62	4.33	1.90	0.95
H4	Dorfbach 4-5	1000	10.05	19.9	70	2.40	HQ100	2.20	3.07	0.62	4.34	1.84	0.96	3.13	0.62	4.33	1.90	0.95
H5	Dorfbach 5-6	1000	27.45	20.0	70	2.40	HQ100	2.20	3.07	0.62	4.34	1.84	0.96	3.13	0.62	4.33	1.90	0.95
H6	Bohrung	900	183.77	43.0	70	2.40	HQ100	2.20	3.40	0.58	5.80	2.75	1.71	3.48	0.57	5.82	2.83	1.73
H7	Dorfbach 7-8	800	37.88	80.0	70	2.40	HQ100	2.20	3.39	0.58	7.32	3.68	2.73	3.48	0.57	7.37	3.79	2.77
H8	Dorfbach 8-9	800	20.18	118.2	70	2.40	HQ100	2.20	4.11	0.51	8.50	4.70	3.68	4.23	0.51	8.56	4.77	3.73
H9	Dorfbach 9-10	800	43.08	139.3	70	2.40	HQ100	2.20	4.46	0.49	9.05	5.19	4.17	4.59	0.49	9.06	5.23	4.18
H10	Dorfbach 10-11	800	35.35	83.8	70	2.40	HQ100	2.20	3.45	0.57	7.43	3.77	2.81	3.55	0.57	7.44	3.87	2.82
H11	Dorfbach 11-12	900	9.82	56.0	70	2.40	HQ100	2.20	3.88	0.53	6.43	3.26	2.11	3.97	0.53	6.42	3.31	2.10
H12	Dorfbach 12-EL	1000	25.13	29.8	70	2.40	HQ100	2.20	3.70	0.55	5.02	2.36	1.28	3.78	0.55	4.99	2.39	1.27

Tabelle 3: Zusammenstellung Hochwasserabfluss Rohrleitungen HQ<sub>100</sub>,

Violett	stark schiessend
---------	------------------

Profil	Beschreibung	Stationierung	Szenario	Abfluss [m³/s]	Wasserspiegel [m ü. M.]	Sohlenhöhe [m ü. M.]	Wassertiefe [m]	kritische Tiefe [m ü. M.]	Energielinie [m ü. M.]	Geschwindigkeit [m/s]	Froudezahl [-]	Schleppspannung [N/m²]	Sohlenbreite	Freibord links [m]	Freibord rechts [m]	Soll-Freibord [m]
D8	Rampe Einlauf	485.00	HQ100	2.20	442.77	442.44	0.33	443.02	443.76	4.41	2.45	513.25	1.00	1.75	1.90	0.5
D9	Beginn Rampe	500.00	HQ100	2.20	446.28	445.78	0.50	446.25	446.44	1.78	0.80	77.53	var.	0.65	1.20	0.5

Tabelle 4: Zusammenstellung Hochwasserabfluss offenes Gerinne HQ<sub>100</sub>

## **6 Bemerkungen zu den Resultaten**

### **6.1 Eindolung Bugglerstrasse (Stat. 0 – 84)**

Der unterste Abschnitt entlang der Bugglerstrasse weist mit rund 20.0 ‰ ein gleichmässiges Gefälle auf. Beim gewählten Rohrdurchmesser von DN 1000 mm ergibt sich bei Dimensionierungsabfluss ein Teilfüllungsverhältnis von 0.62.

#### **EXKURS Rückstau Wolfsbach**

Bei einem Hochwasserereignis im Wolfsbach erzeugt der Wasserspiegel im Rechteckdurchlass einen leichten Rückstau in die Rohreindolung des Dorfbaches. Der Rückstau kann sich bis in die dritte Haltung der Rohreindolung (Dorfbach 3-4) ausbreiten, stört aber nur kurzzeitig den Abfluss des Dorfbaches (Hochwasserspitze) und stellt somit kein Risiko für den Dorfbach dar.

Sowohl die Energielinie der Rohreindolung als auch die des Rechteckdurchlasses liegen bei einem 100-jährigen Ereignis im Bereich der Vereinigung bei rund 415.15 m ü.M.

Es ist allerdings bezüglich der Dimensionierung der einzelnen Bachläufe nicht mit einem gleichzeitigen 100-jährigen Ereignis zu rechnen.

### **6.2 Energievernichtung Bugglerweg (Stat. 84 - 124)**

#### **Energievernichtung in Schachtkammer**

In der geplanten Schachtkammer zur Energievernichtung wird von einem stehenden Wasserspiegel ausgegangen. Der Abfluss wird von 5.82 m/s im Einlauf über die Prallwand auf annähernd 0.00 m/s gebremst. Der Wasserspiegel staut sich in der Schachtkammer (KS 6) auf. Bis zum nächsten Schacht (KS 5) findet aufgrund des steileren Gefälles von 2.0 ‰ ein Übergang zum schiessenden Abfluss statt. Somit wird sich beim Rohreintritt im Auslauf der Schachtkammer theoretisch die kritische Abflusstiefe von 0.84 m (DN 1000 mm) einstellen.

Ein Einstau des Rohrscheitels beim Auslauf der Schachtkammer ist aufgrund von Lufteintrag und Stosswellen nicht auszuschliessen. Deshalb wird bis zum Rohreintritt im Auslauf der Schachtkammer eine Beruhigungsstrecke vorgesehen. Der Belüftung ist besondere Beachtung zu schenken.

Die hier beschriebenen Wasserspiegellagen sind im Detailplan "Spezialschacht Dorfbach 6" eingetragen.

#### **Lufttransport**

Neben dem Reinwasser wird in der langen geschlossenen Haltung des Bohrabschnittes viel Luft mittransportiert (Sogwirkung). Die Luft muss bei einem Einstau des Auslaufes über den Schachtdeckel entweichen können.

#### **Nächste Haltungen**

Die unteren Haltungen (KS 4 – 6) weisen ein Gefälle von rund 20.0 ‰ auf. Die Geschwindigkeit beträgt bei Normalabfluss maximal 4.34 m/s, wodurch die Stosswellen in den folgenden Richtungsänderungen geringer ausfallen.

### **6.3 Bohrung Kirche (Stat. 124 – 308)**

Der grabenlose Abschnitt der Rohreindolung weist ein Gefälle von 43.0 ‰ auf. Bei einem Rohrdurchmesser von DN 800 mm und einer Abflusstiefe von 0.53 Meter kann ein Teilfüllungsverhältnis von 0.7 eingehalten werden. In der langen geraden Strecke der Bohrung wird sich ein Normalabfluss einstellen.

### **6.4 Steilstrecke Kirchbühlstrasse(Stat. 308 – 444)**

In der Steilstrecke entlang der Kirchbühlstrasse treten sehr hohe Geschwindigkeiten von 7.90 – 9.90 m/s auf. Besonders in den beiden Haltungen H8 und H9 erreicht die Abflussgeschwindigkeit aufgrund der Gefälle von über 110 ‰ ein Maximum (9.90 m/s), womit ein leichter Lufteintrag in den Abfluss stattfindet.

Die Teilfüllungsverhältnisse liegen in den kritischen Abschnitten unter 0.6. Das Risiko, dass das Rohr zuschlägt, kann damit bei Dimensionierungsabfluss minimiert werden.

### **EXKURS Schachtabdeckungen**

Die Energielinie liegt in der Steilstrecke teilweise rund 3.0 Meter über der Terrainoberfläche. Im Falle eines Druckstosses (Störung des Abflusses) wird die Bewegungsenergie zu einem stossartigen Anstieg des Wasserspiegels im Schacht führen, der über die Terrainoberfläche reicht. Es besteht somit ein Unfallrisiko, die Deckel sind entsprechend zu sichern.

Neben dem Wasserstrom ist bei diesen hohen Geschwindigkeiten dem Lufttransport Rechnung zu tragen. Um die Luftzirkulation zu verbessern, sind Schachtdeckel mit Lüftungsöffnungen vorzusehen.

### **6.5 Flachstrecke Kreuzung Bülstrasse / Weinbergstrasse (Stat. 444 – 480)**

In der Flachstrecke der obersten zwei Haltungen H11 und H12 wird sich aufgrund der Geschwindigkeitsunterschiede mehrheitlich kein Normalabfluss einstellen. Der Wasserspiegel ist leicht höher anzunehmen. Die Durchmesser wurden aufgrund dieses Umstandes auf DN 900 mm erhöht. Das Teilfüllungsverhältnis bei Normalabfluss liegt mit 0.50 - 0.61 im sicheren Bereich.

### **6.6 Bachöffnung Bühlstrasse (Stat. 480 – 509)**

Der tiefe Geländeeinschnitt im Einlaufbereich führt zu einem grossen vorhandenen Freibord an beiden Böschungen. Vor dem Einlauf staut sich der Wasserspiegel im Bereich der Rechenanlage auf. Mit einer Querschnittsvergrößerung des ersten Rohres kann der Einlauf hydraulisch optimiert werden.

## 6.7 Druckabfluss Einlaufbereich

Die Betrachtung des Druckabflusses im Einlaufbereich der Rohreindolung wird aufgrund der Kapazitätsgrenze der Rohre für ein HQ<sub>300</sub> notwendig.

Die Überstauhöhe im Einlaufbereich bei einer Wassermenge von HQ<sub>300</sub> = 4.1 m<sup>3</sup>/s ergibt sich durch den Auslaufwasserspiegel und die resultierenden Energieverluste bei Eintritt und Rohrreibung. Der Auslaufwasserspiegel wird im Kontrollschacht Dorfbach 12 angenommen, da dort ein Übergang zum Freispiegelabfluss stattfindet.

Die resultierende Höhendifferenz wird nach der folgenden Formel gemäss "Munz" eruiert, welche die Kombination von Einlauf Behälter, Druckleitung und Ausfluss unter Wasser abbildet.

$$\Delta h = \Delta z_{e,E} + \Delta z_{e,R} + \Delta z_{e,A}$$

Im Rohrquerschnitt DN 900 mm resultiert aufgrund der Kontinuität eine Geschwindigkeit  $v_D = 6.44$  m/s und eine Energielinienhöhe  $h_e = 2.11$  m

### Energieverluste

Der Energieverlust bei **Eintritt** ergibt sich aus

$$\Delta z_{e,E} = \xi_E \cdot (v_D^2 / 2 \cdot g) = 0.5 \cdot ((6.44)^2 / 2 \cdot 9.81) = 1.055 \text{ m}$$

Der **Reibungsverlust** ergibt sich aus

$$\Delta z_{e,R} = (v_D^2 \cdot L) / (R^{4/3} \cdot k_{St}^2) = ((6.44^2 \cdot 25) / ((0.225)^{4/3} \cdot (90)^2)) = 0.930 \text{ m}$$

Der Energieverlust bei **Austritt** im Kontrollschacht 12 wird vernachlässigt. Die Wasserspiegelhöhe bei Austritt befindet sich im Rohrscheitel bei 441.90 m ü.M.

### Ergebnis Überstauhöhe

Die resultierende Höhendifferenz der Energielinie beträgt

$$\Delta h = \Delta z_{e,E} + \Delta z_{e,R} + \Delta z_{e,A} = 1.055 + 0.930 = 1.985 \text{ m}$$

Um ein HQ<sub>300</sub> unter Druck abzuleiten, muss sich der Wasserspiegel im Einlaufbereich auf folgende die Höhe aufstauen können:

$$WSP_{300} = h_{WSP,u} + h_{e,u} + \Delta h = 441.90 \text{ m ü.M.} + 2.110 + 1.985 = 445.995 \text{ m ü.M.}$$

### Schlussfolgerung

Der Einlaufbereich der Rohreindolung vermag ein HQ<sub>300</sub> von 4.1 m<sup>3</sup>/s unter Druck nicht abzuleiten. Der nötige eingestaute Wasserspiegel im Einlaufbereich übersteigt die Terrainhöhe von 444.10 m ü.M. um rund 1.90 Meter.

Die maximale Kapazität des Einlaufbereiches liegt, unter Berücksichtigung einer kleinen Brüstung von 30cm über OK Terrain, bei rund **3.2 m<sup>3</sup>/s**.

## **6.8 HQ<sub>300</sub>–EHQ**

### **Offenes Gerinne - Einlaufbereich**

Im Bereich der Gewässeröffnung kann das anfallende Wasser aufgrund der Grabentiefe bei einem EHQ im Gerinne behalten werden. Im Einlaufbereich in die Eindolung wird sich bereits bei einem HQ<sub>300</sub> ein Druckabfluss einstellen und ein Teil des Abflusses über die Ufer treten. Die anfallende Wassermenge bei einem 300-jährigen Ereignis übersteigt die Kapazität des Systems um rund 0.9 m<sup>3</sup>/s.

Der Abfluss gelangt oberflächlich über die Kirchbühlstrasse und schliesslich über die Bergstrasse in Richtung Dorfzentrum.

### **Rohreindolung**

Die Kapazität der Rohreindolung reicht insbesondere in den flachen Abschnitten für den Überlastfall nicht aus. Bei einem HQ<sub>300</sub> wird sich bereits ein Druckabfluss einstellen.

### **Extremhochwasser**

Bei einem Extremhochwasser gelangt ein Grossteil des Abflusses oberflächlich über die Strassen in Richtung Dorfzentrum. Es ist in einem solchen Szenario auch mit einer gleichzeitigen Teilverklausung des Reichens zu rechnen, was die Kapazität der Rohreindolung auf ein Minimum reduziert.

## **6.9 Niedrigwasserabfluss**

Bei Niedrigwasserabfluss (Ausgangswert 4.0 l/s) kann eine minimale Geschwindigkeit von 0.8 m/s grossmehrheitlich eingehalten werden. Einzig in der Haltung H5 wird der Sollwert aufgrund des erhöhten Durchmessers von DN 1000 mm mit 0.78 m/s leicht unterschritten.

## 7 Verklausungsgefahr

### 7.1 Ergebnisse

Die Verklausungsnachweise wurden manuell für die vorhandenen Querschnitte und Abflussszenarien durchgeführt. Die Eingabegrößen für Geschwindigkeit und Wasserspiegel wurden von den Resultaten der Hydraulik übernommen.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Bach	Bezeichnung Durchlass	HQ <sub>30</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>300</sub>
Dorfbach	Einlauf Eindolung Weinbergstrasse	0%	25%	50%

Tabelle 5: Übersicht Verklausung

### 7.2 Bemerkungen

Der Dorfbach wurde als Seitengewässer betrachtet. Bei der Einstufung der Szenarien ist keine Rückhalteanlage für Schwemmholtz berücksichtigt (mögliche Anpassung um eine Stufe).

Eine detaillierte Darstellung der Eingabegrößen und Berechnungsergebnisse vom betrachteten Querschnitt ist im Anhang ersichtlich.

#### Grobrechen Oberlauf

Rund 60 Meter oberhalb des Projektperimeters (unterhalb Plattenweg) wird zur Reduktion des Verklausungsrisikos ein Grobrechen mit einem Stababstand von 40 – 50 cm vorgesehen. Diese Massnahme lässt im Rahmen der Modellierung der Gefahrenkarte nach Massnahmen eine Anpassung der Verklausung um eine Stufe zu.

Beim geplanten Feinrechen vor dem Einlaufbauwerk wird, aufgrund der Lage und der dimensionierten Rechenfläche, von einer neutralen Wirkung bezüglich der Verklausung ausgegangen.

#### Einlauf Eindolung

Im Einlaufbereich der Eindolung ist eine Vergrößerung des Einlaufquerschnittes auf ca. DN 1500 mm mit einer Einlauffrompete vorgesehen. Die Verklausungswahrscheinlichkeiten liegen damit für die Dimensionierung eines Neubaus mit 0 % bei einem HQ<sub>30</sub> und 25 % bei einem HQ<sub>100</sub> im gewünschten Bereich.

Ohne diese Massnahme, bei einem Einlaufquerschnitt von DN 1000 mm, liegt die Verklausungswahrscheinlichkeit bei einem HQ<sub>100</sub> bei 75%.

## **8 Rohrstatik**

Die Rohrstatik wurde nach der SIA Norm 190 nachgewiesen. Folglich sind die Ergebnisse zusammengefasst, die detaillierten Nachweise sind im Anhang ersichtlich.

### **8.1 DN 800 Kirchbühlstrasse**

Der Nachweis der Rohrstatik kann für die Stahlbetonrohre DN 800 mm mit dem SIA-Grabenprofil U2A (Umhüllung mit Beton) erbracht werden.

Bei einer Rohrüberdeckung von 1.50 m und üblichen Strassenverkehrslasten ist die Tragfähigkeit sowie die Gebrauchstauglichkeit problemlos erfüllt.

Ein Grundwasserspiegel wurde nicht berücksichtigt.

### **8.2 DN 1000 Bugglerstrasse**

Der Nachweis der Rohrstatik kann für die Stahlbetonrohre DN 1000 mm mit dem SIA-Grabenprofil U2A (Umhüllung mit Beton) in der Bugglerstrasse erbracht werden.

Bei einer Rohrüberdeckung von 1.00 Meter und üblichen Strassenverkehrslasten ist die Tragfähigkeit sowie die Gebrauchstauglichkeit erfüllt. Stellenweise wird in der Bugglerstrasse die minimale Überdeckung von 1.00 Meter unterschritten. In diesen Abschnitten ist eine Erhöhung des Bettungsprofiles auf U3 zu prüfen.

Ein Grundwasserspiegel wurde nicht berücksichtigt.

### **Kreuzung Bühlstrasse / Weinbergstrasse**

Die Rohrüberdeckung beträgt in der Kreuzung Bühlstrasse / Weinbergstrasse rund 1.60 Meter. Mit der steigenden Überdeckung reduziert sich in diesem Bereich die Belastung auf das Rohr durch die Strassenverkehrslasten massgeblich.

Der Nachweis der Bugglerstrasse gilt demzufolge ebenfalls für die Rohre mit einer Überdeckung von 1.60 Meter.



## 9 Geschiebehaushalt

Der Dorfbach liegt mehrheitlich in bewaldetem Gebiet und weist im Oberlauf des Projektperimeters ein steileres Gefälle auf. Es ist demnach mit Geschiebeeintrag aus dem Einzugsgebiet zu rechnen.

Der gesamte Geschiebeeintrag wird in den kürzlich sanierten Weihern oberhalb des Projektperimeters zurückgehalten. Ein Weitertransport von Sand oder feinem Kies bis zum Projektperimeter ist jedoch nicht auszuschliessen.

## 10 Schwemmholz

Im Oberlauf sind mehrere Waldabschnitte vorhanden. Ein Anfall von Treibgut in Form von Stämmen ist sehr unwahrscheinlich. Der Grossteil des Treibgutes wird entsprechend dem Geschiebe im Bereich der obliegenden Weiher zurückgehalten

Es muss aufgrund der bewaldeten Zwischenstrecke bis zum Projektperimeter mit Ästen von Bäumen und Sträuchern und allenfalls Totholz gerechnet werden. Das anfallende Schwemmholz mit einem Durchmesser >5 cm wird auf eine maximale Länge von 1.5 m geschätzt.

### Gruner AG

Taastrasse 1, 9113 Degersheim

Adrian Baumgartner  
Niederlassungsleiter  
Dipl. Bauingenieur HTL/STV

Andreas Stadler  
Projektingenieur  
BSc Bauingenieur FHO

## **Anhang**

- A Freibordberechnungen
- B Verklausungsnachweise
- C Nachweise Rohrstatik

## Freibordberechnung

HWS Dorfbach, Balgach

D1609

Gewässerabschnitt: Dorfbach  
Betrachtungsquerschnitt: Rampe vor Einlauf

Datum: 22.09.2022  
Erstellt: sta

festen Eingabegrößen (bei $Q_{dim}$ )			HQ <sub>100</sub>
mittlere Abflusstiefe	h	[m]	0.33
mittlere Fließgeschwindigkeit	v	[m/s]	4.4
Froude	Fr	[-]	2.5
Sohlenungenauigkeit	$\sigma_{wz}$	[m]	0.3
Zuschlag aufgrund Schwemmholz	$f_t$	[m]	0.3

Berechnung der verschiedenen Freiborde:

Unschärfen der Wasserspiegellage			h	$\sigma_{wz}$	$\sigma_{wh}$		$f_w$		
			0.33	0.300	0.080		0.310		
Wellenbildung			v					$f_v$	
			4.400					0.987	
Schwemmholz									$f_t$
									0.300

Teilfreiborde geometrisch addiert							0.310	1.034	1.077
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	-------	-------	-------

<b>erforderliches Freibord <math>f_e</math></b>									
freie Fließstrecke		$f_{min}$	0.5		$f_w$		<b>0.5</b>		
in Dammbereichen		$f_{min}$	0.5		$f_w + f_v$			<b>1.0</b>	
unter Brücken und Durchlässen		$f_{max}$	2.5		$f_w + f_v + f_t$				<b>1.1</b>

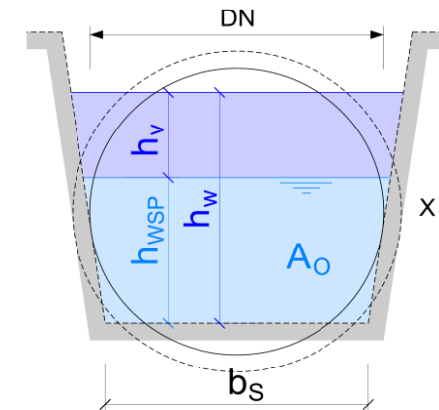
Grundlage: Freibord für Gerinne und Gewässerübergänge, Merkblatt Kanton St.Gallen

**Beurteilung der Verklausungsgefahr      Kreisquerschnitt      HWS Dorfbach      D1609.200**

Gewässerabschnitt: Dorfbach  
 Betrachtungsquerschnitt: Einlauf Eindolung

Datum: 29.09.2022  
 Erstellt: sta

feste Eingabegrößen				Konus		
Sohlenbreite vor Rohr	$b_s$	[m]	1.20			
theor. Böschungsverhältnis (b/h)	x	[-]	0.33			
Rohrdurchmesser	DN	[m]	1.50			
veränderliche Eingabegrößen			HQ30	HQ100	HQ300	
Abfluss	Q	[m <sup>3</sup> /s]	1.00	2.20	4.10	
Fliessgeschwindigkeit Zulauf	$v_o$	[m/s]	3.50	4.40	5.20	
Abflussfläche ( $Q / v_o$ )	$A_o$	[m <sup>2</sup> ]	0.29	0.50	0.79	
Wasserspiegel (berechnet aus $A_o$ )	$h_{WSP}$	[m]	0.22	0.38	0.57	



**Berechnung der verschiedenen Abflusssituationen:**

HQ30	$A_{\text{verfügbar}}$		$h_v$	$h_w$	$A_{\text{benötigt}}$	Verhältnis	Verklausungswahrscheinlichkeit		
	1.767		0.31	0.54	0.739	2.39		0%	

HQ100	$A_{\text{verfügbar}}$		$h_v$	$h_w$	$A_{\text{benötigt}}$	Verhältnis	Verklausungswahrscheinlichkeit		
	1.767		0.49	0.87	1.297	1.36		25%	

HQ300	$A_{\text{verfügbar}}$		$h_v$	$h_w$	$A_{\text{benötigt}}$	Verhältnis	Verklausungswahrscheinlichkeit		
	1.767		0.69	1.26	2.034	0.87		50%	

Excel nur Anwendbar für Rohrquerschnitte

Grundlage: Beurteilung der Verklausungsgefahr an Brücken oder Durchlässen, Amt für Wasser und Energie, Kanton St. Gallen (Juni 2017)

$h_v$  = halbe Energiehöhe

$h_w = h_{WSP} + h_v$

n.R. = nicht Relevant

# Ergebnisse

## Projektdaten

Kundenname	Gemeinde Balgach
Projekt	Hochwasserschutz Dorfbach
Abschnitt	Buglerstrasse
Nummer	
Sachbearbeiter	sta
Datum	06.02.2024
Bemerkung	Geringe Überdeckung: Radlast wirkt senkrecht auf Rohr, $(H+a/d_a) < 2$ = nicht voller seitlicher Erddruck durch Radlast möglich, Reserve bei Dimensionierung oder Wahl des Profiles

## System Übersicht

### Rohrwerte Betonrohr

Produkt		Creabeton	
Rohrtyp	DN	1000	mm
Festigkeitsklasse	FK	165	
Kurzzeit E-Modul Rohr	$E_{R\text{ KURZ}}$	30000	N/mm <sup>2</sup>

### Querschnittswerte Betonrohr

Radius	r	0.56	m
Wandstärke	e	0.12	m
Sohlenbeton	$s_u$	0.30	m
Hüllbeton über dem Rohr bei Profil 4	$s_o$	0.15	m
Durchmesser innen	$d_i$	1.00	m
Durchmesser aussen	$d_a$	1.23	m
Querschnittswerte	A	0.1150	m <sup>2</sup>
Widerstandsmoment	W	0.0022	m <sup>3</sup>

SIA 190 Art. 5.3.2.3 massgebend

Profil	U/V	2.5	
--------	-----	-----	--

Systemsteifigkeit	SF	18.286	steif
-------------------	----	--------	-------

### Überdeckungshöhe

Überdeckungshöhe	H	1	m
OK Terrain - OK Rohrsohle		2.115	m

### Boden

Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	2	N/mm <sup>2</sup>
Erddruckbeiwert	K	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	$C_2$	1	-

<b>Beton</b>	$\sigma$	-0.3	N/mm <sup>2</sup>
--------------	----------	------	-------------------

Beton: C16/20: -0.3; C20/25: -0.35; C25/30: -0.4; C30/37: -0.45

### Lastfälle

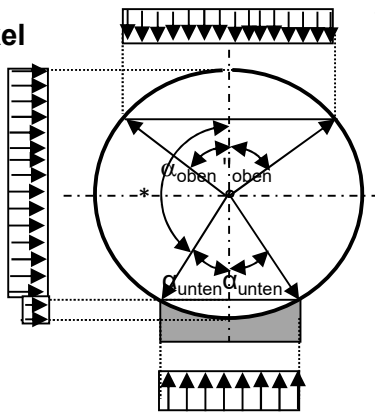
Flächenlast	nein	q	100	kN/m <sup>2</sup>
Strassenverkehr	$\psi$	1.20	alpha	0.9
Grundwasser	nein			
Druckleitung	Rohr leer			

Lagerungstyp	Profil	2a	rad	Grad
Lastausbreitungswinkel über dem Rohr	$\alpha_{\text{oben}}$		1.5708	90
Lastausbreitungswinkel unten	$\alpha_{\text{unten}}$		1.5708	90
Winkel für die Erddruck-Wirkungshöhe	$\delta$		1.5708	90

### Lastausbreitungswinkel

$\delta$ : Winkel für die Erddruck-Wirkungshöhe

$180 - \delta$ : Winkel für die Stützdruck-Wirkungshöhe



Vertikale Einwirkungen

$\alpha_{\text{oben}}$ : Winkel für die Lastausbreitung über dem Rohr

$\alpha_{\text{unten}}$ : Winkel für die Rohrauflagerung

Sohlpressung

### Weitere Kenngrößen in Abhängigkeit des Profils

ZE-Wert	3.00
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	1.00
Ausladungsziffer $C_3$	0.50
$C_1 = C_2 C_3$	0.50
Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{max}}$	1.55

### Lastvergrößerung

Lastvergrößerungsfaktor f	1.103
---------------------------	-------

### Rohrkrümmung

aussen	$\alpha_{\text{ka}}$	0.9312
innen	$\alpha_{\text{ki}}$	1.0688

### Erd- bzw. Stützdruckbeiwerte

K	0.5
$K_{\text{Rad}}$	0.07
$K_{\text{st}}$	0.50

## Einwirkungen

### Vertikale Einwirkungen

#### Eigengewicht Rohr

Gewicht pro m <sup>2</sup>	g	$e \gamma_R$	2.76	kN/m <sup>2</sup>
Rohrgewicht	G	$2 \pi r g$	9.67	kN/m
Auftrieb bei Grundwasser	F <sub>A</sub>		0.00	kN/m
Zusatzgewicht bei vollem Rohr	G <sub>w</sub>	$\gamma_w \pi 1/4 d_i^2$	0.00	kN/m

#### Erdaufasten

Effektive Erdaufast ab OK Terrain bis Rohrscheitel	q <sub>s Erde</sub>	$\sigma_{v\text{Erde}} \lambda f$	34.30	kN/m <sup>2</sup>
--	---------------------	-----------------------------------	-------	-------------------

#### Flächenlast

Auflast	q	0	kN/m <sup>2</sup>
Tiefe unter OK Terrain	t	0	m
Länge belastete Fläche x-Richtung	a	0	m
Breite belastete Fläche y-Richtung	b	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	x	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	y	0	m
Spannung auf Niveau Rohrscheitel	$\sigma = \sigma f$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

Fundament zu tief

Ständige Lasten auf Rohrscheitel	q <sub>s1</sub>	34.30	kN/m <sup>2</sup>
----------------------------------	-----------------	-------	-------------------

### Verkehrslasten

Art der Verkehrslast	B1: Strassenverkehr
Alpha-Wert:	0.9
Dynamischer Beiwert	1.20

#### Strassenverkehrslast: ungünstigste Stellung

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p_{vR}$	54.01	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslasten - Radlast	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p_{vT}$	50.59	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslasten	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2i</sub>	$\alpha \psi f p_{vG}$	104.60	kN/m <sup>2</sup>

#### Strassenverkehrslast: Strassenrand

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p_{vR}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslasten - Radlast	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p_{vT}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslasten	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2i</sub>	$\alpha \psi f p_{vG}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Untergeordnete Strasse

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p_{vR}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslasten - Radlast	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p_{vT}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Nebenstrassenverkehrslasten	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2i</sub>	$\alpha \psi f p_{vG}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

### Eisenbahnlasten

eingleisig	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p_{vB}$	0.00	$\text{kN/m}^2$
mehrgleisig	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p_{vB}$	0.00	$\text{kN/m}^2$
schmalspur	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p_{vB}$	0.00	$\text{kN/m}^2$

### Übersicht vertikale Lasten

Ständige Lasten auf Rohrscheitel	$q_{s1}$	34.30	$\text{kN/m}^2$
Verkehrslasten auf Rohrscheitel	$q_{s2}$	104.60	$\text{kN/m}^2$

### Überlagerung vertikale Einwirkungen

Alle Vertikallasten auf dem Scheitel	$q_{ser}$	$q_{s1} + q_{s2}$	138.90	$\text{kN/m}^2$
Für Tragsicherheit: totale Vertikallast auf Rohrscheitel (Lastfaktoren gem. SIA 260 Tab 1)	$q_{ds}$	$1,5q_{s2} + 1,35(q_{s1} + \sigma)$	203.21	$\text{kN/m}^2$

### Horizontale Einwirkungen

Erddruck vom Scheitel bis $\delta$ , effektiv	$q_h$	$K(q_{s1} + q_{s2 \text{ Teil}}) + K_{rad} q_{s2 \text{ Rad}}$	46.18	$\text{kN/m}^2$
Stützdruck von $\delta$ bis $180^\circ$	$q_{stutz}$	$KSt (q_{s1} + q_{s2})$	69.45	$\text{kN/m}$

### Spezielle Einwirkungen

#### Wasser

##### Grundwasser

Grundwasser ja/nein		nein	
Wasserspiegel ab OK Terrain	$h_w$	0	m
WSp. über Mitte Rohrwand oben	$\Delta h$	0	m
Wasserdruck Mitte Rohrwand oben	$w_s$	0	$\text{kN/m}^2$

##### Druckleitung

Volles Rohr ja/nein		nein	
Wasserüberdruck innen über Rohrscheitel	$\Delta p_{wi}$	0	$\text{kN/m}^2$



## Nachweise

### 1. Verformungsnachweis

>>>> entfällt bei steifen Rohren

### 2. Tragfähigkeitsnachweis

Bemessungswert vertikale Einwirkung	$q_{ds}$	203.21	$\text{kN/m}^2$
Aussendurchmesser $d_a$	$d_a$	1.23	m
Bemessungswert als Linienlast	$q_{ds}^\circ = q_{ds} d_a$	249.95	$\text{kN/m}$
Scheiteldruckfestigkeit	$q_{Br}$	165.00	$\text{kN/m}$
Tragfähigkeit	$ZE q_{Br}/1.2$	412.5	$\text{kN/m}$

Ist die Tragfähigkeit erfüllt/ nicht erfüllt ?	$q_{ds}^\circ$	249.95	$q_{ds}^\circ < ZE q_{Br}/1.2$	412.5	erfüllt
--	----------------	--------	--------------------------------	-------	---------

### 3. Auftriebsstabilität

Erdauflast plus Spickel (ohne $\lambda_{max}$ )	$G+G'$	27.85	$\text{kN/m}$
leeres Rohr	$G_R$	9.67	$\text{kN/m}$
Total		37.51	$\text{kN/m}$
Total stabilisierend, abgemindert	$0.9(G+G'+G_R)$	33.76	$\text{kN/m}$

Auftriebskraft	$F_A$	0.00	$\text{kN/m}$
Vergrösserte Auftriebskraft	$1.05 F_A$	0.00	$\text{kN/m}$

Ist die Stabilität erfüllt?		0.00	$1.05 F_A < 0.9(G+G'+G_R)$	33.76	erfüllt
-----------------------------	--	------	----------------------------	-------	---------

#### 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis Betonrohr

##### Schnittkräfte

Normalkräfte in kN/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	-0.77	0.31	2.42	3.11	0.77
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	-8.22	32.91	77.44	60.57	8.22
Sohlpressung infolge Linienlagerung	8.73	6.17	0.00	-23.21	-8.73
Erddruck	20.28	9.01	0.00	3.86	5.46
Stützdruck	8.22	5.81	0.00	13.55	30.50
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Normalkräfte</b>	<b>28.24</b>	<b>54.21</b>	<b>79.86</b>	<b>57.88</b>	<b>36.22</b>

Druck = positiv

Zug = negativ

Momente in kNm/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	0.43	0.08	-0.49	-0.27	1.29
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	12.93	0.79	-13.24	-3.83	25.35
Sohlpressung infolge Linienlagerung	-2.27	-0.84	2.60	4.07	-15.47
Erddruck	-2.34	0.36	1.79	-0.36	-1.25
Stützdruck	-1.88	-0.54	2.70	0.54	-3.51
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Momente</b>	<b>6.87</b>	<b>-0.15</b>	<b>-6.64</b>	<b>0.15</b>	<b>6.41</b>

Positives Biegemoment: Zug innen; Druck aussen

Negatives Biegemoment: Zug aussen; Druck innen

**Spannungsnachweis Betonrohr (inkl. Krümmung)****Grenzwert der Spannung beim Betonrohr** $-6.00 \text{ N/mm}^2$ 

Spannungen in $\text{N/mm}^2$	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
infolge Normalkraft	0.25	0.47	0.69	0.50	0.31
infolge Moment aussen	2.90	-0.06	-2.80	0.06	2.71
infolge Moment innen	-3.33	0.07	3.22	-0.07	-3.11

Randspannungen in $\text{N/mm}^2$	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
Spannungen aussen	3.15	0.41	-2.11	0.57	3.02
Spannungen innen	-3.09	0.55	3.91	0.43	-2.79

Spannungsnachweis OK/ Nicht OK	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

**Zugkraft im Sohlenbeton zur Aufnahme der Stützdruck-Kraft**

Biegezugrand-Grenzsp. im Hüllbeton	$\sigma_{gr}$	-0.3	$\text{N/mm}^2$
Zugkraft infolge Stützdruckkraft	$Z_{stutz}$	-38.72	kN
Dicke Hüllbeton über dem Rohr	$s_o$	0.15	m
Dicke Sohlenbeton gemäss Norm	$s_u$	0.30	m

Spannungen im Sohlenbeton	$\sigma_u$	-0.129	$\sigma_{vorh} < \sigma_{gr}$	-0.3000	erfüllt

**Hinweis:***Diese Nachweise machen keine Aussagen über:*

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung

# Ergebnisse

## Projektdaten

Kundenname	Gemeinde Balgach
Projekt	Hochwasserschutz Dorfbach
Abschnitt	Kirchbühlstrasse
Nummer	
Sachbearbeiter	sta
Datum	06.02.2024
Bemerkung	

## System Übersicht

### Rohrwerte Betonrohr

Produkt		Creabeton	
Rohrtyp	DN	800	mm
Festigkeitsklasse	FK	165	
Kurzzeit E-Modul Rohr	$E_{R\text{ KURZ}}$	30000	N/mm <sup>2</sup>

### Querschnittswerte Betonrohr

Radius	r	0.45	m
Wandstärke	e	0.10	m
Sohlenbeton	$s_u$	0.20	m
Hüllbeton über dem Rohr bei Profil 4	$s_o$	0.15	m
Durchmesser innen	$d_i$	0.80	m
Durchmesser aussen	$d_a$	0.99	m
Querschnittswerte	A	0.0950	m <sup>2</sup>
Widerstandsmoment	W	0.0015	m <sup>3</sup>

Profil	U/V	2.5	
--------	-----	-----	--

Systemsteifigkeit	SF	19.932	steif
-------------------	----	--------	-------

### Überdeckungshöhe

Überdeckungshöhe	H	1.6	m
OK Terrain - OK Rohrsohle		2.495	m

### Boden

Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	2	N/mm <sup>2</sup>
Erddruckbeiwert	K	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	$C_2$	1	-

<b>Beton</b>	$\sigma$	-0.3	N/mm <sup>2</sup>
--------------	----------	------	-------------------

Beton: C16/20: -0.3; C20/25: -0.35; C25/30: -0.4; C30/37: -0.45

### Lastfälle

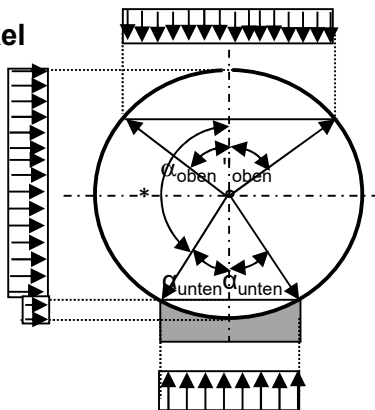
Flächenlast	nein	q	100	kN/m <sup>2</sup>
Strassenverkehr	$\psi$	1.14	alpha	0.9
Grundwasser	nein			
Druckleitung	Rohr leer			

Lagerungstyp	Profil	2a	rad	Grad
Lastausbreitungswinkel über dem Rohr	$\alpha_{\text{oben}}$		1.5708	90
Lastausbreitungswinkel unten	$\alpha_{\text{unten}}$		1.5708	90
Winkel für die Erddruck-Wirkungshöhe	$\delta$		1.5708	90

### Lastausbreitungswinkel

$\delta$ : Winkel für die Erddruck-Wirkungshöhe

$180 - \delta$ : Winkel für die Stützdruck-Wirkungshöhe



Vertikale Einwirkungen

$\alpha_{\text{oben}}$ : Winkel für die Lastausbreitung über dem Rohr

$\alpha_{\text{unten}}$ : Winkel für die Rohrauflagerung

Sohlpressung

### Weitere Kenngrößen in Abhängigkeit des Profils

ZE-Wert	3.00
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	1.00
Ausladungsziffer $C_3$	0.50
$C_1 = C_2 C_3$	0.50
Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{max}}$	1.55

### Lastvergrößerung

Lastvergrößerungsfaktor f	1.106
---------------------------	-------

### Rohrkrümmung

aussen	$\alpha_{\text{ka}}$	0.9292
innen	$\alpha_{\text{ki}}$	1.0708

### Erd- bzw. Stützdruckbeiwerte

K	0.5
$K_{\text{Rad}}$	0.50
$K_{\text{st}}$	0.50

## Einwirkungen

### Vertikale Einwirkungen

#### Eigengewicht Rohr

Gewicht pro m <sup>2</sup>	g	$e \gamma_R$	2.28	kN/m <sup>2</sup>
Rohrgewicht	G	$2 \pi r g$	6.41	kN/m
Auftrieb bei Grundwasser	F <sub>A</sub>		0.00	kN/m
Zusatzgewicht bei vollem Rohr	G <sub>w</sub>	$\gamma_w \pi 1/4 d_i^2$	0.00	kN/m

#### Erdaufasten

Effektive Erdaufast ab OK Terrain bis Rohrscheitel	q <sub>s Erde</sub>	$\sigma_{v\text{Erde}} \lambda f$	55.03	kN/m <sup>2</sup>
--	---------------------	-----------------------------------	-------	-------------------

#### Flächenlast

Auflast	q	0	kN/m <sup>2</sup>
Tiefe unter OK Terrain	t	0	m
Länge belastete Fläche x-Richtung	a	0	m
Breite belastete Fläche y-Richtung	b	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	x	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	y	0	m
Spannung auf Niveau Rohrscheitel	$\sigma = \sigma f$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

Ständige Lasten auf Rohrscheitel	q <sub>s1</sub>	55.03	kN/m <sup>2</sup>
----------------------------------	-----------------	-------	-------------------

### Verkehrslasten

Art der Verkehrslast	B1: Strassenverkehr
Alpha-Wert:	0.9
Dynamischer Beiwert	1.14

#### Strassenverkehrslast: ungünstigste Stellung

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p_{vR}$	20.14	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslasten - Radlast	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p_{vT}$	37.95	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslasten	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2i</sub>	$\alpha \psi f p_{vG}$	58.09	kN/m <sup>2</sup>

#### Strassenverkehrslast: Strassenrand

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p_{vR}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslasten - Radlast	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p_{vT}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslasten	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2i</sub>	$\alpha \psi f p_{vG}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Untergeordnete Strasse

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p_{vR}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslasten - Radlast	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p_{vT}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Nebenstrassenverkehrslasten	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2i</sub>	$\alpha \psi f p_{vG}$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

### Eisenbahnlasten

eingleisig	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p_{vB}$	0.00	$\text{kN/m}^2$
mehrgleisig	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p_{vB}$	0.00	$\text{kN/m}^2$
schmalspur	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p_{vB}$	0.00	$\text{kN/m}^2$

### Übersicht vertikale Lasten

Ständige Lasten auf Rohrscheitel	$q_{s1}$	55.03	$\text{kN/m}^2$
Verkehrslasten auf Rohrscheitel	$q_{s2}$	58.09	$\text{kN/m}^2$

### Überlagerung vertikale Einwirkungen

Alle Vertikallasten auf dem Scheitel	$q_{ser}$	$q_{s1} + q_{s2}$	113.12	$\text{kN/m}^2$
Für Tragsicherheit: totale Vertikallast auf Rohrscheitel (Lastfaktoren gem. SIA 260 Tab 1)	$q_{ds}$	$1,5q_{s2} + 1,35(q_{s1} + \sigma)$	161.43	$\text{kN/m}^2$

### Horizontale Einwirkungen

Erddruck vom Scheitel bis $\delta$ , effektiv	$q_h$	$K(q_{s1} + q_{s2 \text{ Teil}}) + K_{rad} q_{s2 \text{ Rad}}$	56.56	$\text{kN/m}^2$
Stützdruck von $\delta$ bis $180^\circ$	$q_{stutz}$	$KSt (q_{s1} + q_{s2})$	56.56	$\text{kN/m}$

### Spezielle Einwirkungen

#### Wasser

##### Grundwasser

Grundwasser ja/nein		nein	
Wasserspiegel ab OK Terrain	$h_w$	0	m
WSp. über Mitte Rohrwand oben	$\Delta h$	0	m
Wasserdruck Mitte Rohrwand oben	$w_s$	0	$\text{kN/m}^2$

##### Druckleitung

Volles Rohr ja/nein		nein	
Wasserüberdruck innen über Rohrscheitel	$\Delta p_{wi}$	0	$\text{kN/m}^2$

## Nachweise

### 1. Verformungsnachweis

>>>> entfällt bei steifen Rohren

### 2. Tragfähigkeitsnachweis

Bemessungswert vertikale Einwirkung	$q_{ds}$	161.43	$\text{kN/m}^2$
Aussendurchmesser $d_a$	$d_a$	0.99	m
Bemessungswert als Linienlast	$q_{ds}^\circ = q_{ds} d_a$	159.81	$\text{kN/m}$
Scheiteldruckfestigkeit	$q_{Br}$	132.00	$\text{kN/m}$
Tragfähigkeit	$ZE q_{Br}/1.2$	330	$\text{kN/m}$

Ist die Tragfähigkeit erfüllt/ nicht erfüllt ?	$q_{ds}^\circ$	159.81	$q_{ds}^\circ < ZE q_{Br}/1.2$	330	erfüllt
--	----------------	--------	--------------------------------	-----	---------

### 3. Auftriebsstabilität

Erdauflast plus Spickel (ohne $\lambda_{max}$ )	$G+G'$	33.78	$\text{kN/m}$
leeres Rohr	$G_R$	6.41	$\text{kN/m}$
Total		40.19	$\text{kN/m}$
Total stabilisierend, abgemindert	$0.9(G+G'+G_R)$	36.17	$\text{kN/m}$

Auftriebskraft	$F_A$	0.00	$\text{kN/m}$
Vergrösserte Auftriebskraft	$1.05 F_A$	0.00	$\text{kN/m}$

Ist die Stabilität erfüllt?		0.00	$1.05 F_A < 0.9(G+G'+G_R)$	36.17	erfüllt
-----------------------------	--	------	----------------------------	-------	---------



#### 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis Betonrohr

##### Schnittkräfte

Normalkräfte in kN/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	-0.51	0.21	1.60	2.06	0.51
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	-5.37	21.51	50.62	39.59	5.37
Sohlpressung infolge Linienlagerung	5.71	4.04	0.00	-15.18	-5.71
Erddruck	19.94	8.86	0.00	3.80	5.37
Stützdruck	5.37	3.80	0.00	8.86	19.94
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Normalkräfte</b>	<b>25.14</b>	<b>38.41</b>	<b>52.22</b>	<b>39.12</b>	<b>25.48</b>

Druck = positiv

Zug = negativ

Momente in kNm/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	0.23	0.04	-0.26	-0.14	0.68
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	6.78	0.41	-6.95	-2.01	13.30
Sohlpressung infolge Linienlagerung	-1.19	-0.44	1.37	2.14	-8.12
Erddruck	-1.84	0.28	1.42	-0.28	-0.99
Stützdruck	-0.99	-0.28	1.42	0.28	-1.84
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Momente</b>	<b>2.99</b>	<b>0.02</b>	<b>-3.01</b>	<b>-0.02</b>	<b>3.03</b>

Positives Biegemoment: Zug innen; Druck aussen

Negatives Biegemoment: Zug aussen; Druck innen

**Spannungsnachweis Betonrohr (inkl. Krümmung)****Grenzwert der Spannung beim Betonrohr** $-6.00 \text{ N/mm}^2$ 

Spannungen in $\text{N/mm}^2$	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
infolge Normalkraft	0.26	0.40	0.55	0.41	0.27
infolge Moment aussen	1.85	0.01	-1.86	-0.01	1.87
infolge Moment innen	-2.13	-0.01	2.14	0.01	-2.16

Randspannungen in $\text{N/mm}^2$	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
Spannungen aussen	2.11	0.41	-1.31	0.40	2.14
Spannungen innen	-1.86	0.39	2.69	0.42	-1.89

Spannungsnachweis OK/ Nicht OK	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

**Zugkraft im Sohlenbeton zur Aufnahme der Stützdruck-Kraft**

Biegezugrand-Grenzsp. im Hüllbeton	$\sigma_{gr}$	-0.3	$\text{N/mm}^2$
Zugkraft infolge Stützdruckkraft	$Z_{stutz}$	-25.31	kN
Dicke Hüllbeton über dem Rohr	so	0.15	m
Dicke Sohlenbeton gemäss Norm	su	0.20	m

Spannungen im Sohlenbeton	$\sigma_u$	-0.127	$\sigma_{vorh} < \sigma_{gr}$	-0.3000	erfüllt

**Hinweis:****Diese Nachweise machen keine Aussagen über:**

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung