Kanton St.Gallen

Gemeinde Berneck

Gemeinde Au

Littenbach / Äächeli

Hochwasserschutzmassnahmen

Dossier 01 Wasserbau

Technischer Bericht

Vorprüfung
31.10.2020

Ausfertigung für		Projekt Nr.		Plan Nr.	Beilage Nr.
		2.043		01-001	
Studie	**Projektverfasser**	**Entw.**	**Gez.**	**Gepr.**	**Datum**
Vorprojekt	IUB Engineering	esa		gmo	31.10.2020
Auflageprojekt					
Ausführungsprojekt					
Abschlussakten	**Belpstrasse 48, PF, CH-3000 Bern 14**				
		Format A4			

Impressum

Auftraggeber

Projektgruppe HWS Littenbach-Äächeli
c/o Gemeinde Berneck
Rathausplatz 1
9442 Berneck

Auftragnehmer

IUB Engineering AG
Belpstrasse 48
3014 Bern

Erstellt:	31.10.2020 / Eva Sauter (esa) 31.10.2020 / Johrina Cron (jcr) 31.10.2020 / Joelle Kitamura (kit) 31.10.2020 / Martin Brunner (mbr, Brunner-Landschaftsarchitekten) 31.10.2020 / Dr. Georg Möller (gmo)
Geprüft:	31.10.2020 / Dr. Georg Möller (gmo)
Freigegeben:	Datum/Name

Auflistung der Änderungen

Version	Datum	Änderungen	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
V0.1	25.02.2019	Inhaltsverzeichnis	gmo	seg	
V1.0	10.12.2019	Entwurf	esa, jcr, kit, gmo	gmo	
V1.1	01.07.2020	Bericht Vorprüfung	esa, mbr, gmo	gmo	
V1.2	31.10.2020	Bericht Vorprüfung rev.	esa, gmo	gmo	

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 13

1.1 Projektperimeter und Ausgangslage 13
1.2 Projektorganisation 14
1.3 Auftrag und Ziele 15

2 Grundlagen 16

2.1 Projektierungsgrundlagen und frühere Studien 16
2.2 Relevante Drittprojekte 20
2.2.1 Laufende Projekte 20
2.2.2 Vorgezogene Massnahmen 21
2.2.3 Provisorische Massnahmen 21
2.2.4 Ausgeführte Projekte 21
2.3 DTM 22

3 Ausgangssituation 23

3.1 Charakteristik des Einzugsgebietes 23
3.2 Historische Ereignisse 24
3.3 Bestehende oder geplante Nutzung 25
3.4 Fruchtfolgeflächen 25
3.5 Geologische Verhältnisse 26
3.6 Hydrogeologische Verhältnisse 29
3.7 Hydrologische Verhältnisse 31
3.8 Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen und -rückhalt 33
3.8.1 Littenbach 33
3.8.2 Äacheli 34
3.9 Bestehende Gerinnekapazität 34
3.10 Gewässerzustand 36
3.10.1 Ökomorphologischer Zustand 36
3.10.2 Littenbach 37
3.10.3 Hinterburgbach 39
3.10.4 Buechholzbach 40
3.10.5 Äächeli 40
3.11 Situationsanalyse Ökologie 41
3.11.1 Naturzustand 41
3.11.2 Referenzzustand und Defizitanalyse 42
3.12 Baumkataster 43
3.13 Belastete Standorte 43
3.14 Schutzobjekte 44
3.15 Gefahrensituation 45
3.16 Bestehende Schutzbauten 46
3.17 Analyse der Schwachstellen entlang der Gewässer 47

4 Projektannahmen 48

4.1 Schutzziele 48
4.2 Schutzdefizite 49
4.3 Massnahmenziele 49
4.4 Festgelegte Dimensionierungsgrössen 50
4.4.1 Abfluss- und Retentionsszenarien 50
4.4.2 Freibord 54

4.4.3 Verklausung 55
4.4.4 Terrestrische Durchgängigkeit 55
4.4.5 Wirkungsziele Ökologie 56

4.5 Gewässerraum 58

4.5.1 Minimale Gewässerraumbreite 58
4.5.2 Planung Gewässerraum und Sondernutzungspläne 59

5 Schadenpotenzial und Risiko 60

6 Dimensionierung 61

6.1 1D hydraulische Berechnungen mit HEC-RAS 61

6.1.1 Modellierung und Ausgabe 61
6.1.2 Wahl und Auswirkung Rauheitsbeiwerte 61
6.1.3 Hydraulische Berechnung Gerinne 62
6.1.4 Auswirkung RBK 65
6.1.5 Auswirkungen Durchlässe SBB 66
6.1.6 Hydraulische Berechnungen Entlastungsstollen 67

6.2 2D hydraulische Berechnungen mit HYDRO_AS 68

6.2.1 IST-Zustand Littenbach 68
6.2.2 Projektzustand mit Retentionsberechnungen 68

6.3 Hydraulische Berechnungen Kiesfang Schlossbrugg 71
6.4 Freibord 73
6.5 Verklausung 73
6.6 Terrestrische Durchgängigkeit 74
6.7 Sedimentationsbecken Klumpen (Littenbach) 76

6.7.1 Gefällsverhältnisse und Auswirkungen RBK 76
6.7.2 Sedimentation 76
6.7.3 Ausbildung Sedimentationsbecken und Absetzwirkung 77
6.7.4 Unterhalt 79

7 Massnahmenplanung 81

7.1 Variantenstudium 81

7.1.1 Burggass 81
7.1.2 Entlastung Kiesfang Schlossbrugg 84
7.1.3 Gerinneausbau 89
7.1.4 Sedimentationsbecken 95
7.1.5 Retentionsräume Kloteren 96
7.1.6 Verkehrsführung 96

7.2 Raumplanerische Massnahmen 98
7.3 Bauliche Massnahmen und Gewässerausbau 99

7.3.1 Littenbach 99
7.3.2 Entlastungsstollen 110
7.3.3 Retentionsräume mit Hinterburg-, Buchholzbach und Äächeli 116
7.3.4 Gewässerausbauten Allgemein 124

7.4 Gestaltung und Begrünung 131

7.4.1 Ufergestaltung 131
7.4.2 Ufermauern und Geländemodellierungen 131
7.4.3 Gerinne und Uferböschungen 132
7.4.4 Bäume und Ufergehölz 133

7.5 Aquatische und terrestrische und Übergangsfunktionen 133

7.5.1 Fischgängigkeit 133
7.5.2 Terrestrische Durchgängigkeit 134
7.6 Messung und Steuerung 137
7.7 Materialbewirtschaftungskonzept und Materialbilanz 138
7.8 Unterhaltsmassnahmen 140
7.8.1 Ökologische Pflege- und Unterhaltsmassnahmen 140
7.8.2 Technische Unterhaltsmassnahmen 143
7.8.3 Verhinderung Mobilisierung Schwemmholz und Schwemmgut 143
7.9 Werkleitungen 143
8 Auswirkungen der Massnahmen 144
8.1 Siedlungen und Nutzungsflächen 144
8.2 Natur und Landschaft 144
8.3 Landwirtschaft 145
8.4 Gewässerökologie und Fischerei 145
8.5 Grundwasser 145
8.6 Waldwirtschaft 145
8.7 Siedlungswasserwirtschaft 146
9 Verbleibende Gefahren und Risiken 147
9.1 Gefahren- und Intensitätskarten 147
9.2 Überlastszenarien 147
9.2.1 Retentionsflächen 147
9.2.2 Versagen einzelner Hochwasserschutzelemente 148
10 Bauprogramm 149
10.1 Grobbauprogramm 149
10.2 Installationsflächen 151
11 Kostenvoranschlag 154
Anhang A Massnahmenplanung 155
Anhang A.1 Entlastungsstollen: Statische Berechnungen 155
Anhang A.1.1 Grundlagen und Kennwerte 155
Anhang A.1.2 Resultate 157
Anhang A.2 Stützmauern: Statische Berechnung 159
Anhang A.3 Alternative Bauverfahren Stützmauer Littenbach 161
Anhang A.3.1 Einfach abgestützter vertikaler Baugrubenabschluss: 161
Anhang A.3.2 Baugrube mit Böschung 163
Anhang A.4 Erddämme: Statische Berechnungen 164
Anhang B 2D Hydraulik-Modell 167
Anhang B.1 Ausgangslage und Grundlagen 167
Anhang B.1.1 Projektperimeter und Randbedingungen Ist-Zustand 167
Anhang B.1.2 Projektperimeter und Randbedingungen Projekt-Zustand 169
Anhang B.1.3 Grundlagen-Daten 175
Anhang B.2 Allgemeines Vorgehen 176
Anhang B.2.1 Hilfsmittel und Programme Modellierung Ist- und Projektzustand 176
Anhang B.2.2 Modellierung hydraulischer Bauwerke 176
Anhang B.3 Ist-Zustand 177

Anhang B.3.1 Herleitung der Grundlage für die Kalibrierung (H-Q-Beziehung) 177
Anhang B.3.2 Kalibrierung: Variation der Rauigkeiten unter Betrachtung verschiedener Abflüsse 180
Anhang B.3.3 Resultate: Rauigkeiten des Ist-Zustandes 180

Anhang B.4 Projekt-Zustand 181

Anhang B.4.1 Annahmen der Rauhigkeiten im Projektzustand 181
Anhang B.4.2 Betrachtete Hochwasser-Szenarien 182
Anhang B.4.3 Betrachtete Retentionsflächen-Konzepte 183
Anhang B.4.4 Resultate 186

Anhang C Hydraulik Bypass Sedimentationsbecken 197

Anhang D Bauprogramm detailliert 198

Zusammenfassung

Im St. Galler Rheintal, nahe des Bodensees fliessen der Littenbach und das Äächeli durch die Gemeinden Berneck und Au linksufrig in den Rheintaler Binnenkanal (RBK). Die besondere Topographie mit einer ausgeprägten Talebene und den steilen Flanken führt zu einer, in Bezug auf etwaige Hochwasser, besonderen Situation. Hochwasserereignisse sind mit Abflussspitzen 1998 um 25 m^3/s, und 2014 sogar 50 m^3/s dokumentiert. Erhebliche Geschiebe- und Schwemmholzmengen treten auf. Das Einzugsgebiet ist natürlich, teilweise bewaldet, mit vielen kleinen Bächen, und zeigt deshalb eine rasche Reaktion auf Niederschlagsereignisse. Gewitter- und Starkniederschlagereignisse bestimmen das Hochwassergeschehen. Der Littenbach und das Äächeli weisen eine zu geringe Abflusskapazität auf, bspw. kann es ab $HQ_{30\text{-Li-Schlossbrugg}}$ = 26 m^3/s zu Überflutungen in Berneck und Au kommen. In der flachen Talebene fehlt die Neigung zur Hochwasserabfuhr. Weiter verschärft wird die Situation durch die starke Abhängigkeit vom Abfluss im RBK. Führt dieser ein Hochwasser ab, kommt es zum Rückstau im Littenbach und Äächeli, und deren Abflusskapazität wird stark reduziert. Schwemmholz- und Geschieberückhalte wurden bereits realisiert, und das Defizit behoben. Die Siedlungsgebiete liegen weitgehend in der blauen und gelben Gefahrenzone, ein hohes Schadenpotential ist vorhanden.

In einer Machbarkeitsstudie sind 2005 die Hauptvarianten "Vollausbau", "Teilausbau mit Entlastung" und "Verlegung" untersucht worden. Der Variantenvergleich weist die Variante "Teilausbau mit Entlastung in Retentionsbecken" als die beste Lösung aus. Das Vorprojekt 2016 arbeitet die Lösung mit den Elementen: Neubau Trenn- und Ausleitbauwerk beim bestehenden Kiesfang Schlossbrugg, Ausbau des Littenbachs vom Ausleitbauwerk bis zur Mündung in den RBK, Neubau Sedimentationsbecken Klumpen inkl. Renaturierung und Naturpark Kobel, Neubau Entlastungskanal und Ausbau Hinterburg-, Buechholz- und Äächeli, Neubau Drosselbauwerk mit den Retentionsräumen 1, 2 & Überlastfall aus. Die geplanten Massnahmen am Kiesfang Schlossbrugg (Schlüsselstelle) mit der Trennung der Abflüsse für den Teilausbau des Littenbachs und die Entlastung in die Retentionsräume wurde an der Hochschule für Technik (HSR) im hydraulischen Modell untersucht und optimiert. In den Stellungnahmen zum Vorprojekt (Kt. SG, BAFU) werden die geplanten Massnahmen als sinnvoll erachtet, verschiedene Punkte wie bspw. der Gewässerraum, die Materialbilanz und die Geschiebe- und Fischgängigkeit sind herzustellen.

Ende 2017 startet die Bearbeitung des vorliegenden Bauprojekts mit der Überprüfung und Ergänzung der Grundlagen. Speziell zu erwähnen sind die Verfeinerung des Digitales Terrain-Modell (DTM) mittels Drohnenbefliegung und terrestrischen Aufnahmen, die Verifikation der Hydrologie (Festlegung Abflussausbauwerte), geologische Untersuchungen und ein Grundwasser-Monitoring. Vom Projektperimeter wurde ein 3D-CAD-Modell aufgebaut, welches als Basis der numerischen 2D Modellierung mit hydro_AS dient. Die Kalibrierung des IST-Zustands des Littenbachs und die Berechnung des Vorprojekts inkl. Retentionsberechnungen werden durchgeführt. Die zentralen Elemente des Hochwasserschutzprojekts, der Teilausbau von Littenbach und Äächeli, die Entlastung Schlossbrugg und die Retentionsräume Kloteren werden bestätigt. Innerhalb des Bauprojektes wurde zusätzlich die Variante Entlastungsstollen ausgearbeitet und der Variante Entlastungskanal (Vorprojekt) gegenübergestellt. Die Variante Entlastungsstollen wurde als vorteilhafter beurteilt, weshalb diese Projektänderung ins Bauprojekt aufgenommen wurde. Die Ausgangssituation bzgl. Gewässerzustand und ökologischer Situationsanalyse wurde dokumentiert.

Aufgrund der parzellenscharfen Planung ab dem Bauprojekt wurden die für den Hochwasserschutz erforderlichen Gerinnequerschnitte innerhalb der Bachparzelle mittels beidseitiger Mauer zur Verfügung gestellt. Dieser harte Uferverbau, mit erheblichen Kosten wurde in einem iterativen Prozess kritisch hinterfragt und weiterentwickelt. Verschiedene Gerinneanpassungen wurden studiert und verworfen. Mit der Erarbeitung des Gewässerraums durch das Raumplanungsbüro ERR hat sich die Möglichkeit ergeben, an manchen Stellen auf Stützmauern zu verzichten und stattdessen auf angrenzenden Parzellen die Gerinne mit Böschung zu planen. Die Stützmauerlänge am Littenbach konnte stark reduziert werden. Der Teilausbau der Gerinneabschnitte kann wie folgt beschrieben werden:

- Littenbach 2'750 - 2'580 m: Sohlabsenkung Durchlass Tramstrasse mit folgender Gerinneverlegung (Gibelkurve) mit flachen Böschungen 1:2

- Littenbach 2'580 - 1'900 m (neu aufgenommen): deutliche Sohlverbreiterung auf rund 4 m variabler Böschungsfuss, variantenreiche Gestaltung, steilere Böschungen (keine zusätzliche Breite verfügbar)
- Littenbach 1'900 – 1'650 m (neu aufgenommen): deutliche Sohlverbreiterung auf ca. 7 m, variabler Böschungskopf und -fuss zur variantenreichen Gestaltung, sehr flache Böschungen (zusätzliche Breite aufgrund Verschmälerung von Weg und Strassen)
- Littenbach 1'650 - 1'150 m: Einmündung Kübach, Sedimentationsbecken bis Ende Naturpark Gerinne mit beidseitigen sehr flachen Böschungen 1:2, deutliche Sohlverbreiterung auf ca. 12 m, variabler Böschungskopf/-fuss, variantenreiche Gestaltung (zusätzliche Breite durch Verschiebung der Kobelstrasse)
- Littenbach 1'150 – 1'000 m: Naturpark bis Walzenhauserstrasse mit der Verbeiterung des Gerinnes abschnittsweise nach links und rechts mit einseitiger Stützmauer 5:1, Sohlbreiten bis 12 m
- Littenbach 1'000 - 840 m: beidseitige Stützmauer 5:1 bei einer Sohlbreite von 8.5 m
- Littenbach 840 - 740 m: beidseitige Aufweitung mit sehr flachen Böschungen mit Zugänglichkeit zum Bach und Teichausbildung
- Littenbach 740 - 35 m: durchgehend einseitige Stützmauern 5:1 (Verlegung Hollandiaweg) und Sohlbreite von 8-9 m, kleinen seitlichen Aufweitungen mit Zugänglichkeit zum Bach
- Buechholzbach: beidseitige Böschung 1:2 / 2:3, Sohlenbreite 1.5 m, rechtseitige Kronenmauer
- Hinterburgbach: beidseitige Böschung 1:2 / 2:3, Sohlenbreite 5-6 m
- Äächeli 1'395 – 650 m: beidseitige Böschung 1:2 / 2:3, Sohlbreite 8 m
- Äächeli 650 – 35 m: beidseitige Böschung 2:3, Sohlbreite 4 m

Alle Gerinneabschnitte sind hinsichtlich der ökologischen Zielsetzungen und der landschaftlichen Aufwertung des Projektgebiets für die Bevölkerung von Berneck und Au mit Erhöhung der Attraktivität, Wahrnehmung und Zugänglichkeit des Gewässers und unter Berücksichtigung der hydrologischen Randbedingungen, der hydraulischen Dimensionierung und des Retentionsverhaltens projektiert. Sogenannte Instream-Massnahmen zur Sohlen- und Ufergestaltung, zur Strukturierung des Gewässers, zur Schaffung von Fischeinständen und zur Erhöhung der Strömungsdiversität wurden angewandt. Wechselseitig sind Lenkbuhnen und Strömungstrichter in die Sohle eingebaut, wo möglich ist auch Totholz eingesetzt. Es ergeben sich pendelnde Niederwasserinnen und strukturreiche Gewässersohlen mit ansprechenden Wasserwechselzonen und grosser Breiten- und Tiefenvarianz. Die teilweise möglichen flachen Böschungen mit standortgerechten Uferbestockungen unterstützen die naturnahe Gerinnegestaltung. Die Längsvernetzung des Gewässers, die terrestrische und aquatische Durchgängigkeit und die Quervernetzung fördert die Biodiversität sowie eine Vernetzung der Lebensräume. Der Naturpark Kobel bietet neuen Naherholungsraum und führt zur ökologischen und landschaftlichen Aufwertung des Gebietes. Hierbei unterstützen der Haslach- und der Kobelsteg die attraktive Gestaltung. Der Kobelsteg ist eine 65 m lange, filigrane, vorgespannte Brücke, welche mit einer Breite von 3.5 m dem Langsamverkehr un der Aussicht über das Gebiet dient. Unterstützt wird dies durch Aufweitungen für Sitzbereichen und einer Treppe als direkten Zugang zum Naturpark Kobel. Der Kobelbach wird in diesem Bereich ausgedolt, fliesst zentral durch den Park und versorgt kleine Teiche im Nebenschluss mit Wasser.

Zur Gewährleistung des Hochwasserschutzes wird der oben beschriebene Teilausbau des Littenbachs auf 24 bzw. 38 m^3/s durch eine Entlastung in das Einzugsgebiet des Äächelis und durch ein Retentionsvolumen im Raum Kloteren ergänzt. Der Hochwasserschutz ist auf HQ_{100} dimensioniert, der Überlastfall (HQ_{300}) kann bordvoll abgeführt werden. Das EHQ kann gutmütig und mit begrenztem Schaden bewältigt werden. Wie im Vorprojekt wird im Kiesfang Schlossbrugg (Schlüsselstelle) Wasser gefasst. Mittels Entlastungsstollen wird der Abfluss in schiessendem Abflussregime (Entlastungskanal, strömend im VP) durch den Rosenberg, unter der Bahnstrasse und bewirtschaftbaren Flächen zur Mündung in den Hinterburgbach geleitet. Das Drosselbauwerk unterhalb der Retentionsflächen reduziert den Abfluss auf 15 m^3/s, welcher dem Maximalabfluss für den Teilausbau des Äächelis im besiedelten Gebiet entspricht. Erreicht die Summe der Abflüsse im Äächeli (Entlastung Littenbach + Hinterburg + Buechholzbach) am Drosselbauwerk 15 m^3/s, beginnt die Füllung der Retentionsräume Kloteren. Für den Fall

des HQ_{100} stehen 172'000 m^3, für HQ_{300} stehen 425'000 m^3 zur Verfügung. Ereignet sich ein EHQ wird zunächst kontrolliert über eine 100 m lange Überfallsektion in Landwirtschaftsland ausgeleitet und später gleichmässig über die gesamte Umrandung der Retentionsräume. Klingt das Hochwasser ab, sinken die Pegel in den Retentionsräumen. Mittels Drainagen wird die Entwässerung in den Bach unterstützt. Der Kiesfang Schlossbrugg bildet auch im Bauprojekt eine Schlüsselstelle. Daher wird ebenso eine Überprüfung der Einlauf- und Trenncharakteristik mittels hydraulischen Modellversuchen empfohlen.

Im gesamten Projektperimeter sind umfangreiche Begleitmassnahmen geplant. Aufgrund der erforderlichen Anpassungen der Gerinne mussten 19 Brücken zum Grossteil neu geplant werden. Hierzu zählen neben wichtigen Strassen- auch Langsamverkehrsverbindungen und das Trassee der SBB. Strassen entlang der Gewässer und in Verbindung mit neu erstellten Brücken wurden geplant. Die Bodenanpassungen durch den Ausbau der Gerinne und den Bau der Dämme wurden im Rahmen eines Meliorationsprojekts beurteilt und geplant. Wo möglich wurden Bodenverbesserungen vorgesehen. Es wurde ein Bericht zum Bodenschutz verfasst, ein Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) erstellt. Im gesamten umfasst das Bau- und Auflageprojekt 9 Dossiers. Die Gefahrenkarte vor Massnahmen ist aktuell in Erarbeitung. Die Gefahrenkarte nach Massnahmen wird auf der Basis des vorliegenden Projekts erstellt.

Für den RBK, als Vorfluter des Littenbachs und Äächelis, ist aktuell das Bauprojekt in Erstellung, die massgebenden Wasserspiegel des RBK (RBK hoch, RBK tief) an den Mündungen des Littenbachs und Äächelis sind koordiniert. Die hydraulischen Verhältnisse in diesen Bächen sind massgeblich durch den RBK bestimmt, sodass sich etwaige Änderungen im Projekt RBK signifikant auf das vorliegende Hochwasserschutzprojekt auswirken.

Planverzeichnis Dossier 1 Wasserbau

Plannr. Bauherr 2.043-xx.yyy	Plannr. IUB 200.57.6000.xx.yyy	Plantitel	Darstellung
Dossier 1 Wasserbau		**Allgemein**	
2.043-01-007	200576000.33-01-007	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Übersicht Wasserbau	1:25'000
Dossier 1 Wasserbau		**Teilprojekt Littenbach**	
2.043-01-010	200576000.33-01-010	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Bestand, Abschnitt 0 - 600 m Situation	1:500
2.043-01-011	200576000.33-01-011	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Bestand, Abschnitt 550 - 1'150 m Situation	1:500
2.043-01-012	200576000.33-01-012	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Bestand, Abschnitt 1'100 - 1'900 m Situation	1:500
2.043-01-013	200576000.33-01-013	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Bestand, Abschnitt 1'850 - 2'750 m Situation	1:500
2.043-01-015	200576000.33-01-015	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 0 - 600 m Situation, Längenprofil	1:500 1:500 / 100
2.043-01-016	200576000.33-01-016	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 550 - 1'150 m Situation, Längenprofil	1:500 1:500 / 100
2.043-01-017	200576000.33-01-017	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 1'100 - 1'900 m Situation, Längenprofil	1:500 1:500 / 100
2.043-01-018	200576000.33-01-018	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 1'850 - 2'750 m Situation, Längenprofil	1:500 1:500 / 100
2.043-01-019	200576000.33-01-019	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 0 - 625 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-020	200576000.33-01-020	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 650 - 1'150 m Technische Querprofile	1:100

Plannr. Bauherr 2.043-xx.yyy	Plannr. IUB 200.57.6000.xx.yyy	Plantitel	Darstellung
2.043-01-021	200576000.33-01-021	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 1'175 - 1'325 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-022	200576000.33-01-022	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 1'350 - 1'625 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-023	200576000.33-01-023	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 1'650 - 2'125 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-024	200576000.33-01-024	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 2'1250 - 2'700 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-025	200576000.33-01-025	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 0 - 1'150 m Gestaltungsprofile	1:100
2.043-01-026	200576000.33-01-026	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach - Ausbauprojekt, Abschnitt 1'150 - 2'700 m Gestaltungsprofile	1:100
Dossier 1 Wasserbau		**Teilprojekt HW-Entlastungsstollen, Entlastungsbauwerk Schlossbrugg & HW-Massnahmen Burggass**	
2.043-01-035	200576000.33-01-035	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Entlastungstollen - Ausbauprojekt Situation, Längenprofil	1:500 1:500 / 100
2.043-01-036	200576000.33-01-036	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Entlastungsstollen - Ausbauprojekt, Einlaufbauwerk, Massnahmen Burggass Situation, Schnitte, Querprofile, Detail	1:100 1:50 1:20
2.043-01-037	200576000.33-01-037	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Entlastungsstollen - Ausbauprojekt, Auslaufbauwerk Situation, Schnitte, Querprofile, Detail	1:100 1:50 1:20
Dossier 1 Wasserbau		**Teilprojekt Äächeli / Hinterburgbach / Buechholzbach / Retentionsraum inkl. Drosselbauwerk**	
2.043-01-040	200576000.33-01-040	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Bestand, Abschnitt 0 - 650 m Situation	1:500
2.043-01-041	200576000.33-01-041	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Bestand, Abschnitt 650 - 1'395 m, Retentionsflächen, Hinterburgbach, Buechholzbach - Bestand Situation	1:1'000

Plannr. Bauherr 2.043-xx.yyy	Plannr. IUB 200.57.6000.xx.yyy	Plantitel	Darstellung
2.043-01-043	200576000.33-01-043	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 0 - 650 m Situation, Längenprofil	1:500 1:500 / 100
2.043-01-044	200576000.33-01-044	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 650 - 1'395 m, Retentionsflächen, Hinterburgbach, Buechholzbach - Ausbau-projekt und Bepflanzung Situation	1:1'000
2.043-01-045	200576000.33-01-045	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt und Bepflanzung, Abschnitt 650 - 1'395 m, Retentionsflächen, Hinterburgbach, Buechholzbach - Aus-bauprojekt und Bepflanzung Längenprofil	1:500 / 100
2.043-01-046	200576000.33-01-046	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt, Abschnitt 0 - 800 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-047	200576000.33-01-047	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt, Abschnitt 825 - 1'395 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-048	200576000.33-01-048	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Hinterburgbach – Ausbauprojekt, Abschnitt 0 – 475 m, Buech-holzbach, Abschnitt 0 – 575 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-049	200576000.33-01-049	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Buechholzbach – Ausbauprojekt, Abschnitt 0 – 575 m Technische Querprofile	1:100
2.043-01-050	200576000.33-01-050	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt, Abschnitt 0 - 1'395 m, Gestaltungsprofile	1:100
2.043-01-051	200576000.33-01-051	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt, Hinterburgbach, Abschnitt 0 – 475 m, Buechholzbach, Abschnitt 0 – 575 m Gestaltungsprofile	1:100
2.043-01-052	200576000.33-01-052	Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen Äächeli - Ausbauprojekt, 650 m Drosselbauwerk Emseren Situation, Schnitte, Querprofile, Detail	1:100 1:50 1:20

1 Einleitung

1.1 Projektperimeter und Ausgangslage

Die Gemeinden Berneck und Au befinden sich im St. Galler Rheintal, linksufrig nahe des Bodensees. Die besondere Topographie mit einer ausgeprägten Talebene und den steilen Flanken führt zu einer, in Bezug auf etwaige Hochwasser, besonderen Situation. Die seitlichen Zuflüsse können aufgrund des heutigen Alpenrheins nicht in diesen entwässern und werden in eigens erstellten Vorflutern in Richtung Bodensee abgeführt. Die Neigungen der Fliessgewässer sind entsprechend sehr gering. Geringe Fliessgeschwindigkeiten und deutlicher Rückstau sind die Folge.

Vermehrt kam es in den vergangenen Jahren in den Gemeinden Berneck und Au SG zu Hochwasserereignissen. Es wurden grössere Schäden durch die Hauptgewässer Littenbach und Äächeli und in Kombination mit dem Vorfluter (Rheintaler Binnenkanal) verursacht. Die Gewässer Littenbach und Äächeli ufern bereits bei einem ca. 30-jährlichen Hochwasser aus.

Während der Vorplanung, bestehend aus Machbarkeit und Vorprojekt [18][26], welche seit einigen Jahren läuft, wurde früh der Einfluss des Rheintaler Binnenkanals festgestellt und als signifikante Einflussgrösse herauskristallisiert. Das Vorprojekt wurde aus diesem Grund für 3 Jahre unterbrochen. Auch die aktuellen Planungen des RBK selbst haben im vorliegenden Projekt zu Diskussionen geführt.

Auf der Basis eines Geschiebe- und Holzrückhaltekonzeptes wurde in den Jahren 2006, 2009 und 2018 der Kiesfang Schlossbrugg ausgebaut und die Rückhalteanlagen Dürrenbommert und Papieri neu erstellt. In diesen Anlagen kann Geschiebe und Holz in der Grössenordnung von 12'000 m^3 zurückgehalten werden.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie [18] wurden verschiedene Lösungsansätze geprüft und es hat sich gezeigt, dass der Hochwasserschutz nur mit einer Kombination aus Rückhalt und Durchleiten, sichergestellt werden kann. Das Konzept sah vor die Wassermenge im Littenbach zu limitieren, das Überschusswasser in Richtung Kloteren abzuleiten und gedrosselt über das Äächeli in den Rheintaler Binnenkanal zu leiten. Das Gebiet Kloteren wird dabei als Retentionsraum genutzt. In der Phase Vorprojekt wurde dieses Konzept verfeinert.

Mit der Abgabe des Vorprojekt-Dossiers im Juni 2016 [26] und der Auswertung aller eingegangenen Stellungnahmen zu diesem Vorprojekt vom Dezember 2016 wurden die Arbeiten auf Stufe Vorprojekt abgeschlossen. Im Zuge der weiteren Planung sind das Bauprojekt (Stand Detailprojekt) und das Auflageprojekt, sowie parallel dazu der Umweltverträglichkeitsbericht und verschiedene Begleitplanungen zu bearbeiten.

1.2 Projektorganisation

Am Littenbach, Äächeli, Hinterburgbach und Buechholzbach sind für den Unterhalt und die Erneuerung die beiden Gemeinden Berneck und Au verantwortlich. Seit 1906 gibt es hierzu das Au-Bernecker-Gewässerkorrektions-Unternehmen. Die Bezeichnung "Littenbach-Aecheli-Unternehmen" stammt aus dem Jahr 1985. Die Anlagen der Melioration der Rheinebene gehören seitdem ebenfalls dazu.

Die auszuführende Projektierung für das Hochwasserschutzprojekt Littenbach-Äächeli werden durch die "Projektgruppe Hochwasserschutz Littenbach - Äächeli" begleitet. Dafür wurde die in Abbildung 1-1 dargestellte Projektorganisation aufgestellt. Um die Anliegen der Gemeinden und des Kantons bei der Projektierung angemessen zu berücksichtigen, finden regelmässige Absprachen im Rahmen der Projektgruppe statt.

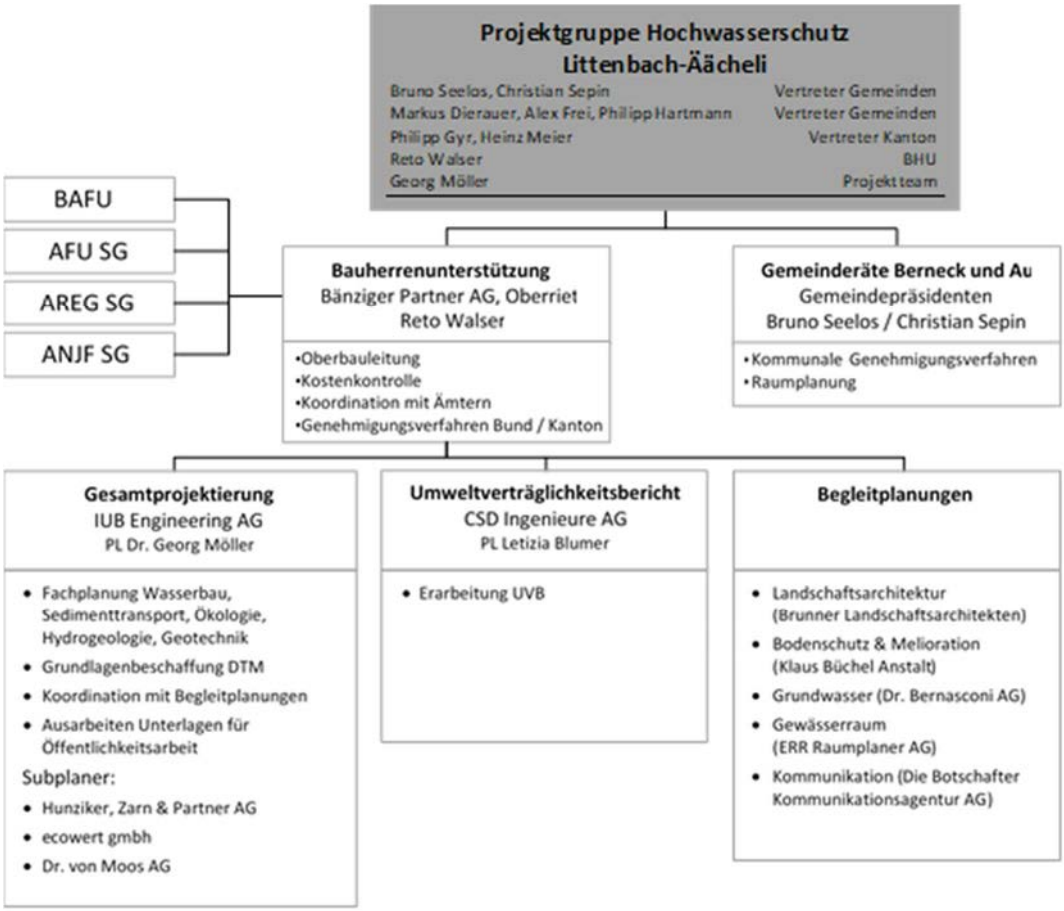


Abbildung 1-1: Projektorganisation Projektgruppe Hochwasserschutz Littenbach

Für die Gesamtprojektleitung wurde IUB Engineering AG beauftragt. Den Umweltverträglichkeitsbericht erstellt CSD Ingenieure AG. Die Landschaftsplanung erfolgt durch Brunner Landschaftsarchitekten und das Bodenschutz- und Meliorationsprojekt wird durch die Klaus Büchel Anstalt erstellt.

1.3 Auftrag und Ziele

Die Politischen Gemeinden Berneck und Au vertreten durch die Projektgruppe Hochwasserschutz Littenbach-Äächeli hat die IUB Engineering AG mit ihren Subplanern Hunziker, Zarn & Partner AG, ecowert gmbh und Dr. von Moos AG am 16.01.2018 mit der Erstellung des Hochwasserschutz Gesamtprojekts beauftragt.

Das Bauprojekt soll zur Vernehmlassung bei Bund und Kanton eingereicht werden. Hierzu sind die in der SIA Norm 103 angegebenen und weitere Leistungen zu erbringen:

- Nutzungsvereinbarung
- Berücksichtigung und Bearbeitung der in den Stellungnahmen erwähnten Hinweise und Forderungen
- Berücksichtigung Begleitplanungen in Plänen und Berichten
- Abklärung Grundeigentümerverhältnisse und Grundbucheinträge
- Dimensionierung Gerinne und Verbauungen (inkl. Nachweise Böschungsstabilität, Geotechnik, hydraulische Kapazitäten)
- Berücksichtigung Grundwasserverhältnisse bei Gerinneaus- und -neubauten (Böschungen und Mauern)
- Dimensionierung bzw. Optimierung Sedimentationsbecken Klumpen
- Bearbeitung ökologischer Aspekte und Massnahmen
- Kostenvoranschlag getrennt nach Bauwerken bzw. Abschnitten und NPK

Folgende Bauwerke werden in separaten Dossiers erarbeitet und beschrieben:

- Brücken Kantonsstrassen
- Brücken Gemeindestrassen
- SBB-Durchlässe Littenbach und Äächeli
- Strassenbau mit Dimensionierung der Strassenkörper, Festlegung Trassierung

Zusätzlich zu den im Vorprojekt vorgesehenen Massnahmen werden in die Planung aufgenommen:

- Massnahmen Burggasse (Verhinderung Ausbruch Littenbach oberhalb Kiesfang Schlossbrugg)
- Gerinneabschnitt Brücke Johannes Dieraurestrasse bis Brücke Auerstrasse (ökologische Aufwertung)

2 Grundlagen

2.1 Projektierungsgrundlagen und frühere Studien

Innerhalb der Projektbearbeitung auf Stufe Bauprojekt wurden eine Vielzahl von Grundlagen miteinbezogen. Es wird auf eine vollständige Auflistung verzichtet. Massgebende Grundlagen für den vorliegenden Technischen Bericht Wasserbau sind:

Allgemein:

[1] Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung des BWG, Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2001

[2] Empfehlungen zum Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilung, Kommission Hochwasserschutz (KOHS), "Wasser Energie Luft" – 105. Jahrgang, Heft 1, Baden, 17.01.2013

[3] Gewässerunterhalt – Informationen über Unterhaltspflicht, - grundsätze und Verfahrensabläufe, Kanton St.Gallen, Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Amt für Wasser und Energie, 13.07.2016

[4] Freibord für Gerinne und Gewässerübergänge, Wasserbau, Merkblatt, Amt für Wasser und Energie, Kanton St. Gallen, 01.07.2017

[5] Brückenquerschnitt, Wasserbau, Normalien, Nr. 6000, Amt für Wasser und Energie, Kanton St. Gallen, 01.07.2017

[6] Beurteilung der Verklausungsgefahr an Brücken oder Durchlässen, Amt für Wasser und Energie, Baudepartement Kanton St. Gallen, Dezember 2017

[7] Fachbeitrag: Revitalisierung "bissiger" Gewässer mit Schlüsselhölzern – Beispiel Scherlibach BE, Verein für Ingenieurbiologie, "Lebendige Gewässer mit Totholz" - Mitteilungsblatt Nr. 2, S. 30-39, Rapperswil, August 2018

[8] Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S, 2018

[9] Schwemmholz in Fliessgewässern. Ein praxisorientiertes Forschungsprojekt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1910: 100 S., 2019

[10] Geoportal Kanton St. Gallen, https://www.geoportal.ch/ktsg, Amt für Raumentwicklung und Geoinformation des Kantons St. Gallen, Dezember 2019

[11] Merkblatt Hochwassersicherheit bei Anlagen der Stauanlagenklasse III, Amt für Wasser und Energie - Naturgefahren, Kanton St.Gallen, ohne Datum

Projektspezifisch – Archiv und aus vorgängigen Projektphasen:

[12] Eigentümerliste/-verzeichnis Gemeinde Au, Stand Juli 2019

[13] Eigentümerliste/-verzeichnis Gemeinde Berneck, Stand Juli 2019

[14] Situationsplan, Längen- und Querprofile des Littenbach, Äächeli, Hinterburgbach, Gewässerarchiv Kanton St. Gallen, Juni 1904 / Okt. 1905 / Okt. 1907.

[15] Gefahrenkarte Littenbach, Technischer Bericht Naturgefahrenanalyse, Ingenieure Bart AG, 08.2003

[16] Littenbach Berneck/Au, Bestimmung Ausbauwassermengen, Ingenieurgemeinschaft Littenbach Berneck, Projekt Nr. 44161 R, 01.10.2004

[17] Gefahrenkarte Littenbach, Technischer Bericht Naturgefahrenanalyse, Niederer+Pozzi, Uznach 2020 (in Erstellung)

[18] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht Machbarkeitsstudie, Ingenieurgemeinschaft Littenbach Berneck, 06.07.2005

[19] Sohlenstabilität Dürrenbommert-Schlossbrugg, Modellberechnungen und Dimensionierung Geschiebesammler Dürrenbommert, Schälchli, Abegg + Hunzinger, 10.11.2006

[20] HWS Littenbach Au-Berneck - Technischer Bericht Modellversuche Variante 1 "Gedeckter Kanal", Fachstelle Wasserbau der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR), 20.03.2015

[21] Technischer Bericht Verklausungsszenarien – Grundlagen zur Naturgefahrenanalyse, Ingenieure Bart AG, 09.2015

[22] HWS Littenbach Au-Berneck - Technischer Bericht Modellversuche Variante 2 "Offener Kanal", Fachstelle Wasserbau der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR), 14.12.2015

[23] Littenbach / Aecheli Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht Vorprojekt Bodenverbesserung, Klaus Büchel Anstalt, Mauren, 12.04.2016

[24] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, UVP-Verfahren: Voruntersuchung und Pflichtenheft, ARNAL Büro für Natur und Landschaft AG, 29.04.2016

[25] Hochwasserschutz Littenbach, Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen, Flussbau AG, 24.05.2016

[26] Littenbach / Aecheli – Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht und Kostenschätzung – Stufe Vorprojekt, Ingenieurgemeinschaft Littenbach Berneck, 06.06.2016

[27] Kantonale Beurteilung des Gesuchs vom 06.07.2016 betreffend Vorprüfung Hochwasserschutzmassnahmen Littenbach – Äächeli, Berneck und Au, Tiefbauamt Kanton St. Gallen, 27.02.2017

[28] Stellungnahme des BAFU zum Vorprojekt Hochwasserschutz Littenbach / Äächeli in den Gemeinden Berneck und Au, Bundesamt für Umwelt BAFU, 28.03.2017

[29] Littenbach, Unterhaltsmassnahmen Abschnitt Schlossbrugg bis Papieri km 2.800 bis 4.110, Technischer Bericht und Kostenvoranschlag, Bänziger Partner AG, 07.03.2017

[30] Littenbach, Holzrückhalt Papieri km 4.110 bis 4.280, Technischer Bericht und Kostenvoranschlag, Auflageprojekt, Bänziger Partner AG, 13.06.2017

[31] Kobelbach Berneck, Abschnitt Littenbach bis Kobel km 0.000 bis 0.330 – Variantenstudium, Bänziger Partner AG, 15.06.2017

[32] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, Vorprojekt, Technischer Bericht: Entlastungsstollen Rosenberg, IUB Engineering AG, 25.07.2018 (Vorprüfung)

Projektspezifisch – vorgezogene Massnahmen:

[33] Hochwasserschutz Littenbach, Ersatzneubau Brücke Kropfackerstrasse, Berneck, Technischer Bericht – Stufe Auflageprojekt, Bänziger Partner AG, 16.01.2017

[34] Hochwasserschutz Littenbach, Ersatzneubau Rad- und Fussgängerbrücke Johannes Dierauerstrasse, Berneck, Technischer Bericht mit Kostenvoranschlag – Stufe Auflageprojekt, Bänziger Partner AG, 19.01.2017

Projektspezifisch – aus Bau-/Auflageprojekt:

[35] Littenbach, Neubau Brücke Hauptstrasse Au, km 0.650 bis km 0.730, Technischer Bericht und Kostenvoranschlag, Bänziger Partner AG, 14.05.2018

[36] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen – Verifikation Hydrologie und Festlegung Ausbauwerte, IUB Engineering, 31.10.2020

[37] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, Bauprojekt, Baugrunduntersuchung, Bericht vM-11938, Dr. von Moos AG, 04.05.2018

[38] Hochwasserschutzprojekt Littenbach – Äächeli, Berneck – Au, Baumerfassung, Baumbeurteilung, Baumbewertung, Erläuterungen, Baumpflege Signer AG, 19.06.2018

[39] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, Entlastungsstollen Rosenberg, Bauprojekt, Sondierungen, Bericht vM-11938-9, Dr. von Moos AG, 13.07.2018

[40] Minimale Gewässerraumbreiten HWS Littenbach – Littenbach, Äächeli, Hinterburgbach und Buechholzbach; Hunziker, Zarn & Partner AG, Schreiben vom 27.07.2018

[41] Hochwasserschutz Littenbach – Äächeli, Technischer Bericht Sedimentationsbecken Klumpen, Hunziker, Zarn & Partner AG, IUB Engineering AG, 15.08.2018 (Entwurf)

[42] Hochwasserschutz Littenbach – Äächeli, Zwischenlagerplätze für Material aus Geschiebesammlern - Bodenkundliche Beurteilung, Klaus Büchel Anstalt, 24.10.2018

[43] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, Entlastungsstollen Rosenberg, Bauprojekt, Ergänzende Sondierungen, Bericht vM-11938-10, Dr. von Moos AG, 25.03.2019

[44] Hochwasserschutz Littenbach – Äächeli, Gewässerökologische Untersuchungen Makrozoobenthos 2019, AquaPlus AG, Entwurf vom 21.06.2019

[45] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, Sedimentationsbecken, Bauprojekt, Baugrunduntersuchung, Bericht vM-11938-11, Dr. von Moos AG, 04.10.2019

[46] HWS Littenbach – Äächeli, Umweltverträglichkeitsbericht Hauptuntersuchung, CSD Ingenieure AG, Entwurf vom 16.11.2019

[47] Littenbach / Äächeli – Hochwasserschutzmassnahmen, SBB Brücke / Durchlass Äächeli, Bauprojekt, Baugrunduntersuchung, Bericht vM-11938-12, Dr. von Moos AG, 04.12.2019

[48] Littenbach – Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Situationsanalyse Boden – Bodenschutzkonzept, Klaus Büchel Anstalt, 18.02.2020

[49] Sondernutzungspläne Gewässerraum Hochwasserschutzprojekt Littenbach-Äächeli und Rückhalteraum Kloteren, Planungsbericht, ERR Raumplaner AG, 03.06.2020 (Entwurf)

[50] Projektgruppe Hochwasserschutz Littenbach-Äächeli, Erhebung Ausgangszustand Grundwasser, Hydrogeologischer Bericht, Dr. Bernasconi AG, 11.06.2020

[51] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Nutzungsvereinbarung, Dossier 2 – Strassenbau, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[52] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Nutzungsvereinbarung, Dossier 3 – Brückenbau Kantonsstrassen, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[53] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Nutzungsvereinbarung, Dossier 4 – Brückenbau Gemeindestrassen, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[54] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Nutzungsvereinbarung, Dossier 9 – Brückenbau SBB, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[55] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht, Dossier 2 – Strassenbau, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[56] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht, Dossier 3 – Brückenbau Kantonsstrassen, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[57] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht, Dossier 4 – Brückenbau Gemeindestrassen, IUB Engineering AG, 31.10.2020

[58] Littenbach / Äächeli Hochwasserschutzmassnahmen, Technischer Bericht, Dossier 9 – Brückenbau SBB, IUB Engineering AG, 31.10.2020

Projektspezifisch – Protokolle, Aktennotizen und Mails:

[59] HWS Littenbach-Äächeli / Gmd. Berneck – Au, Bau und Auflageprojekt, Protokoll: Besprechung B05 (Projektsitzung aller Planer), Sitzung vom 16.08.2018, IUB Engineering AG, G. Möller / Stephan Egli, 22.08.2018

[60] HWS Littenbach-Äächeli / Gmd. Berneck – Au, Bau und Auflageprojekt, Protokoll: Besprechung B07 (Projektsitzung aller Planer), Sitzung vom 25.10.2018, IUB Engineering AG, G. Möller / Stephan Egli, 12.11.2018

[61] HWS Littenbach – Äächeli, Aktennotiz, Entlastungsstollen Rosenberg, Berneck/Au, Geotechnische Beratung des projektierenden Ingenieurs, Dr. von Moos AG, 15.11.2019

[62] HWS Littenbach – Äächeli, Mail, Durchlässigkeitsbeiwerte der Lockergesteinsschichten, Lawrence Och, Dr. von Moos AG, 20.02.2020

2.2 Relevante Drittprojekte

2.2.1 Laufende Projekte

Hochwasserschutz Rheintaler Binnenkanal (RBK) Widnau / Diepoldsau

Der Rheintaler Binnenkanal ist der Hauptvorfluter für die Wildbäche auf der westlichen Seite des Rheins. Er wird gebildet durch die beiden Bäche Chelenbach und Kotbach in der Gemeinde Sennwald und fliesst nordwärts bis er in St.Margrethen in den Alten Rhein übergeht.
Die Hochwasserschutzdefizite im Gebiet der Gemeinden Widnau und Diepoldsau sind seit längerem bekannt und der Zweckverband Rheintaler Binnenkanal Unternehmen hat die Projektierung von Massnahmen zur Behebung der Defizite in Auftrag gegeben. Die Erarbeitung eines Bau- / Auflageprojektes läuft zurzeit noch.

Das Projekt sieht vor, dass der Abfluss bei Drei Brücken gedrosselt und nur soviel Wasser weitergeleitet wird, dass die Wassermenge unterhalb Drei Brücken über das Gerinne schadlos abgeleitet werden kann. Das Überschusswasser wird in einem Retentionsraum oberhalb Drei Brücken zurückgehalten.

Mit diesem Projekt kann der Wasserspiegel bei den Einmündungen Äächeli und Littenbach auf ein Maximum festgelegt werden. Dieses bildet für die Ausbauten am Äächeli und am Littenbach die untere Randbedingung für den Abfluss.

Lochbach

Der Lochbach entwässert die westlich von Berneck gelegene Geländemulde mit einem Einzugsgebiet von ca. 0.35 km^2. Er ist im Bereich des Siedlungsgebietes (Lochbachrank bis Einmündung Kübach / Länge ca. 1.0 km) eingedolt. Im Rahmen von verschiedenen Abklärungen wurde klar, dass eine offene Gewässerführung durch Berneck nicht möglich ist und auch die technische Machbarkeit einer Eindolung für die Ableitung einer Wassermenge von ca. 5.5 m^3/s (HQ_{100}) nicht gegeben ist.
In einem Vorprojekt wird aufgezeigt, dass der Lochbach über einen Stollen vom Lochbachrank in den Littenbach (Bereich Papieri) umgeleitet werden kann. Das Gerinne von der Papieri bis zum Kiesfang Schlossbrugg vermag die zusätzliche Wassermenge abzuleiten.

Bei der Dimensionierung der Entlastungsanlage und des Retentionsraumes ist die Umleitung des Lochbaches in den Littenbach zu berücksichtigen.

Kobelbach

Der Kobelbach vermag über die bestehende Eindolung bereits häufige Hochwasser ebenfalls nicht abzuleiten. In einem Variantenstudium wurden mögliche Lösungen zur Behebung der Hochwasserschutzdefizite aufgezeigt. Ein Variantenentscheid ist aber noch nicht gefällt worden.

Die Einleitstelle des Kobelbaches in den Littenbach kann sich, je nach Variantenwahl, gegenüber der heute gewählten Stelle noch verschieben.

2.2.2 Vorgezogene Massnahmen

Brücke Johs. Dierauerstrasse	Neubau Ausführung Herbst 2017 Kosten ca. CHF 93’000
Brücke Kropfackerstrasse	Neubau Ausführung Mai - September 2017 Kosten ca. CHF 299'000

2.2.3 Provisorische Massnahmen

Nach dem Hochwasserereignis 2014 haben die Gemeinden entschieden die Schwachstelle Kobelbrücke und Bachstrasse / Fischerweg zu entschärfen.

Die bestehende Brücke Kobel wurde rückgebaut und durch einen Neubau auf höherem Niveau ersetzt und die Strassenführung in der Höhe den neuen Verhältnissen angepasst. Zudem wurde das rechte Ufer auf einer Länge von ca. 70 m angehoben.

Diese Massnahmen wurden umgesetzt im Wissen, dass Anpassungen oder gar ein Rückbau der Massnahmen mit der Umsetzung des vorliegenden Projektes erfolgt.

2.2.4 Ausgeführte Projekte

Kiesfang Schlossbrugg

Erhöhung Volumen von 900 auf 2'000 m^3
Neubau Kiesfangsperre
Ausführung 2005 - 2007
Kosten ca. CHF 803’000

Geschiebe- und Holzrückhalt Dürrenbommert

Neue Anlage mit Rückhaltevolumen 6'000 bis 8'000 m^3
Ausführung 2008/2009
Kosten ca. CHF 1.9 Mio.

Geschieberückhalt Papieri

Neue Anlage mit Rückhaltevolumen ca. 4'000 m^3
Ausführung 2018 / 2019
Kosten ca. CHF 2.4 Mio.

2.3 DTM

Für die Ausarbeitung des Vorprojektes stand das DTM NGK aus dem Jahre 1999 zur Verfügung. Dieses wurde mit terrestrischen Aufnahmen im Bereich der Gewässer ergänzt.

Die Genauigkeit des DTM NGK reichte für die Ausarbeitung des Bau- und Auflageprojektes jedoch nicht aus. Als Grundlage für die Projektierung der Massnahmen, der hydraulischen Berechnungen und Modellierungen ist deshalb ein neues digitales Terrainmodell auf der Basis des LV 95 erstellt worden.

Die Firma pixmap hat am 27. und 28.11.2017 hochauflösende georeferenzierte Orthofotos mittels Drohnenflug aufgenommen. Abbildung 2-1 zeigt eine Zusammensetzung dieser Flugaufnahmen bzw. den bearbeiteten Perimeter. Etwa 3500 hochauflösende Bilder wurden aufgenommen und photogrammetrisch zu einem 3D-Modell mit einer geometrischen Standardabweichung von ca. 3 cm verarbeitet.

Abbildung 2-1:Perimeter Orthofotos (Quelle: pixmap)

Das digitale Höhenmodell hat ein Raster von 12.5 cm, Gebäude sind eingeschlossen. Da die resultierende Datenmenge zu gross und praktisch nicht handhabbar ist, wurde das Raster auf 25 cm mit Höhendifferenzen von ca. 1-3 cm ausgedünnt und punktuell, wo die Höhendifferenzen grösser sind, ein Raster von 12.5 cm verwendet. Bei der Bereinigung der Punktewolke sind folgende Objekte herausgefiltert worden und sind damit nicht Teil des Höhenmodells:

- hohe Vegetation
- Autos und grosse Gegenstände wie z.B. Trampoline
- Gebäude

IUB hat die gefilterten Gebäude durch AV-Daten ersetzt.

Am 16.01.2018 wurden die Sohle (Übergang Sohle/Böschung links und rechts) und die Brücken in Lage und Höhe terrestrisch aufgenommen. Die ermittelten Daten sind in das Terrainmodell Fläche integriert worden.

3 Ausgangssituation

3.1 Charakteristik des Einzugsgebietes

Die Gemeinden Au und Berneck liegen im St. Galler Rheintal. Westlich grenzt das Gebiet an den Kanton Appenzell Innerrhoden, nördlich an den Kanton Appenzell Ausserrhoden, östlich davon verläuft der Rheintaler Binnenkanal (RBK) sowie der Rhein (Abbildung 3-1). Auf der gegenüberliegenden Seite des Rheins liegt das Vorarlberg (Österreich). Das St. Galler Rheintal ist von flachem Terrain geprägt. Das angrenzende Appenzeller Land ist hügelig bis gebirgig.

Der Littenbach entspringt in der Gemeinde Oberegg (AI) auf einer Höhe von ca. 830 m ü.M. Etwa 200 m unterhalb der Kantonsgrenze Appenzell Innerrhoden/St. Gallen fliesst von rechts der Fallbach zu. Zwischen dem Ursprung des Littenbaches (km 6.6) und dem Kiesfang Schlossbrugg (km 2.75) verläuft das Gewässer in natürlichem Verlauf durch Waldgebiet und durch schwach besiedeltes Gebiet südlich der Ortschaft Berneck. Nach dem Kiesfang fliesst der Littenbach durch stark besiedeltes Gebiet von Berneck und Au sowie entlang weniger landwirtschaftlicher Flächen. Innerhalb dieses Abschnittes münden die Seitengewässer Mülibach, Kübach, Kobelbach und Haslachbach ein. Einige Drainagen aus den angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen werden ebenfalls dem Littenbach zugeführt.

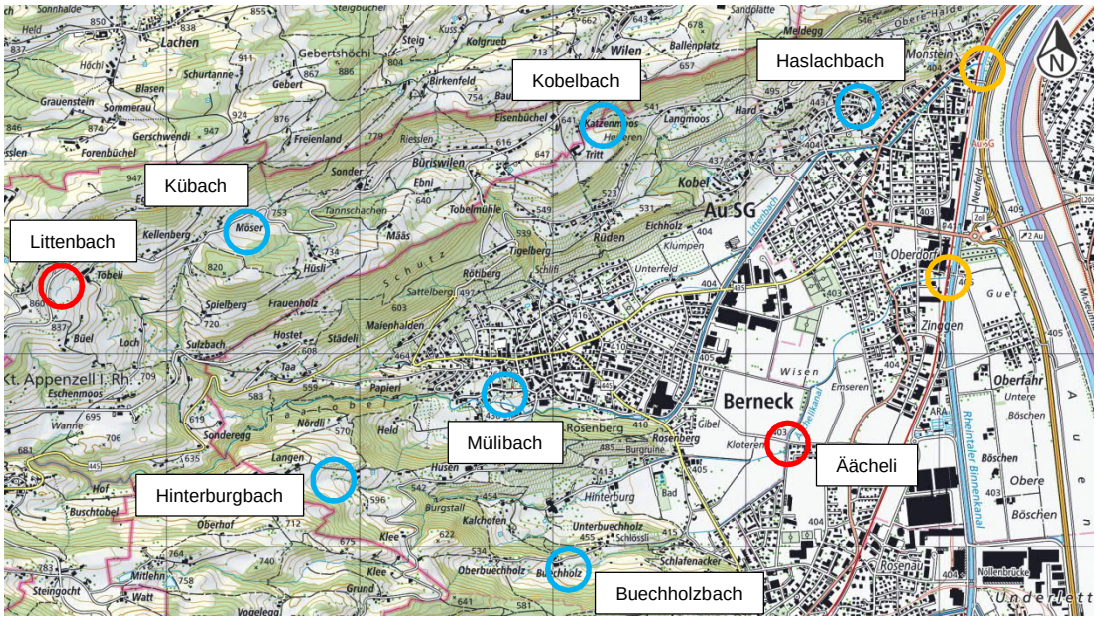


Abbildung 3-1: Topographische Lage der Gemeinden Au und Berneck, (blau) Gewässerursprung der Seitengewässer, (rot) Gewässerursprung der Hauptgewässer, (gelb) Mündung in den RBK (https://map.geo.admin.ch, 05.11.2019)

Das Äächeli entsteht durch den Zusammenfluss der beiden Gewässer Hinterburgbach und Buechholzbach innerhalb der Landwirtschaftsflächen zwischen den Ortschaften Berneck, Au und Heerbrugg. Zusätzlich wird das Äächeli von Drainagen gespiesen. Das Äächeli durchquert Landwirtschaftsflächen und Siedlungs-, Gewerbe- und Industriegebiet von Au. Der Hinterburgbach entspringt im Landwirtschaftsgebiet Langen, der Buechholzbach entspringt entsprechend seinem Namen im Buechholz.

Der Littenbach und das Äächeli münden beide in den RBK, der Littenbach ca. 1.1 km weiter stromabwärts als das Äächeli. Vor der Mündung in den RBK verfügen der Littenbach und das Äächeli über ein Einzugsgebiet von ca. 14 km^2 resp. ca. 3.5 km^2. Die Abflussregimes der Bäche sind im unteren Bereich aufgrund des flachen Terrains stark von dem Wasserspiegel im RBK beeinflusst.

3.2 Historische Ereignisse

Die historischen Ereignisse wurden im Bericht zum Vorprojekt der Ingenieurgemeinschaft Littenbach Berneck [26] erfasst und werden an dieser Stelle nochmals aufgenommen:

03.07.1998 Hochwasser am Littenbach, 25 m^3/s

Der Hochwasserabfluss von 25 m^3/s konnte mehrheitlich über das Gerinne abgeleitet werden. Es erfolgte nur wenig Geschiebe- und Schwemmholztransport. Zu Problemen führten die Brückenquerschnitte und die zusätzlich den Bach querenden Leitungen.

Grössere Gebäudeschäden durch ausuferndes Wasser sind im Bereich Schlossbrugg entstanden.

01.09.2002 Hochwasser am Littenbach, Wassermenge unbekannt

Der Hochwasserabfluss konnte mehrheitlich über das Gerinne abgeleitet werden. Es erfolgte viel Geschiebetransport. Das Geschiebe wurde teilweise im Kiesfang Schlossbrugg zurückgehalten (gröberes Material), mehrheitlich lagerte es sich aber im unterliegenden Gerinne ab (ca. 9'000 m^3 Sand).

Zu Problemen führten die Brückenquerschnitte auch ohne zusätzlich den Bach querenden Leitungen. Diese wurden nach dem letzten Hochwasser entfernt. Zu Überflutungen kam es bei dem Stege Bündt, dem Durchlass Schlossbrugg und den Brücken Johannes Dierauerstrasse, Kropfackerstrasse und der Brücke Kobel.

22.08.2005 Hochwasser am Littenbach, < 25 m^3/s

Der Hochwasserabfluss konnte über das Gerinne abgeleitet werden, sowohl in den offenen Bereichen wie auch bei den Durchlässen. Das anfallende Schwemmholz wurde mit Aushubgeräten aus dem Gerinne entfernt. Es entstanden keine relevanten Probleme und auch Schäden sind keine entstanden.

31.05./01.06.2013 Hochwasser am Littenbach und Äächeli, << 25 m^3/s

Der Rückfluss des RBK führte zu Ausuferungen am Littenbach vor allem in Au (Bereich Schulhaus) und am Äächeli in Berneck und Au, obwohl die Abflüsse der Bäche Littenbach und Äächeli nicht sehr hoch waren.

Das Hochwasser führte zu Schäden an Gebäuden und Kulturen.

28.07.2014 Hochwasser am Littenbach, 50 m^3/s (Dürrenbommert)

Eine sehr grosse Abflussmenge resultierte aufgrund eines extremen Niederschlagsereignisses. Das Hochwasser führte im Littenbach sehr viel Geschiebe und Schwemmholz mit. Der Geschiebe- und Treibholzfang Dürrenbommert war nach kurzer Zeit gefüllt und weitergeschwemmtes Holz führte bei den Durchlässen Schlossbrugg und Johannes Dierauerstrasse zu Verklausungen und grossflächigen Ausuferungen. Weiter stromabwärts konnte die Wassermenge innerhalb des Gerinnes abgeführt werden.

3.3 Bestehende oder geplante Nutzung

Das Gebiet der Gemeinden Berneck und Au ist vorwiegend durch Wohnzonen und Flächen landwirtschaftlicher Nutzung sowie Wald geprägt. Die Kernzonen der Ortschaften Berneck und Au sind von kleinem Ausmass und einzig im Bereich des Durchlasses der Hauptstrasse grenzt die Kernzone an den Littenbach. Mischzonen (Wohn- und Gewerbezonen sowie Gewerbe-Industriezonen) befinden sich südlich sowie östlich gelegen in Berneck und östlich in Au, vorwiegend entlang des Rheintaler Binnenkanals.

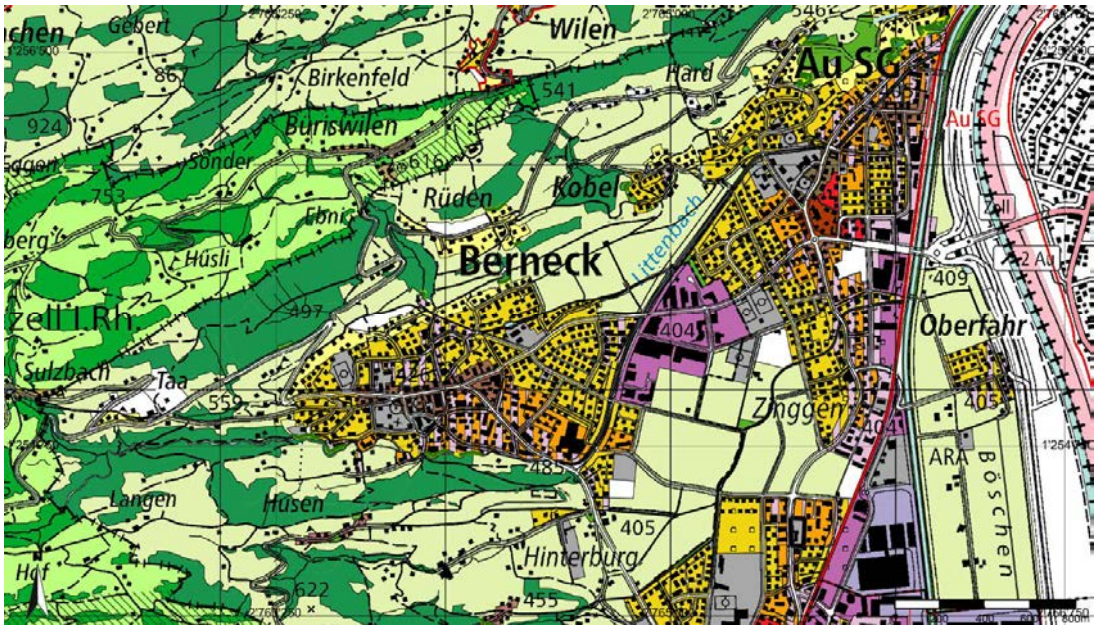


Abbildung 3-2: Zonenplan, kantonale Darstellung (www.geoportal.ch/ktsg, 05.11.2019)

3.4 Fruchtfolgeflächen

Innerhalb des Projektperimeters handelt es sich bei einem Grossteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen um Fruchtfolgeflächen. Entlang des Littenbachs befinden sich solche Flächen in den Gebieten Klumpen, Langwis und Langacker. Der Hinterburg-, Buechholzbach und das Äächeli durchqueren zwischen westlicher Peri-

metergrenze bis westlicher Siedlungsgrenze von Au durchgehend Fruchtfolgeflächen. Dabei handelt es sich um die Gebiete Isel, Untere Schlatt, Kloteren, Wisen und Emseren.

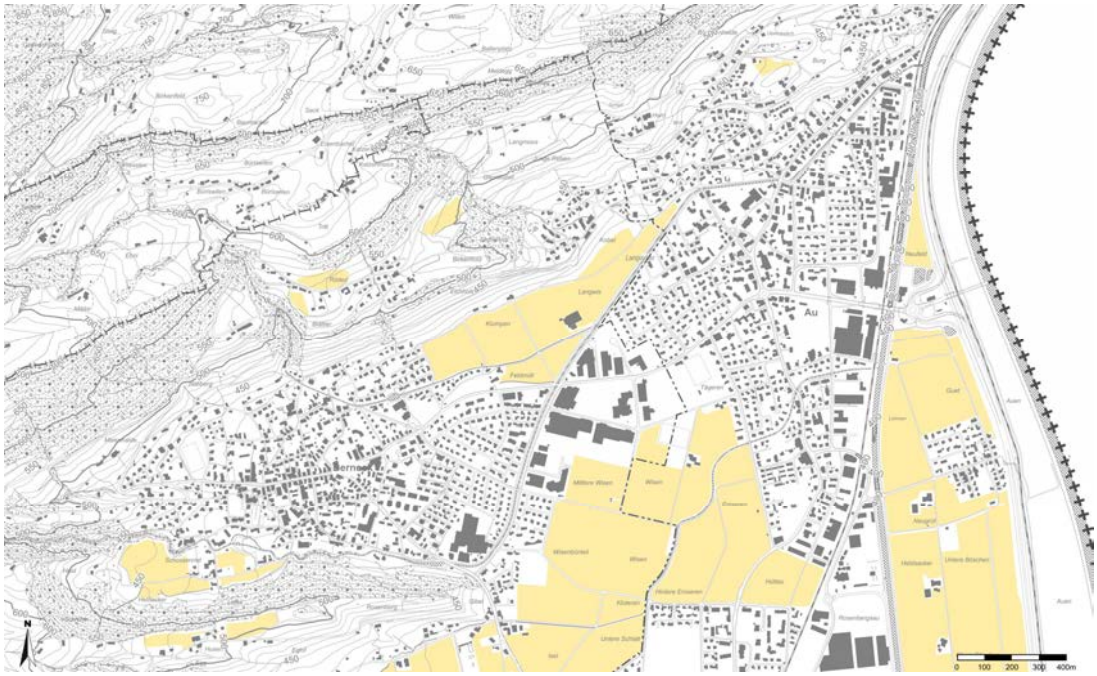


Abbildung 3-3: Fruchtfolgeflächen Kt (www.geoportal.ch/ktsg, 12.03.2020)

3.5 Geologische Verhältnisse

Für das Projekt wurden von der Firma Dr. von Moos AG geologische Untersuchungen durchgeführt und sind in vier, separaten Berichten (Projektperimeter [37], Rosenberg [39][43], Sedimentationsbecken [45] und SBB-Durchlass Äächeli [47]) dem Dossier 01 Wasserbau beigelegt. Die folgenden Ausführungen sind dem entsprechenden geologischen Bericht entnommen:

Der Projektperimeter befindet sich am Fusse des nordöstlichen Ausläufers der Appenzeller Voralpen in einer Seitenmulde des glazial geprägten und übertieften St. Galler Rheintals im Übergangsbereich zwischen subalpiner und mittelländischer Molasse. Der Übergang ist durch eine antiklinale Struktur gekennzeichnet dessen Kernzone durch die Gemeinden Berneck und Au verläuft und welche durch mehrere Flüsse und Bäche teilweise erodiert wurde. Damit wurde die Schwemmebene ausgeweitet, wobei Felsrippen aus widerstandsfähigerem Gesteinsmaterial das Landschaftsbild prägen. Die Täler wurden durch mannigfaltige Ablagerungen aufgefüllt: während der letzten Eiszeit wurden über dem Fels der Unteren Süsswassermolasse Moränen abgelagert, nach der letzten Eiszeit entstanden zahlreiche flachgründige Seen, welche zu lehmigen Seeablagerungen geführt haben, darüber wurden Delta- und Bachablagerungen, Verlandungs- und Überschwemmungssedimente abgelagert, welche von Berneck aus und lokal in Hangnähe von Bachschutt durchsetzt sein können.

Über den Seeablagerungen (Kote von 397.00 m ü. M.) sind Delta- und Bachablagerungen mit hoher Heterogenität anzutreffen. Sie bestehen aus einer Abfolge von feinkörnigem, tonig-siltig-feinsandigem Material über sauberem Mittelsand bis hin zu sauberem Kies mit Steinen, wobei die grobkörnigen Intervalle als Bachablagerungen gelten. Hierzu zählen auch die sandig-kiesig-steinigen Ablagerungen des Rheins

(z.B. Rheinschotter). Bei Delta- und Bachablagerungen handelt es sich vorwiegend um jeweils räumlich begrenzte Lockergesteinskörper (z.B. Sand- und Kiesbänke, feinkörnige Stillwasserablagerungen), welche den Einflüssen und verschiedenen Energieniveaus des Rheins sowie zahlreichen Zuflüssen unterlagen. Die Delta- und Bachablagerungen sind durchgehend locker bis höchstens mitteldicht gelagert, die feinkörnigen Partien weisen eine weiche Konsistenz auf.

Darüber kommen Verlandungs- und Überschwemmungssedimente zu liegen. Deren Unterkante liegt zwischen 397.00 und 402.00 m ü. M., wobei sie im Bereich des Äächeli tendenziell am tiefsten ist. Die Verlandungssedimente sind durch tonig-siltiges Material mit variablen Anteilen an Feinsand und organischen Beimengungen (Holz-/Pflanzenreste, humose Einlagerungen, Schneckenschalen) charakterisiert, welche mit siltig-sandigen Überschwemmungssedimenten unterschiedlicher Mächtigkeit in Wechsellagerung stehen. Lokal sind torfierte Anteile zu erwarten. Die Verlandungs- und Überschwemmungssedimente sind durchwegs locker bis sehr locker gelagert wobei die tonig siltigen Abschnitte über eine weiche Konsistenz verfügen.

Am Hangfuss um Berneck wurden durch die zahlreichen Zuflüsse siltig-sandig-kiesiger Bachschutt abgelagert. Deren Zusammensetzung ist nicht im Detail bekannt. Der Bachschutt unterscheidet sich von den Delta- und Bachablagerungen durch wesentlich gröberes Material.

Die Schichtserie wird oben durch Verwitterungsschutt bzw. –lehm und künstliche Aufschüttungen mit sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten bis rund 2 m abgeschlossen. Im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen unterscheidet sich der Verwitterungsschutt/-lehm in der Regel nur geringfügig von den darunterliegenden Verlandungs- und Überschwemmungssedimenten (v.a. durch die Durchwurzelung). Zudem ist er sandiger als die Verlandungssedimente. Lokal wurden wenig Kies und Steine sowie weniger als 3% Gewicht Ziegel- und/oder Keramikreste festgestellt. Die Zusammensetzung der im Bereich von Bauwerken (Brücken und Strassen) erwartete künstliche Aufschüttung ist nicht im Detail bekannt.

Im Bereich des Entlastungsstollens wurden nachträglich zwei zusätzliche Sondierbohrungen bis in 15 m Tiefe gemacht (B1 und B2). Diese wurden ebenfalls von der von Moos AG durchgeführt und dokumentiert. Das geologische Längenprofil ist in Abbildung 3-4 reduziert dargestellt, für eine genauere Betrachtung des Längenprofils ist die Beilage B2 des Berichtes vM-11938-10 [43] zu konsultieren.

Der vorherrschende Fels besteht aus unterer Süsswassermolasse und liegt im Bereich beider Portale in Tiefen von 2.0 m bis 7.5 m unter dem bestehenden Terrain. Dabei handelt es sich um eine Speer-Schüttung bestehend aus Quarz- und Kalksandsteinbänken und mit Zwischenlagen aus Mergel oder Nagelfluh. Dabei liegen auf der Seite Gibel (B1) vorwiegend fein- und grobkörniger Sandstein vor, während auf der Seite Schlossbrugg (B2) eine Abfolge von Sandstein, Siltstein und Mergel vorliegt. Die Schichtung fällt ca. 40° nach Süden ein, die Klüftung verläuft teilweise gegenläufig mit der Orientierung nach Norden. Gemäss diesen kinematischen Bedingungen ist die Bildung von Bruchkörpern theoretisch nicht möglich. Aufgrund der möglichen Variation der Fallrichtung der Klüftung können beim Felsvortrieb durch ungünstiges Verschneiden der Schicht- und Kluftflächen Bruchkörper auftreten und sich lösen.

Abbildung 3-4: Längenprofil Rosenberg mit Sondierungen und Bohrungen

Für die verschiedenen geologischen Schichten sind folgende geotechnische Kennwerte angenommen werden:

Tabelle 3-1: Geotechnische Kennwerte

Lockergestein	Tiefe [m]	γ_e [kN/m^3]	Φ' [°]	c' [kN/m^2]	M_E [MN/m^2]	M_E' [MN/m^2]
Verwitterungslehm	0.00-1.00	18-20	28-34	0	2-10	-
Verlandungs- und Überschwemmungs-sedimente	1.00-3.00	17-19	26-32	0	2-5	10-20
Bachschutt	3.00-9.00	19-21	32-38	0	25-50	≥ 80
Sandstein / Nagelfuh	ab 9.00	25-27	-	-	50-150	>1000
Mergel	ab 9.00	25-27	-	-	20-60	>1000
Trennflächen / Fels-oberfläche	ab 9.00	-	20-35	10-30	-	-

Die Durchlässigkeit der sandig-kiesigen Lagen innerhalb der Delta- und Bachablagerungen ist als gut bis sehr gut zu veranschlagen. Die tonig-siltig-feinsandigen Delta- und Bachablagerungen, die Überschwemmungssedimente und die Moräne sind je nach Körnigkeit als schwach bis mässig durchlässig zu taxieren. Die Verlandungssedimente sind schwach durchlässig bis vorwiegend undurchlässig (Stauer) und der Molassefels ist mit Ausnahme der Klüfte ebenfalls als Stauer zu betrachten. Der Verwitterungsschutt bzw. –lehm sowie der Bachschutt verfügen grösstenteils über eine schwache bis mässige Durchlässigkeit, diejenige der künstlichen Aufschüttung ist nicht im Detail bekannt dürfte aber eine grosse Bandbreite umfassen.

Tabelle 3-2: Durchlässigkeitsbeiwerte der Lockergesteinsschichten [62]

Lockergestein	Beiwert k [m/s]
Verwitterungslehm / künstliche Aufschüttung	Stark variabel
Bachschutt, Delta- und Bachablagerungen, schwach siltige, sandige bis sandig-kiesige Bereiche	10^{-5} - 10^{-2}
Verlandungs- und Überschwemmungssedimente, tonig-siltige Bereiche	10^{-9} - 10^{-6}
Seeablagerungen, tonig-siltige Bereiche	10^{-9} - 10^{-7}
Moräne, tonig-siltig-sandige Bereiche	10^{-8} - 10^{-6}

3.6 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Firma Dr. Bernasconi AG wurde beauftragt ein Grundwassermonitoring für den Ausgangszustand innerhalb des Projektperimeters durchzuführen. Die Erkenntnisse wurden im Bericht [50] erfasst, und werden nachfolgend zitiert. Für ausführlichere Informationen ist der Bericht der Dr. Bernasconi AG [50] heranzuziehen.

«Die fluviatilen Ablagerungen der Talebene beherbergen das regionale Hauptgrundwasservorkommen im Rheintal. Der gut bis sehr gut durchlässige Rheinschotter und die unterliegenden mässig gut durchlässigen Delta- und Flusssande bilden den rund 10 m bis 20 m mächtigen Hauptgrundwasserleiter, die feinkörnigen Seeablagerungen den für das Rheintal typischen, wenig durchlässigen Grundwasserstauer. Feinkörnige Verlandungs- und Überschwemmungsablagerungen liegen als schützende Deckschicht über dem Grundwasserleiter.

Randlich schliessen die Rheinschotter mit mässig gut durchlässigen Bachschuttablagerungen der Seitenbäche (vgl. Abbildung 3-5). Der Bachschuttfächer des Littenbachs ist ebenfalls grundwasserführend. Er weist in den obersten Metern aufgrund eines geringeren Silt- und Tonanteils eine höhere Durchlässigkeit auf, darunter nimmt der Feinkornanteil zu und die Durchlässigkeit zur Tiefe hin ab. Der Bachschutt ist überdeckt mit feinkörnigen Überschwemmungsablagerungen. In weiten Bereichen des Projektgebiets sind bis zu 3 m bis 4 m mächtig und bilden einen Schutz des darunterliegenden Grundwassers vor direkter und rascher Versickerung von der Oberfläche her.

Abseits von Bachschuttfächern dominieren entlang des Talrands zusätzlich wenig gut durchlässige Überschwemmungs- und Verlandungsablagerungen.

Der Grundwasserspiegel befindet sich sowohl in der Talebene als auch im Bachschuttfächer nur wenige Meter unter der Terrainoberfläche. Im Hauptgrundwasservorkommen in der Talebene wird er vor allem durch den Rheinpegel gesteuert. Hochstände sind während der Schneeschmelze im alpinen Einzugsgebiet des Rheins in den Monaten Mai bis Juli oder während ausserordentlichen grossräumigen Starkniederschlägen und Tiefstände gegen Ende des Winters im Februar bis April zu erwarten. In den Bachschuttfächern und in den seitlichen Gebieten mit Überschwemmungs- und Verlandungsablagerungen abseits des Hauptgrundwasservorkommens in den Rheinschottern spielen die lokale Witterung und die hydrogeologischen Untergrundverhältnisse eine wichtigere Rolle für die Dynamik des Grundwasserspiegels. Bei nasser Witterung können sich in den wenig durchlässigen Überdeckungsschichten gesättigte Verhältnisse bis zur Terrainoberfläche in Form von Staunässe einstellen, die losgelöst von der Grundwasserspiegellage im darunterliegenden besser durchlässigen Grundwasserleiter sind.

Die Grundwasserströmung im Talgrundwasserleiter wird durch die erhöhte Pegellage des Rheins und den tiefer liegenden Rheintaler Binnenkanals (RBK) bestimmt. Zwischen Rhein und RBK ist sie nach Westen zum RBK hin gerichtet. Vom Talrand her strömt das Grundwasser vom Schuttfächer her gegen Osten ebenfalls dem RBK zu, der als regionaler Vorfluter wirkt.

Das Grundwasser im Bachschuttfächer wird vor allem aus der lokalen Versickerung des Meteorwassers, der Infiltration der Bäche, namentlich des Littenbachs im Oberlauf und von seitlichen Übertritten von Hangwasser aus dem Bereich der Molassefelses und der Moräne in den Bachschutt gebildet. Im Gegensatz dazu stammt das Grundwasser im Talgrundwasserleiter zum überwiegenden Teil aus Infiltrat aus dem Rhein und dem Grundwasserzufluss im Hauptgrundwasserleiter im Alpenrheintal.

Die lokale Grundwasserneubildung durch Versickerung von Meteorwasser spielt dem gegenüber nur eine untergeordnete Rolle.

Das Projektgebiet nimmt den Übergangsbereich vom Fuss des Bachschuttfächers zum Talgrundwasserleiter der Rheinschotter ein (vgl. Abbildung 3-5). Der Littenbach verläuft ab dem Kiesfang Schlossbrugg rechtwinklig zum Grundwasserstrom im Bachschuttfächer und ordnet sich erst im Unterlauf etwa parallel zur Grundwasserströmung gegen Nordosten zum RBK ein. Im Projektabschnitt verläuft der Littenbach mehrheitlich über Bachschutt mit unterschiedlich mächtigen feinkörnigen Deckschichten; im Unterlauf finden sich Rheinschotter unter den Deckschichten. Die kleineren Oberflächengewässer in der Talebene, namentlich das Äächeli, der Hinterburg- und der Buechholzbach verlaufen in den oberflächlichen, feinkörnigeren Verlandungs- und Überschwemmungsablagerungen; im Unterlauf liegt das Bett des Äächeli in den Rheinschottern.

Zusammenfassend ergibt sich, dass das Grundwasser im Projektgebiet primär durch folgende drei Komponenten gesteuert wird:

- Zuströmung von Grundwasser im Bachschutt von Westen; in Abhängigkeit von Meteorwasser im Einzugsgebiet,
- Zuströmung von Rhein-Grundwasser von Süden; in Abhängigkeit des Rheinpegels,
- Vorfluterwirkung / Entwässerung entlang des RBK; in Abhängigkeit des Kanalpegels.

Die kantonale Grundwasser-Messstelle HG1851 (Berneck, Hafnerwiesen) inmitten des Projektgebiets zeigte für die Messdauer der letzten 10 Jahre (2009-2019) zeitlich unregelmässige Schwankungen der Pegellagen von ca. +/- 1.5 m. Diese sind vor allem durch Niederschlagsereignisse und die Schneeschmelze im lokalen Einzugsgebiet bedingt; jahreszeitliche Schwankungen erscheinen nur untergeordnet mit einer leichten Tendenz zu erhöhten Grundwasserständen im 4. Quartal.

Der Flurabstand des Grundwasserspiegels lag bei mittleren Grundwasserständen bei ca. 2.0 - 4.0 m. Bei Hochwasserstand stiegen die Grundwasserstände vielerorts bis nahe, 0.5 - 2.0 m, unter die Terrainoberfläche an (vgl. Querprofile im Anhang 8.2).

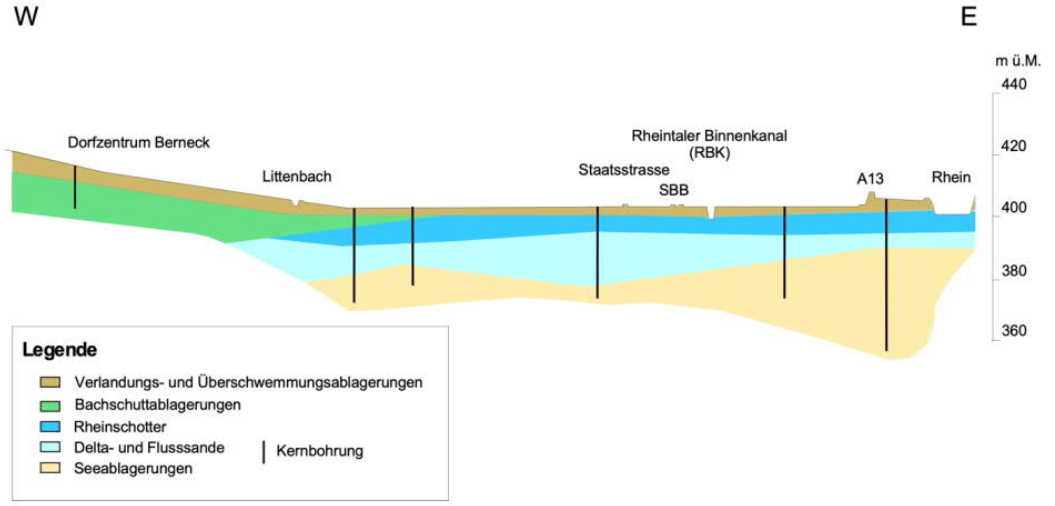


Abbildung 3-5: Geologisches Querprofil durch das Projektgebiet (aus [50])

Wie in Abbildung 3-6 ersichtlich, befindet sich der gesamte Projektperimeter im Gewässerschutzbereich Au des Kantons St. Gallen. Das bedeutet, dass nach Art. 32 GSchV gewässerschutzrechtliche Bewilligungen von der zuständigen politischen Gemeinde erteilt werden müssen für Grabungen, Erdbewegungen und ähnliche Arbeiten über dem mittleren Grundwasserspiegel sowie für die Erstellung und Änderung von Bauten und Anlagen über dem mittleren Grundwasserspiegel, wenn kein Abwasser anfällt und keine wassergefährdenden Flüssigkeiten gelagert oder umgeschlagen werden. Ebenfalls erkennbar ist, dass der Projektperimeter keine Grundwasserschutzzonen tangiert.»

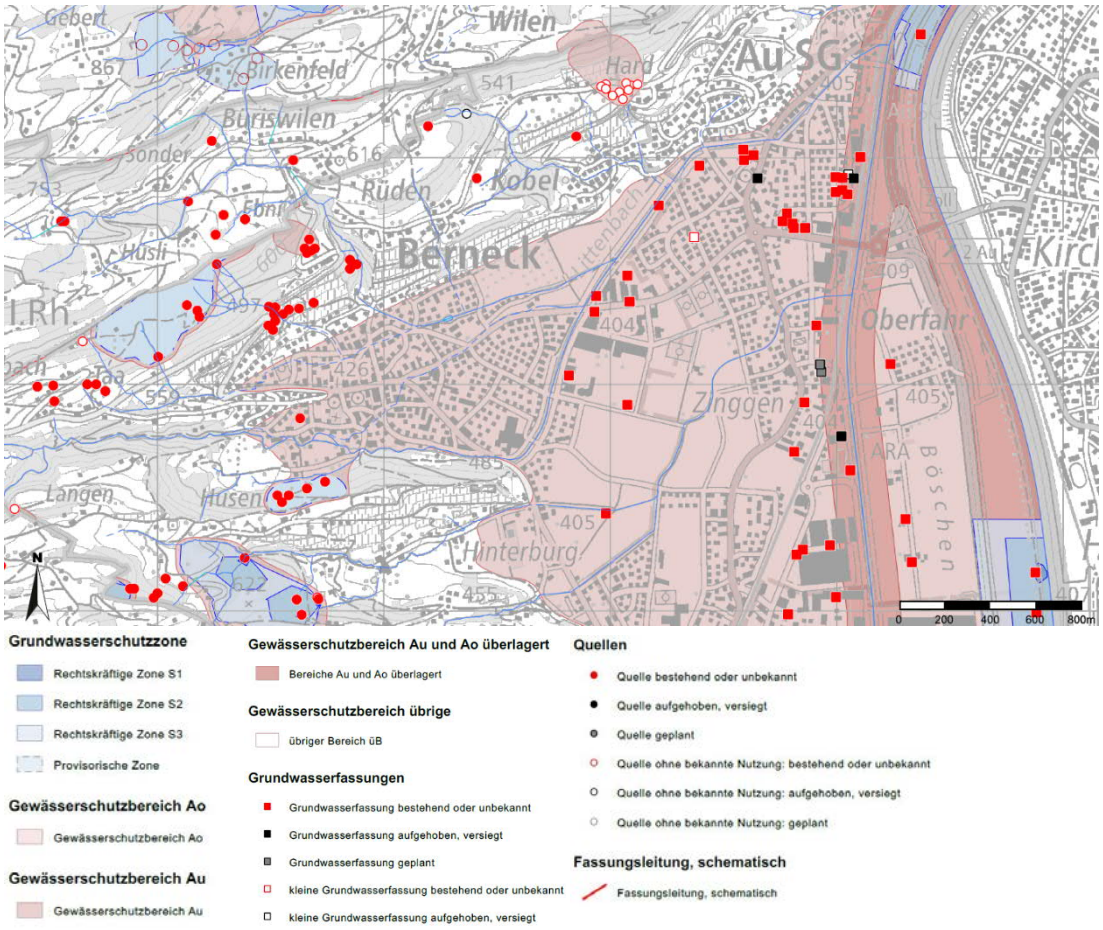


Abbildung 3-6: Kantonale Gewässerschutzkarte (www.geoportal.ch/ktsg, 03.12.2019)

3.7 Hydrologische Verhältnisse

Im Rahmen der hydrologischen Untersuchungen im Vorprojekt wurden die Einzugsgebiete des Littenbaches, Hinterburgbaches, Buechholzbaches und Äächelis gemäss Abbildung 3-7 ermittelt. Die Hydrologie gemäss Vorprojekt wurde innerhalb des Bauprojektes verifiziert. Die Flächen der Einzugsgebiete sowie Abflussmengen sind in Tabelle 3-3 erfasst. Für weitere Angaben zur Hydrologie ist der Bericht "Verifikation Hydrologie und Festlegung Ausbauwerte" [36] zu konsultieren.

Tabelle 3-3: Einzugsgebiete (aus [26], [36] / hP = hydrologischer Punkt)

Gewässerabschnitt		hP [-]	E [km^2]	HQ_{30}[1)] [m^3/s]	HQ_{100} [m^3/s]	HQ_{300}[2)] [m^3/s]	EHQ[3)] [m^3/s]
Littenbach	Einmündung RBK	1	13.7	33	62	81	93
	Unterhalb Kübachmündung	3	12.4	30	58	75	87
	Schlossbrugg	5	9.25	26	51	66	76
Kübach	Einmündung Littenbach	-	2.55	10	18	23	27
Äächeli	Einmündung RBK	15	3.5	10	20	26	30
	Unterhalb Hinterburgbach	16	2.6	9	17	22	25
Hinterburgbach		17	1.4	5	10	14	16
Buechholzbach		18	0.4	2	4	7	7

[1)] HQ_{30} = ca. 0.5 HQ_{100}
[2)] HQ_{300} = ca. 1.3 HQ_{100}
[3)] EHQ = ca. 1.5 HQ_{100}

Aufgrund des umliegenden steilen Geländes im oberen Abschnitt des Littenbachs resultieren rasch hohe Abflussspitzen, welche nach kurzer Zeit wieder abflachen. Aufgrund des flachen Terrains im Bereich des unteren Abschnittes des Littenbaches sowie des Äächelis ist der Wasserspiegel stark abhängig von der Wasserspiegellage im RBK. So liegt freier Abfluss im Littenbach und Äächeli vor bei einem tiefen, und Rückstau in die Gerinne bei einem hohen Wasserspiegel im RBK. Folglich kann es bei Hochwasserabfluss im RBK und wenig Abfluss im Littenbach und Äächeli aufgrund des Rückflusses bereits zu Überflutungen entlang der beiden Bäche kommen.

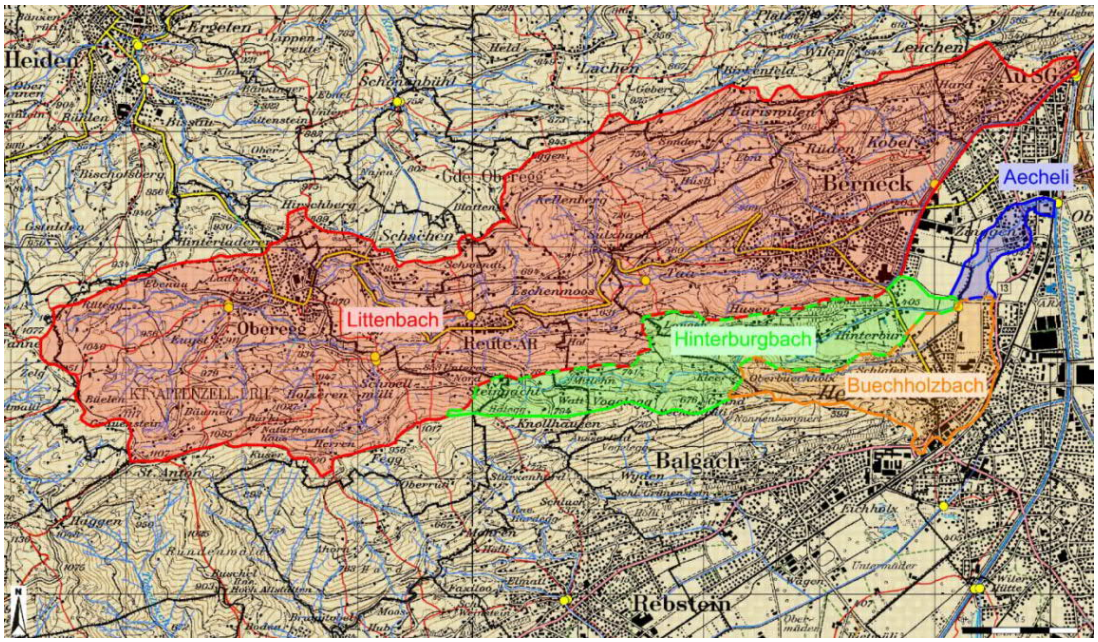


Abbildung 3-7: Einzugsgebiete der Bäche im Projektperimeter [26]

3.8 Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen und -rückhalt

Ergänzend zum Vorprojekt [26], in welchem die anfallenden Geschiebe- und Schwemmholzfrachten noch nicht thematisiert wurde, wurden im vorliegenden Bauprojekt die bestehenden Grundlagen zusammengestellt und beurteilt.

3.8.1 Littenbach

Der Geschiebe- und Schwemmholzrückhalt am Littenbach soll durch den 2018/2019 erstellten Rechen Papieri am Ausgang des Taatobels und durch den Rückhalt Dürrenbommert gewährleistet werden. Gemäss der Analyse der Flussbau AG im 2016 [24] ist beim Ausgang des Taatobels 0.5 km stromaufwärts des Rückhalts Dürrenbommert (Standort heutiger Rechen Papieri) mit einem Schwemmholzanfall von 2'000 bis 2'500 m^3 (HQ_{100} bzw. HQ_{300}) zu rechnen. Die geschätzten Geschiebemengen am Taatobelausgang betragen 7'500 bis 10'000 m^3 (HQ_{100} bzw. HQ_{300}), was zu einer gesamten zurückzuhaltenden Feststofffracht von 9'500 bis 12'500 m^3 führt (siehe auch Tabelle 3-2) [25]. Zwischen dem Rückhalt Dürrenbommert und den Geschiebesammler Schlossbrugg verläuft der Littenbach lediglich auf einer Strecke von ca. 300 m durch ein Waldrandgebiet. Es kann davon ausgegangen werden, dass keine grossen Holzmengen aus diesem Abschnitt anfallen.

Der Geschiebe- und Treibholzfang Dürrenbommert und der Geschiebesammler Schlossbrugg haben gemeinsam ein Rückhaltevolumen von 8'000 bis 10'000 m^3. Basierend darauf sowie auf den Beobachtungen des Hochwassers im 2014 ergibt sich ein Defizit von ca. 2'000 bis 4'000m^3 bezüglich Holz- und Geschieberückhaltkapazität. Der Bau des Holzrückhalts Papieri im Jahr 2018/2019 wurde daher auf ein Auffangvolumen von ca. 4'000 m^3 ausgelegt [30]. Somit besteht eine ausreichend grosse Rückhaltekapazität im Oberlauf des Littenbachs um die gesamte Menge an anfallendem Geschiebe und Schwemmholz aufzufangen.

Die Geschiebe- und Schwemmholzrückhalteanlagen müssen, zur Verhinderung einer Sohlenerosion, teildurchgängig sein und haben deshalb keinen 100-prozentigen Wirkungsgrad. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der Frachten die Rückhaltebecken passieren und in den Unterlauf gelangen können. Im Anschluss an den Geschiebesammler Schlossbrugg befindet sich der enge und lange Durchlass der Tramstrasse. Dieser ist für die Weiterleitung von Schwemmholz nur bedingt geeignet. Die Modellversuche [20],[22] haben jedoch gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit einer Verklausung relativ gering ist.

Unterhalb des Kiesfangs Schlossbrugg ist mit einem sehr geringen bis keinem zusätzlichen Schwemmholzeintrag zu rechnen. Der Littenbach verläuft bis zur Mündung in den RBK nur noch durch Landwirtschafts- und Siedlungsgebiete, in welchen kein Risiko für Totholzmobilisierung besteht. Die Mobilisierung von Holz, welches Bestandteil der Uferbestockung ist, wird ebenfalls als minimal eingestuft, da diese grösstenteils Projektierungsbestandteil des vorliegenden Projektes ist.

Tabelle 3-4: Zusammenstellung der Resultate ([25], [30])

Gewässer	**Ereignis 2014**	**HQ_{100}**	**HQ_{300}**
	[m^3]	[m^3]	[m^3]
Geschiebefracht	2'800	7'500	10'000
Schwemmholzfracht	500	2'000	2'500
Fracht total		**9'500**	**12'500**
Rückhaltevolumen Papieri		3'700 – 4'200	3'700 – 4'200
Rückhaltevolumen Dürrenbommert		6'000 – 8'000	6'000 – 8'000
Kiesfang Schlossbrugg		2'000	2'000
Rückhaltevolumen total		**11'700 – 14'200**	**11'700 – 14'200**
Rückhaltedefizit		**0**	**800 – 0**

3.8.2 Äacheli

Zum Geschiebe- und Schwemmholzanfall im Hinterburg- und Buechholzbach liegen keine Daten oder Studien vor. Im Oberlauf des Buechholzbachs befinden sich gemäss Geoportal des Kantons St. Gallen [10] drei Rückhaltebecken. Über deren Grösse oder Funktion liegen jedoch keine genaueren Informationen vor. Es ist damit zu rechnen, dass der Grossteil des anfallenden Schwemmholzes bereits vor den Bachquerungen zurückgehalten wird. Grund hierfür ist, dass sich entlang beider Bäche bereits vor der Bahnstrassenquerung mehrere Durchlässe mit stark begrenzten Querschnitten befinden, weshalb nur ein sehr geringer bis kein Schwemmholzeintrag vom Oberlauf in den Projektperimeter zu erwarten ist. Aufgrund der sedimentativen Wirkung der drei Rückhaltebecken ist auch nur mit einem sehr geringen Geschiebeeintrag in den Projektperimeter zu rechnen. Höchstens sehr feine Partikel mit Korngrössen im Bereich von Sand oder Silt erreichen den Unterlauf. Innerhalb des Projektperimeters ist mit keiner zusätzlichen Totholz- oder Uferbestockungsmobilisierung zu rechnen, da das Äächeli primär durch Landwirtschaftsflächen und abschnittsweise durch Siedlungsgebiet verläuft.

3.9 Bestehende Gerinnekapazität

Für die Ermittlung der bestehenden Gerinnekapazität wurde das HEC-RAS Modell aus dem Vorprojekt der Bänziger Partner AG verwendet. Die Gerinnekapazitäten wurden für zwei Zustände bestimmt: Ist-Zustand 1, welcher dem Ausgangszustand entspricht, und Ist-Zustand 2, welcher dem Zustand mit den vorgezogenen Massnahmen[1] (Brücke Johs. Dierauerstrasse, Kobelstrasse und Unterhaltsweg SBB Littenbach, s. Abschnitt 0) entspricht. Für den Ist-Zustand 2 wurden die Gerinne- sowie die Brückenquerschnitte entsprechend der bereits durchgeführten und der geplanten Massnahmen im HEC-RAS Modell angepasst. Tabelle 3-5 zeigt die Resultate für die einzelnen Bachabschnitte. Es wurde jeweils die maximale Kapazität pro Abschnitt ermittelt. In einzelnen Fällen kann trotz ausreichende Kapazität aufgrund der Wechselwirkung mit anderen Abschnitten Sinn machen.

[1] Die Brücke Hauptstrasse wurde abweichend zu den Berechnungen des Ist-Zustandes 2 nicht vorgezogen

Tabelle 3-5: Zusammenstellung der bestehenden Gerinnekapazitäten

Gewässer		Abschnitt [m]	Gerinnekapazität [m³/s] (mit Freibord 30 cm / ohne Freibord)			
			Ist-Zustand 1		Ist- Zustand 2	
			RBK hoch	RBK tief	RBK hoch	RBK tief
Littenbach	Durchlass Tramstrasse	2'743 - 2'706	18 / 24	18 / 24	18 / 24	18 / 24
	Gerinne	2'706 - 2'515	33 / 49	33 / 49	41 / 47	41 / 47
	Brücke Johannes Dierauerstrasse**	2'515 - 2'512	15 / 21	15 / 21	34 / 45	34 / 45
	Gerinne	2'512 - 2'300	29 / 36	29 / 36	37 / 41	37 / 41
	Brücke Kropfackerstrasse**	2'300 - 2'291	17 / 23	18 / 25	24 / 32	24 / 32
	Gerinne	2'291 - 1'893	30 / 38	30 / 39	30 / 38	30 / 38
	Brücke Auerstrasse	1'893 - 1'880	32 / 39	33 / 40	34 / 42	35 / 42
	Gerinne	1'880 - 1'631	19 / 24	21 / 25	21 / 26	22 / 26
	Kübachsteg/Klumpensteg	1'631 - 1'628	17 / 22	18 / 23	18 / 24	21 / 26
	Gerinne	1'628 - 1'205	14 / 19	16 / 21	15 / 21	18 / 23
	Steg Kobelstrasse	1'205 - 1'200	10 / 15	13 / 17	21 / 27	24 / 30
	Gerinne	1'200 - 1'000	13 / 18	16 / 20	14 / 22	19 / 24
	Brücke Walzenhauserstrasse	1'000 - 980	20 / 26	22 / 27	22 / 29	26 / 32
	Gerinne	980 - 715	12 / 17	16 / 20	13 / 20	18 / 23
	Brücke Hauptstrasse	715 - 665	27 / 34	30 / 36	26 / 33	30 / 37
	Gerinne	665 - 445	28 / 36	33 / 39	29 / 36	32 / 38
	Brücke Bahnhofstrasse	445 - 425	47 / 57	49 / 59	47 / 56	49 / 59
	Gerinne	425 - 190	43 / 52	46 / 52	44 / 50	46 / 52
	Brücke Rheinstrasse	190 - 170	67 / 76	67 / 76	67 / 75	67 / 75
	Gerinne	170 - 35	86 / 86	86 / 86	86 / 94	87 / 96
	SBB Durchlass	35 - 22	65 / 80	68 / 80	64 / 80	68 / 80
	Gerinne	22 - 18	120 / 133	120 / 130	119 / 131	119 / 131
	Brücke Unterhaltsweg RBK**	18 - 12	0* / 0*	71 / 77	124 / 135	124 / 135
Äächeli	Gerinne	1'395 - 1'364	6 / 9	9 / 12		
	Brücke Kloterenstrasse	1'364 - 1'359	<1 / <1	4 / 6		
	Gerinne	1'359 - 1'062	5 / 9	9 / 13		
	Brücke Wisenstrasse	1'062 - 1'058	2 / 7	8 / 12		
	Gerinne	1'058 - 617	<1 / 3	7 / 10		
	Brücke Emserenstrasse	617 - 607	<1 / 5	9 / 13		
	Gerinne	607 - 343	3 / 10	14 / 17		
	Brücke Hauptstrasse	343 - 327	11 / 16	19 / 21		
	Gerinne	327 - 185	13 / 18	20 / 22		
	Brücke Werkstrasse	185 - 175	<1 / 4	14 / 17		
	Gerinne	175 - 35.1	7 / 14	18 / 21		
	SBB Durchlass, Unterhaltsweg	35.1 - 15.7	0* / 0*	< 1 /13		
Hinter-burgbach	Gerinne	494 - 202	1 / 3	2 / 4		
	Brücke Iselstrasse	202 - 192	<1 / 1	2 / 4		
	Gerinne	192 - 0	<1 / 5	5 / 8		
Buechholz-bach	Gerinne	575 - 549	1 / 2	1 / 2		
	Gerinne	549 - 186	<1 / 2	2 / 3		
	Durchlass Schlatt	171 - 155	<1 / < 1	1 / 2		
	Gerinne	155 - 0	<1 / 3	4 / 6		

*Die mittlere UK der Brücke liegt unterhalb der Wasserspiegellage im RBK. Der Abfluss ist eingestaut.
**Im Rahmen der vorgezogenen Massnahmen bereits angehoben

Da am Äächeli, Hinterburg- und Buechholzbach keine vorgezogenen Massnahmen realisiert wurden, wurde für diese Gewässer nur der Ist-Zustand 1 dokumentiert.

Für die Bestimmung wurden die Bäche in Teilabschnitte unterteilt, der massgebende Querschnitt ermittelt und für diesen den maximal möglichen Abfluss iterativ berechnet. Als Wasserspiegellage des Rheintaler Binnenkanals wurden gemäss [16] «RBK hoch» (Littenbach 402.04 m ü. M., Äächeli 402.60 m ü. M.) sowie «RBK tief» (Littenbach 401.16 m ü. M., Äächeli 401.73 m ü. M.) verwendet. Die Abflüsse wurden einerseits unter Einhaltung, andererseits unter Vernachlässigung des Freibords (f = 30 cm) bestimmt.

Die Abflusssituation im Durchlass Tramstrasse ist aufgrund der nahe liegenden Kiesfangsperre schwierig in HEC-RAS nachzubilden. Deshalb wurde für diesen Durchlass eine zusätzliche Handrechnung unter Annahme von Normalabflussbedingungen am massgebenden Querschnitt durchgeführt. Mittels Handrechnung resultieren Abflüsse zwischen 18 m^3/s (mit Freibord) und 24 m^3/s (ohne Freibord). Damit liegt die Abflusskapazität im ähnlichen Bereich, wie sie im Vorprojekt ermittelt wurde.

Die Resultate zeigen, dass im unteren Abschnitt des Littenbaches grosse Abflüsse durchgeleitet werden können. Dies ist eine Folge der tiefliegenden Bachsohle bzw. der hohen Ufer. Die Kapazität des Littenbaches im unteren Abschnitt ist im Ist-Zustand 1 vorwiegend durch die Kapazität der unterliegenden Unterhaltsweg RBK beeinträchtigt. Anhand der vorgezogenen Massnahme am Unterhaltsweg konnte dieses Nadelöhr eliminiert werden.

Die Abflusskapazität des Äächelis, Hinterburg- und Buechholzbaches für RBK hoch sind über alle betrachteten Abschnitte zu gering um ein HQ_{100} mit genügendem Freibord abzuleiten. Über weite Strecken werden die Bäche ausufern (Ausnahme: Äächeli, Gerinne zwischen Haupt- und Werkstrasse).

3.10 Gewässerzustand

Der ökologische Ausgangszustand des Projekts wird im Detail im UVB der Stufe Hauptuntersuchung von der **CSD Ingenieure AG** und der **FORNAT AG** beschrieben. Im Folgenden daher lediglich eine Zusammenfassung.

3.10.1 Ökomorphologischer Zustand

Der ökomorphologische Zustand der Gewässer wurde durch den Kanton erfasst und ist im Geoportal dokumentiert. Es zeigt sich, dass im Projektperimeter die Gewässer meist der Kategorie stark beeinträchtigt zugeteilt sind.

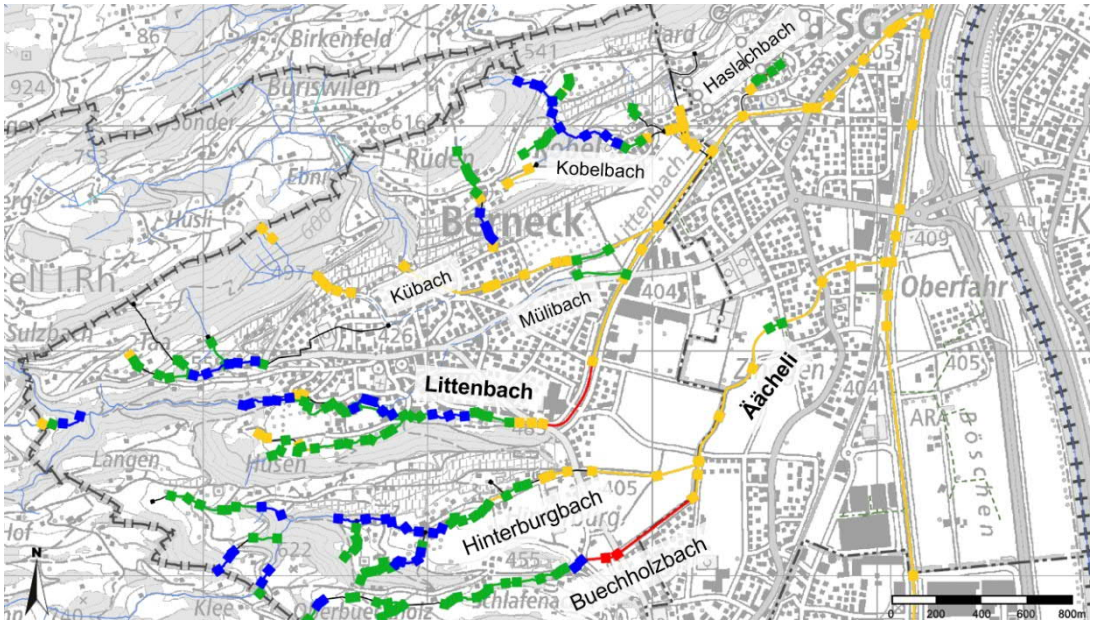


Abbildung 3-8: Karte des Natürlichkeitsgrades der Ökomorphologie, Stand 2013 (https://www.geoportal.ch/ktsg, 14.11.2019) – naturnah (blau), wenig beeinträchtigt (grün), stark beeinträchtigt (gelb), künstlich/naturfremd (rot).

3.10.2 Littenbach

Der Oberlauf des Littenbachs stromaufwärts des Siedlungsgebiets Berneck schneidet tief ins Gelände ein und ist von steilen Seitenhängen geprägt, die bis weit hinauf bewaldet sind. Der Uferbereich grenzt in diesem Abschnitt beidseitig an einen kantonalen Schutzwald (Waldregion Werdenberg-Rheintal). Dementsprechend ist das Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen sehr hoch und die Zugänglichkeit nicht im gesamten Abschnitt gewährleistet. Das Gewässer ist, abgesehen von zwei betonierten Sperren, unverbaut und naturbelassen.

Flussabwärts von Dürrenbommert bis zum Kiesfang Schlossbrugg grenzt der Littenbach primär linksseitig an das Siedlungsgebiet Berneck. In diesem Abschnitt ist durchgehend eine Natursohle sowie beidseitige Uferbestockung vorhanden. Links des Gewässers sind vereinzelte Längsverbauungen wie Mauern und lockere Steinsätze auffindbar. Querverbauungen hat es keine abgesehen von einer Rampe knapp 150 m vor dem Kiesfang Schlossbrugg. Die Wasserspiegelbreitenvariabilität ist generell ausgeprägt und nur in einzelnen Abschnitten leicht eingeschränkt. Die Ökomorphologie des Littenbachs stromaufwärts des Kiesfangs Schlossbrugg wird folglich als "naturnah" bis "wenig beeinträchtigt" eingestuft (siehe Abbildung 3-8).

Der Projektperimeter beginnt unmittelbar nach dem Kiesfang Schlossbrugg. Der betrachtete Abschnitt des Littenbachs ist ca. 2.7 km lang und reicht bis zur Mündung in den RBK. Die Sohlneigung beträgt im oberen Abschnitt 0.9 % und später 0.6%. Weiter unten wird es mit rund 0.7‰ sehr flach. Innerhalb der gesamten Strecke ist nahezu keine Breiten- und Tiefenvariabilität im Gewässer erkennbar und die Sohlenbreite bewegt sich in einem konstanten Bereich zwischen 2.5 m und 4 m. Das trapezförmige Querprofil mit beidseitigen Böschungsneigungen von meist ca. 2:3 bis 1:1, abschnittsweise bis 5:1, gibt dem Littenbach einen Kanalcharakter. Der Böschungsfuss ist beidseitig mit locker bis dicht angebrachten Natursteinen gesichert, wobei sich darüber ein fast flächendeckender Grasbewuchs gebildet hat, sodass die Verbauung nur noch an wenigen Stellen erkennbar ist. Die flache Bachsohle besteht an mehreren Abschnitten aus einer künstlichen angebrachten Steinschüttung, ist sonst aber nicht verbaut. Die Bachsohle ist weitgehend von feinen Sedimenten bedeckt. Diese können den Kiesfang im Oberlauf passieren und lagern sich anschliessend aufgrund der deutlich abnehmenden Sohlenneigung ab (siehe Abbildung 3-9).

Abbildung 3-9: Fotoaufnahmen des Littenbachs bei der Einmündung des Kübachs (links, 16.03.2018) und der Brücke Bahnhofstrasse (rechts, 06.03.2019)

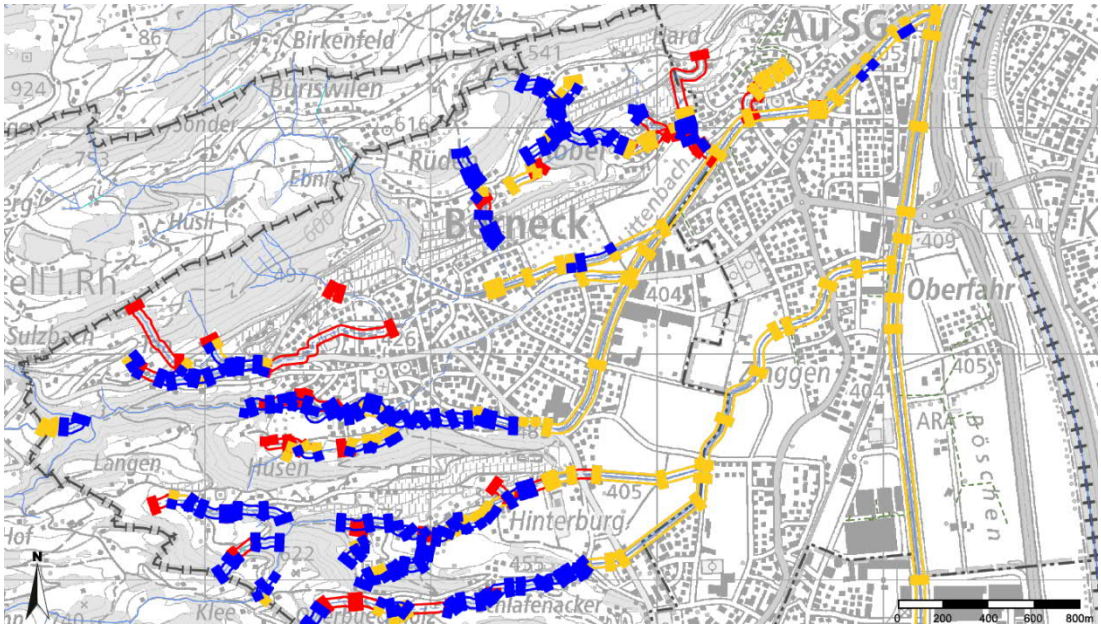


Abbildung 3-10: Zustandskarte Uferbereich, Stand 2013 (https://www.geoportal.ch/ktsg, 14.11.2019) – genügend und >5 m naturnah genutzt (blau), ungenügend und <5 m naturnah genutzt (gelb), kein Uferbereich (rot).

Das zunehmende Wachstum der Siedlungsgebiete Berneck und Au bildet eine beidseitige Begrenzung des Gewässers auf der gesamten Strecke. Hinzu kommen elf Brücken und Stege, welche zusätzliche Einengungen des Gewässerquerschnitts darstellen. Innerhalb des Siedlungsgebietes Au SG, kurz vor der Mündung in den RBK, wird der Littenbach zwischen zwei Mauern geführt und verfügt über keinen Uferbereich. Zwischen Rheinstrasse und Hauptstrasse sind die Uferbereiche begrünt

und mit Bäumen (ein- oder beidseitig) gesäumt. Weiter oberhalb sind die Uferbereiche mit extensiv genutzter Wiese gestaltet und wenige bis keine Bäume auf den Uferkronen gepflanzt. Der ökomorphologische Zustand des Littenbachs wird auf dem gesamten Abschnitt Kiesfang Schlossbrugg bis zur Mündung in den RBK als "stark beeinträchtigt" bis "künstlich / naturfremd" eingestuft.

3.10.3 Hinterburgbach

Oberhalb der Hinterburg ist der Verlauf des Hinterburgbachs geprägt von vielen natürlichen Abstürzen sowie auch drei künstlichen Sperren mit Absturzhöhen zwischen 0.8 und 1.2 m. Zusätzlich existieren fünf künstliche Durchlässe, bei welchen das Gewässer für kürzere Strecken eingedolt ist. Die Tiefen- und Breitenvariabilität ist in diesem Abschnitt relativ gross. Es sind nur einzelne Sohlenverbauungen mit Schüttsteinen vorhanden und auch der Uferfuss ist nur abschnittsweise mit lockeren oder dichten Natursteinen verbaut. Der Uferbereich wird grösstenteils als gewässergerecht eingestuft und ist primär mit Wald bestockt. Der Oberlauf des Hinterburgbachs wird als ökomorphologisch "natürlich/naturnah" bis "wenig beeinträchtigt" klassifiziert.

Abbildung 3-11: Gerinnegestaltung des Hinterburgbachs: km 0.200 Blick gegen Fliessrichtung (links), km 0.200 Blick in Fliessrichtung (mittig), km 0.000 Blick gegen Fliessrichtung (rechts)

Bachabwärts, nach der Eindolung Bahnstrasse beginnt der 0.5 km lange Abschnitt des Hinterburgbachs, welcher sich im Projektperimeter befindet. Der Abschnitt endet bei der Einmündung in den Äächelikanal und weist eine Sohlneigung von ungefähr 2‰ auf. Die Sohlenbreite des Gewässers variiert lediglich zwischen 1.5 und 2 m, was eine reduzierte bis keine Tiefen- und Breitenvariabilität mit sich bringt. Die Bachsohle ist nur an einzelnen Stellen verbaut und es sind insgesamt fünf Durchlässe vorhanden.

Das trapezförmige Querprofil hat einen sehr einheitlichen Verlauf mit einer Böschungsneigung von 2:3. Der Böschungsfuss weist unterschiedliche Verbauungsgrade zwischen 10-60% auf, wobei dichte Mauern wie auch lockere Natursteine zur Sicherung gebraucht wurden. Typische Querschnitte sind in Abbildung 3-11 zu sehen. Der Uferbereich gestaltet sich nahezu durchgehend gewässerfremd mit einer Breite von 1 bis 3 m. Die Ufer sind mit extensiver Wiese begrünt und vereinzelt mit

Bäumen bestockt. Die Ökomorphologie des Hinterburgbachs auf der Strecke Hinterburg bis Mündung ins Äächeli wird vorwiegend als "stark beeinträchtigt" beurteilt.

3.10.4 Buechholzbach

Im Oberlauf des Buechholzbaches bis zur Querung der Alten Landstrasse sind sehr viele natürliche Abstürze sowie auch eine Beton- und zwei Holzschwellen auffindbar. Die Breiten- und Tiefenvariabilität wird als "mässig" bis "eingeschränkt" beurteilt und der Bach ist an mehreren Stellen über kürzere Strecken eingedolt. Die Gewässersohle wie auch der Böschungsfuss sind beide durchgehend unverbaut und das Sohlgefälle ist im oberen Bereich relativ steil. Der Uferbereich ist sehr breit und hauptsächlich mit Wald bestockt und wird dementsprechend als "gewässergerecht" eingestuft. Bis zur Alten Landstrasse hin fällt die Ökomorphologie des Buechholzbaches "naturnah" bis "wenig beeinträchtigt" aus.

Unmittelbar vor der Querung der alten Landstrasse befindet sich ein Geschieberückhalt. Der Projektperimeter beginnt unterhalb der Bahnstrasse und ist bis zur Mündung ins Äächeli rund 575 m lang. Die Sohlneigung bis zur Mündung beträgt ca. 1.4 ‰. Der Buechholzbach ist in diesem Abschnitt begradigt und grösstenteils verbaut. Der Verbauungsgrad nimmt in Richtung der Mündung ins Äächeli wieder ab. Die Gerinnesohle zeigt kaum bis keine Breiten- und Tiefenvariabilität und es sind keine Schwellen vorhanden [10]. Als Folge der geringen Sohlneigung und Fliessgeschwindigkeiten ist die Sohle stark mit Vegetation bewachsen. Der bis zu 4 m breite Uferbereich besteht vor allem aus extensiv genutzter Wiese, weshalb er in diesem Abschnitt als "gewässerfremd" bewertet wird. Die Strecke des Buechholzbachs bis zur Mündung ins Äächeli wird als "stark beeinträchtig" bis "künstlich / naturfremd" beurteilt.

3.10.5 Äächeli

Der Hinterburgbach und der Buechholzbach fliessen kurz vor der Brücke Kloterenstrasse zusammen und bilden das ca. 1.4 km lange Äächeli, welches in geschwungener Linienführung weiterfliesst und schliesslich in den RBK mündet. Das Äächeli ist ein kanalartiges Gewässer mit einem Bachbild, das durch ein trapezförmiges Querprofil mit einer Böschungsneigung von 2:3 bis 1:1 geprägt ist. Der Uferbereich ist im Schnitt ca. 5 m breit und wird als "gewässerfremd" eingestuft. Die Bepflanzung besteht überwiegend aus extensiv genutzter Wiese. Die Gewässersohle ist durchgehend unverbaut und der Böschungsfuss ist nur stellenweise künstlich gesichert. Aufgrund der geringen Sohlneigung und Fliessgeschwindigkeit ist die Sohle stark mit Vegetation verwachsen (siehe Abbildung 3-12). Dies ist der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung der angrenzenden Flächen zuzuschreiben. Das Äächeli wird ökomorphologisch im gesamten Verlauf als "stark beeinträchtigt" klassifiziert.

Abbildung 3-12: Fotoaufnahmen des Äächeli vom 17.10.2019 unmittelbar nach der Brücke Emserenstrasse (links) und vor der Brücke Hauptstrasse (rechts).

3.11 Situationsanalyse Ökologie

3.11.1 Naturzustand

Die historische Eschmannkarte aus dem Jahre 1850 (siehe Abbildung 3-13) zeigt den Littenbach (damals "Lithenbach"), den "Eichelebach" und das "Aach" sowie auch den Rhein in naturnahem Zustand bevor grossräumige Massnahmen zur Kanalisierung der Gewässer ergriffen wurden. Der Littenbach und das "Aach" münden beide in den "Eichelebach" stromabwärts von Au. Ebenfalls sind vereinzelte Moorflächen vorhanden (siehe z.B. gepunktet/gefleckte Fläche bei Monstein in Abbildung 3-13).

In der historischen Siegfriedkrate von 1888 (siehe Abbildung 3-14) heisst der "Eichelebach" nun "Äächeli" und das ursprüngliche "Aach" ist nur noch auf Teilstrecken unter dem Namen "Alter Güllen" vorhanden. Der Littenbach und der "Alte Güllen" münden beide in den Unterlauf des abschnittsweise begradigten Äächeli. Neu kommt der parallel zum "Alter Güllen" verlaufende gerade Güllenkanal hinzu, welcher als Vorgänger vom RBK gilt. Ebenfalls wurde der Littenbach bis zu diesem Zeitpunkt bereits im gesamten Unterlauf begradigt und hatte beinahe den selben Verlauf wie noch heute. Der markanteste Unterschied zum Jahre 1850 ist jedoch der begradigte und kanalisierte Rhein.

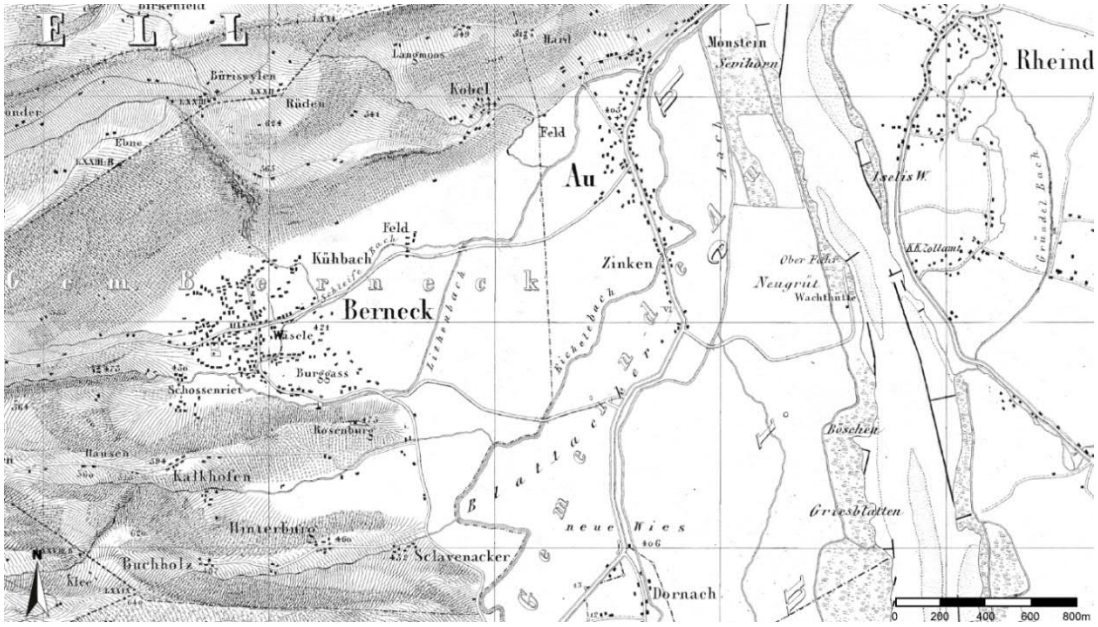


Abbildung 3-13: Historische Eschmannkarte aus dem Jahre 1850 (https://www.geoportal.ch/ktsg, 19.11.2019)

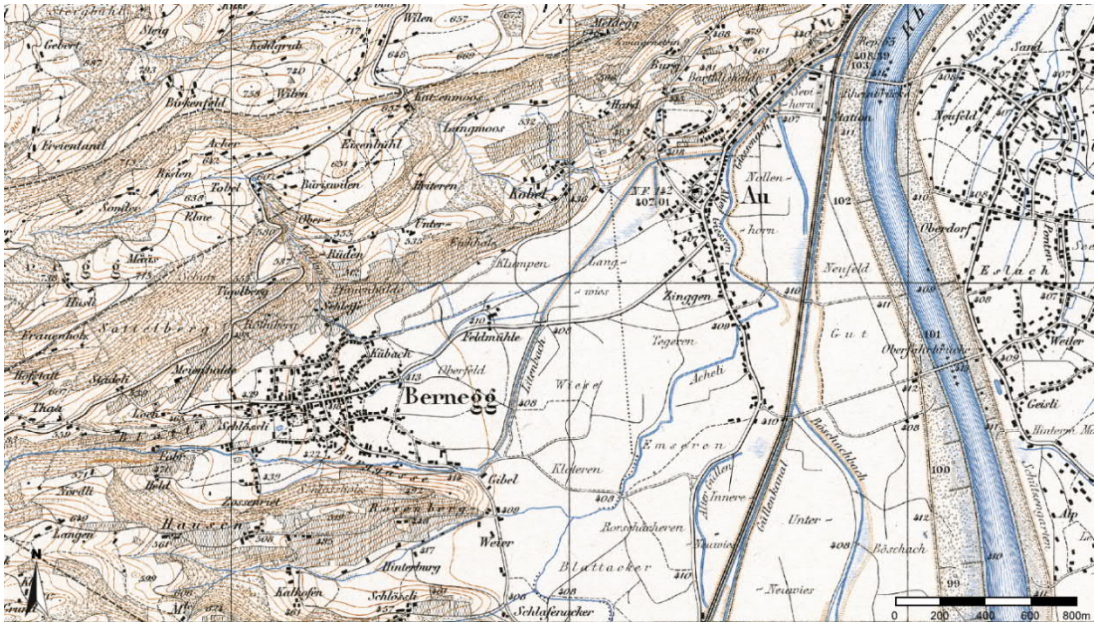


Abbildung 3-14: Historische Siegfriedkarte mit Stand 1888 (https://www.geoportal.ch/ktsg, 19.11.2019).

3.11.2 Referenzzustand und Defizitanalyse

Referenzzustand und Defizitanalyse werden durch CSD Ingenieure AG bzw. FORNAT AG beschrieben und sind innerhalb des Umweltverträglichkeitsberichtes festgehalten [46].

3.12 Baumkataster

Durch die Firma Baumpflege Signer AG wurde entlang des Littenbaches ein Baumkataster mit Planskizze und Bericht zur Erläuterung erstellt [38]. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine Baumerfassung, -beurteilung und –bewertung entlang der rechten Uferseite des Littenbaches zwischen der Rheinstrasse (ca. 180 m) und dem Steg Kobelstrasse (ca. 1'200 m).

Für die Beurteilung der Bäume wurden die Kriterien Wachstum, Wachstumsentwicklung, Kronenstabilität, Bruchfestigkeit sowie Standsicherheit untersucht. Insgesamt wurden entlang des Littenbachs 60 Einzelbäume erfasst. 3 Bäume gelten als sehr wertvoll, 34 sind von Bedeutung, von 11 Bäumen ist der Erhalt eingeschränkt und 12 sind nicht erhaltenswürdig.

Abbildung 3-15: Ausschnitt des Baumkatasters entlang des Littenbaches zwischen den Brücken Rheinstrasse und Hauptstrasse (aus [38] / grün: sehr wertvoll, blau: von Bedeutung, gelb: Erhalt eingeschränkt, rot: bedeutungslos)

3.13 Belastete Standorte

Gemäss dem kantonalen Kataster der belasteten Standorte (Abbildung 3-16, [10]) sind keine Altlasten innerhalb des Projektperimeters ausgewiesen. Im technischen Bericht Strassenbau (vgl. Dok. 02-001) sind in Abschnitt 3.5 belastet Standorte am Rand des Projektperimeters angegeben, welche aber nicht direkt durch das Projekt tangiert werden und so nicht weiter berücksichtigt werden. Aus der Karte Bodenverschiebungen, Prüfgebiete (Geoportal SG) sind die Hauptstrassen Heerbrugg – Berneck, Berneck – Au und Heerbrugg – Au sowie der Familiengarten am Äächeli (Ufer links / Parz. 101) aufgeführt. Diese Prüfgebiete Bodenverschiebung wurden im Rahmen der Projektbearbeitung durch die Klaus Büchel Anstalt untersucht und geprüft [48]. Es ergibt sich daraus, dass

- für die Strassen die Belastung nicht weiter überprüft wurde, da das Vorgehen gemäss Standardverfügung des Amtes für Umwelt angewendet wird.
- im Familiengartenareal ein erhöhter Kupfer-Gehalt festgestellt wurde.

Auf der Parz. 422 (Gemeinde Au) wurde seitens Gemeinde eine Altlast vermutet. Die Überprüfung wurde durch die Andres Geotechnik AG, St.Gallen durchgeführt. Die Untersuchung und die Resultate sind im Bericht "Belastungsabklärungen Parz. 422 – Au" beschrieben (Dossier 01 / Beilage ??).

Zusammengefasst ergibt sich, dass

- nebst sauberem Aushub auch Material anfallen wird, welches auf einer VVEA-Deponie Typ B (früher: Inertstoffdeponie) entsorgt werden muss. Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen muss allerdings nicht mit stark belastetem Material (schlechter als VVEA Typ B) gerechnet werden.

- in einer Bodenprobe lediglich der Grenzwert für Arsen minim überschritten wird.

Bei der Planung sind diese belasteten Standorte berücksichtigt worden.

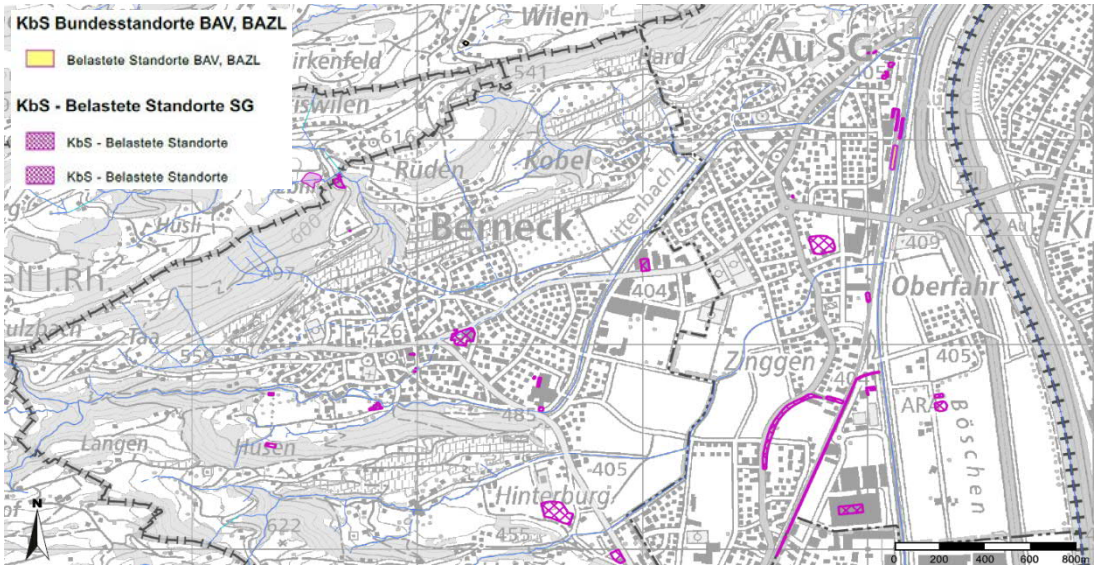


Abbildung 3-16: Kataster der belasteten Standorte (www.geoportal.ch/ktsg, 21.11.2019)

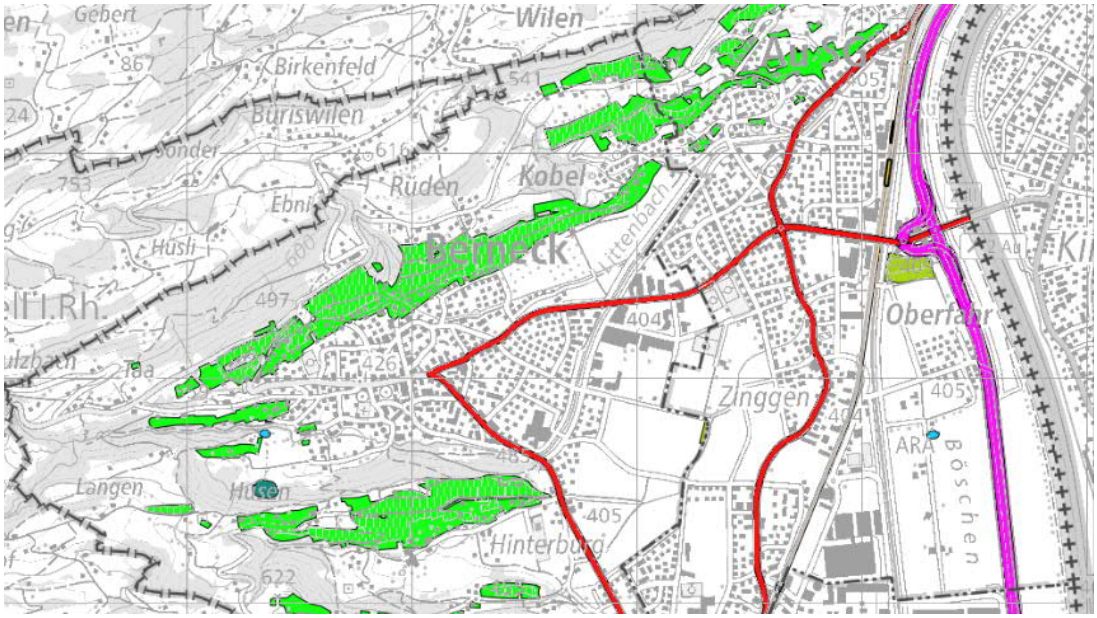


Abbildung 3-17: Bodenverschiebung, Prüfgebiete (www.geoportal.ch/ktsg, 31.03.2020)

3.14 Schutzobjekte

Folgende Schutzobjekte liegen innerhalb des Projektperimeters

- Einzelbäume und Baumgruppen entlang der Gewässer (siehe grüne Punkte in Abbildung 3-18).
- Ortsbildschutzgebiet im Abschnitt Walzenhauserstrasse – Hauptstrasse (braune Flächen)

- Kulturobjekt Wegkreuz am Äächeli (siehe rosarotes Quadrat in Abbildung 3-19 rechts).

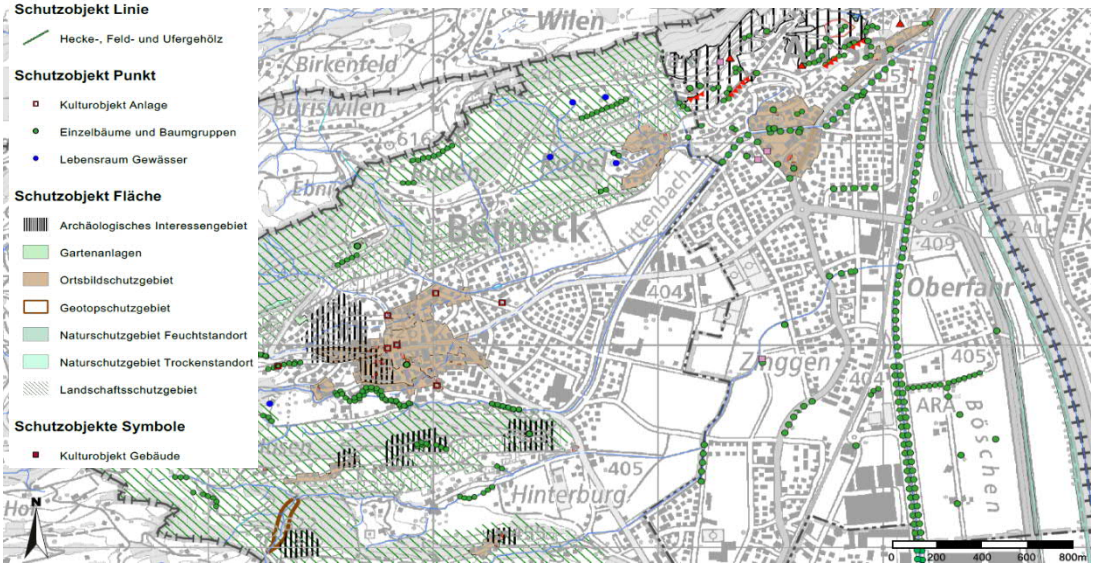


Abbildung 3-18: Kommunale Darstellung der Schutzverordnung (www.geoportal.ch/ktsg, 21.11.2019)

Abbildung 3-19: Ausschnitte aus Abbildung 3-18 (links: Abschnitt des Littenbachs inkl. Kernzone von Au, rechts: Abschnitt des Äächelis)

3.15 Gefahrensituation

Die vorgezogene Gefahrenkarte aus dem Jahre 2003 bzw. die Gefahrenkarte aus dem Jahre 2008 wurden mit wesentlich grösseren Wassermengen gerechnet als für die Projektierung verwendet wurden.

Die Naturgefahrenkommission des Kantons St.Gallen hat sich daher entschlossen, die Gefahrenkarte vor Massnahmen neu berechnen zu lassen.

Diese Resultate liegen zurzeit noch nicht vor.

Die Resultate der Neuberechnung (Gefahrenkarte vor Massnahmen) und die Gefahrenkarte nach Massnahmen sind Bestandteil des Dossiers 08.

3.16 Bestehende Schutzbauten

Nach heutigem Stand bestehen entlang dem Littenbach folgende Schutzbauten:

- Geschiebe- und Treibholzfang Papieri
- Geschiebe- und Treibholzfang Dürrenbommert
- Kiesfang Schlossbrugg
- Stützmauern (insbesondere im Siedlungsgebiet von Au SG)

Entlang der Gewässer Hinterburgbach und Buechholzbach befinden sich folgende Schutzbauten:

- Geschieberückhalt Hinterburg
- Geschieberückhalt Buechholz.

Innerhalb des Projektperimeters befinden sich entlang dem Äächeli und dem Hinterburg- und Buechholzbach keine Schutzbauten. Wasser-, Geschiebe- und Schwemmholzführung erfolgen ausschliesslich über den geböschten Fliessquerschnitt.

3.17 Analyse der Schwachstellen entlang der Gewässer

Dieses Kapitel wird nach dem Vorliegen der Gefahrenkarte vor Massnahmen erstellt.

4 Projektannahmen

4.1 Schutzziele

Gemäss der Schutzzielmatrix des Kantons St. Gallen (vgl. Abbildung 4-1) muss der vollständige Schutz mit minimalen Schäden für geschlossene Siedlungen und Industrieanlagen bis zum dreissigjährlichen Hochwasser (HQ_{30}) und der Schutz vor mittleren bis starken Intensitäten bis zum hundertjährlichen Hochwasserfall (HQ_{100}) gewährleistet sein. Der Littenbach und das Äächeli befinden sich in geschlossenen Siedlungen und sollen so ausgebaut werden, dass ein HQ_{100} ohne Schaden abgeleitet werden kann.

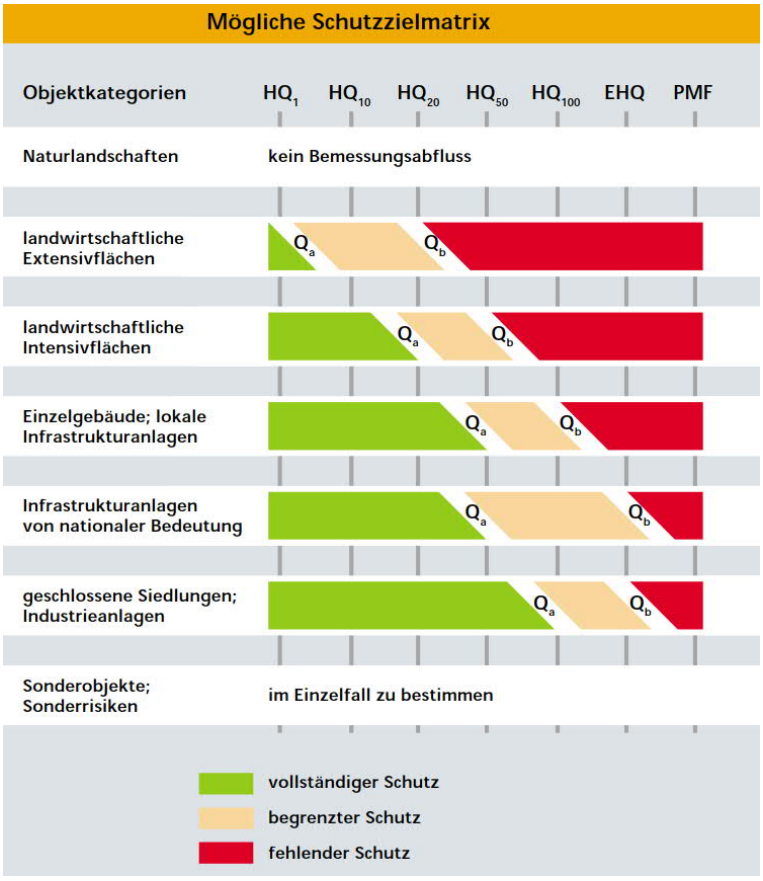


Abbildung 4-1: Schutzzielmatrix gemäss dem Bundesamt für Umwelt BAFU [1] (Q_a: Schadensgrenze, Q_b: Gefahrengrenze)

Sonderobjekte, die ein höheres Schutzziel bedingen, sind nicht explizit ausgewiesen.

4.2 Schutzdefizite

Die vorhandenen Schutzdefizite können der Gefahrenkarte vor Massnahmen entnommen werden (liegt zurzeit noch nicht vor). Nach Fertigstellung der neuen Gefahrenkarte wird der jährliche Schadenserwartungswert basierend auf dieser Karte berechnet.

4.3 Massnahmenziele

Das Schutzziel ist, wie oben beschrieben klar geregelt. Die Massnahmenziele werden aufgrund des definierten Sicherheitsniveaus bestimmt. Das Sicherheitsniveau beschreibt einen Sicherheitszustand, der angestrebt wird und legt die Grenze zwischen dem akzeptablen und dem nicht akzeptablen Risiko fest.

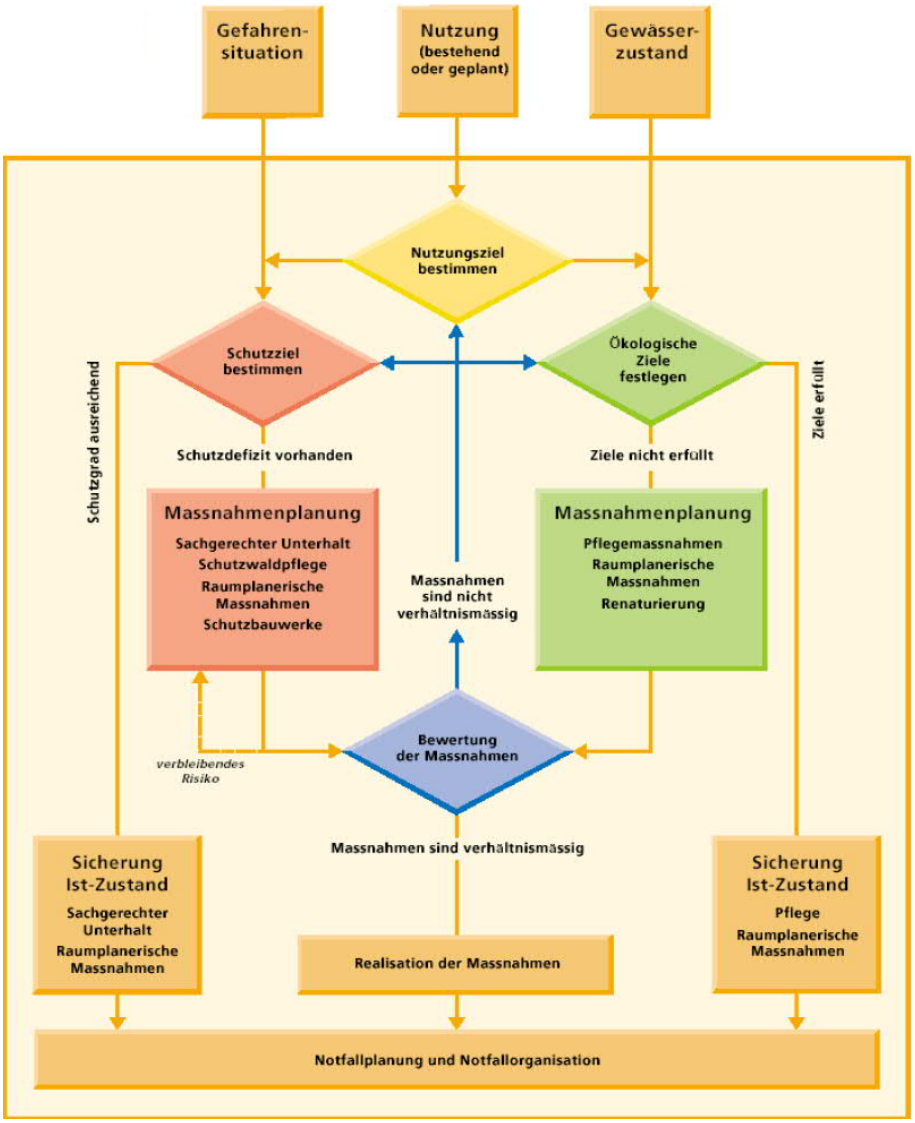


Abbildung 4-2: Planungsprozess für die Festlegung der Hochwasserschutzmassnahmen [1]

In einem Optimierungsprozess in dem die Risiken und Chancen auf der Grundlage einer breiten Massnahmenpalette abgewogen werden, wird das Massnahmenziel bestimmt (s. auch Abbildung 4-2).

Der Staat beurteilt das Grundangebot Flächenschutz. Die Steuerung der Nutzung / Verzicht auf Nutzung, Unterhalt, technische / biologische Schutzmassnahmen, Notfallplanung / Warnung und Alarmierung stehen dem gegenüber.

Das minimale Sicherheitsniveau bzw. Massnahmenziel von Privaten wird durch Versicherungen, Private selbst, den Staat und NGO's bestimmt. Minderungen ergeben sich aus Objektschutz, gefahrengerechter Nutzung und Verhalten.

Vorläufig ist kein Massnahmenziel ausgewiesen, sodass sich die Massnahmen an den Schutzzielen orientieren.

4.4 Festgelegte Dimensionierungsgrössen

4.4.1 Abfluss- und Retentionsszenarien

Im Rahmen der Abklärungen für das Auflageprojekt sind die Ausbaugrössen aus dem Vorprojekt überprüft worden. Hierzu wurde das Dokument "Verifikation Hydrologie" im April 2018 [36] erstellt und dem Kanton St. Gallen zur Stellungnahme eingereicht. Die Abteilung Naturgefahren hat dieses Dokument gesichtet und die Werte für richtig befunden [60]. Neben den massgebenden Abflüssen wurden auch die massgebenden Wasserspiegel im Rheintaler Binnenkanal (Tabelle 4-1) gemäss [16] festgehalten, welche eine wichtige Randbedingung für die hydraulischen Betrachtungen bilden. Sie bilden daher die Grundlage für die Ausarbeitung des Bau- und Auflageprojektes.

Tabelle 4-1: Wasserspiegellagen im Rheintaler Binnenkanal (RBK)

Bach	Szenario	Wasserspiegellage [m ü. M.]
Littenbach	RBK hoch	402.04
	RBK tief	401.16
Äächeli	RBK hoch	402.60
	RBK tief	401.73

Grundsätzlich ist das hydraulische System im Projektperimeter aufgebaut, wie in Abbildung 4-3 dargestellt, bzw. es bestehen die dargestellten Abhängigkeiten. Die Knotenpunkte mit Zahlenwerten entsprechen den hydrologischen Punkten gemäss [36] und Tabelle 3-3. Bei den Knoten A und B handelt es sich um zwei, im Vergleich zum Ist-Zustand zusätzliche, für die Projektierung signifikante hydrologische Punkte (A: Einmündung Entlastungsstollen in Hinterburgbach, B: Abflussdrosselung im Äächeli).

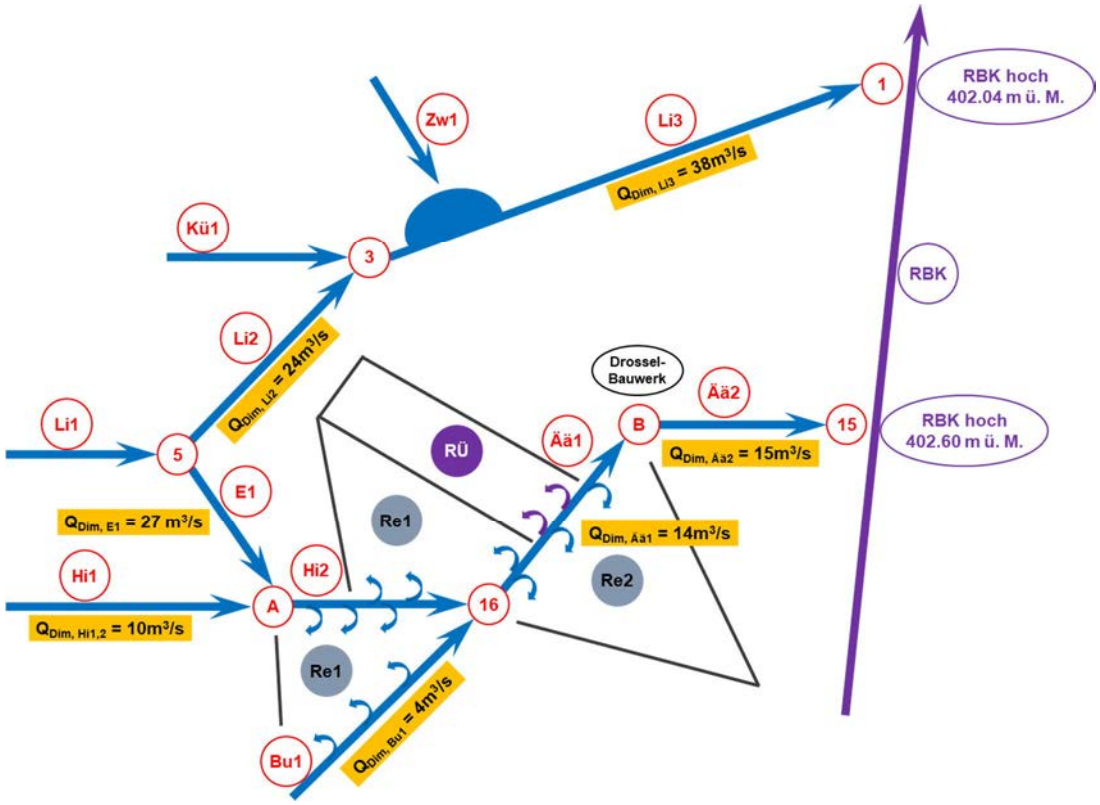


Abbildung 4-3: Gewässer-Schema der Dimensionierungsabflüsse

Innerhalb von Siedlungsgebiet muss der Hochwasserschutz für ein HQ_{100} gewährleitet werden (s. Kapitel 4.1). Aufgrund des Zusammenspiels, resp. der Abhängigkeiten der Bäche innerhalb des Projektperimeters, mussten für die Festlegung der Dimensionierungsabflüsse verschiedene Szenarien betrachtet, und damit die massgebenden Abflüsse bestimmt werden.

Es wurden vier verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Abflusskombinationen der Zuflüsse Li1, Kü1, Zw1, Hi1, und Bu1 definiert. Es wurde hierbei davon ausgegangen, dass die Hochwasserereignisse in Haupt- und Nebengewässer nicht gleichzeitig auftreten. Der Wasserspiegel des RBK ist in jedem Szenario "hoch". Die massgebenden Lastfälle der Hauptgewässer sind:

- Littenbach HQ_{100} im Littenbach, HQ_{30} im Kübach (+ Zwischenzuflüsse)
- Äächeli HQ_{100} im Hinterburgbach, HQ_{100} im Buechholzbach

Da der massgebende Abfluss eine Lastkombination von Hochwasserereignissen unterschiedlicher Wiederkehrperioden ist, wird im Weiteren vom Dimensionierungsabfluss Q_{Dim} statt von HQ_{100} gesprochen.

Die Zuflussmengen für die verschiedenen Szenarien sowie die Dimensionierungsabflüsse sind in Tabelle 4-2 sowie in Abbildung 4-4 ersichtlich. Rote Werte ergeben sich aus der Rückrechnung bei begrenzter Gerinne Kapazität unterstrom. Die Zuflüsse / Gerinneabschnitte Li1, Kü1 und Zw1 liegen ausserhalb des Projektperimeters, weshalb für diese kein Dimensionierungsabfluss definiert wurde.

Tabelle 4-2: Lastfälle respektive Hochwasserszenarien

Szenario	Li1 [m³/s]	Li2 [m³/s]	Kü1 [m³/s]	Zw1 [m³/s]	Li3 [m³/s]	E1 [m³/s]	Hi1 [m³/s]	Hi2 [m³/s]	Bu1 [m³/s]	Ää1 [m³/s]	Ää2 [m³/s]
Dimensionierungs-wassermenge Q_{Dim}	-	24	-	-	38	27	10	10	4	14	15
SZ1 HQ_{100} im Li1 HQ_{30} im Kü1 Q aus Zw1 HQ_{30} im Hi & Bu WSP RBK hoch	-	Σ(Li1-E1)	-	-	Σ(Li2+Kü1 +Zw1)	Σ(Li1-Li2)		Σ(E1+Hi1)		Σ(Hi2+ Bu1)	Max. Q nach Drosselung
	51	24	10	4	38	27	5	32 im Bach 10 Ausufern 22	2 im Bach 2 Rückstau	34 im Bach 14 Ausufern 20	15
SZ2 HQ_{30} im Li1 HQ_{100} im Kü1 Q aus Zw1 HQ_{100} im Hi & Bu WSP RBK hoch	-	Σ(Li1-E1opt) = Li2 red	-	-	Σ(Li2+Kü1 +Zw1) = Li3 red	Σ(Li1-Li2) = E1opt	-	Σ(E1opt+Hi1)	-	Σ(Hi2+ Bu1)	Max. Q nach Drosselung
	26	24 → 17	18	3	45 → 38	2 → 9	10	→ 19	4	→ 23	15
SZ3 HQ_{300} im Li1 HQ_{30} im Kü1 Q aus Zw1 HQ_{30} im Hi & Bu WSP RBK hoch	- (ca. 1.3 * 51)	Σ(Li1-$E1_{HQ300}$)	-	-	Σ(Li2+Kü1 +Zw1)	Σ(Li1-Li2) = $E1_{HQ300}$	-	Σ($E1_{HQ300}$ +Hi1)	-	Σ(Hi2+ Bu1)	Max. Q nach Drosselung
	66	24	10	4	38	42	5	47	2	49	15
SZ4 EHQ im Li1 HQ_{30} im Kü1 Q aus Zw1 HQ_{30} im Hi & Bu WSP RBK hoch	- (ca. 1.5 * 51)	Σ(Li1-E1) = $Li2_{EHQ}$	-	-	Σ($Li2_{EHQ}$+ Kü1+Zw1) = $Li3_{EHQ}$	Σ(Li1-$Li2_{EHQ}$) = $E1_{EHQ}$	-	Σ($E1_{EHQ}$ +Hi1)	-	Σ(Hi2+ Bu1)	Max. Q nach Drosselung
	76	ca. 24-30	10	4	ca. 38-44	ca. 46-52	5	ca. 51-57	2	Ca. 53-59	15

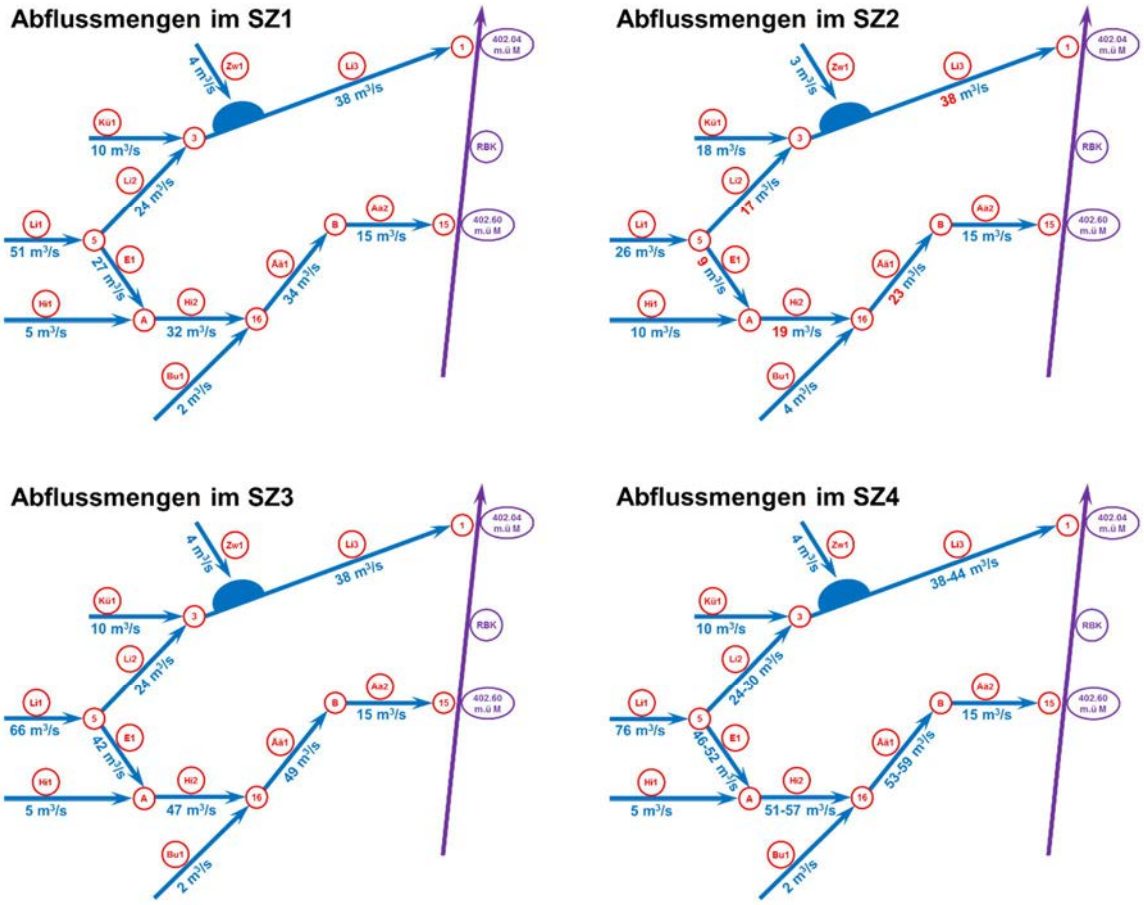


Abbildung 4-4: Schematische Darstellung Hochwasserabflüsse

Für die Auslegung der Retentionsräume und die Berechnungen mittels 2D Modell wurden drei weitere Szenarien definiert. Diese sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt. Die Szenarien SZ5 bis SZ7 unterscheiden sich von den Szenarien SZ1, SZ3 resp. SZ4 aufgrund der gewählten Abflüsse HQ_{30}: Die Abflüsse des Hinterburg- und Buechholzbaches wurden erhöht, so dass die Summe dem Abfluss bei hP16 gemäss Tabelle 3-3 entspricht. Weiter wurde für die Auslegung der Retentionsfläche im SZ7 (Überlast + Flutkorridor) der Mittelwert der möglichen Abflüsse gewählt. Die modifizierten Werte sind in der Tabelle rot markiert.

Tabelle 4-3: Lastfälle respektive Retentionsszenarien

Szenario	Li1 [m³/s]	Li2 [m³/s]	Kü1 [m³/s]	Zw1 [m³/s]	Li3 [m³/s]	E1 [m³/s]	Hi1 [m³/s]	Hi2 [m³/s]	Bu1 [m³/s]	Ää1 [m³/s]	Ää2 [m³/s]
SZ5 = Retentionsflächen 1+2 HQ_{100} im Li1 HQ_{30} im Hi & Bu WSP RBK hoch	51	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	27	6	33	3	36	15
SZ6 = Retentionsflächen 1+2 + Überlast HQ_{300} im Li1 HQ_{30} im Hi & Bu WSP RBK hoch	66	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	42	6	48	3	51	15
SZ7 = Retentionsflächen 1+2 + Überlast + Flutkorridor EHQ im Li1 HQ_{30} im Hi & Bu WSP RBK hoch	76	(ca. 24-30); nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	ca. 46-52 (49)	6	ca. 52-58 (55)	3	ca. 55-61 (58)	15

Die entsprechenden Rückhaltevolumina wurden entsprechend der Festlegung in [36] berechnet, es resultieren die folgenden Werte:

- SZ5 172'000 m³
- SZ6 425'000 m³
- SZ7 637'000 m³

Die Unterstellung der Retentionsräume unter die Stauanlagenverordnung ist erforderlich, wenn Kriterien bezüglich Stauhöhe und Stauvolumen erfüllt werden, oder wenn ein besonderes Gefährdungspotential vorliegt (vgl. Merkblatt Hochwassersicherheit bei Anlagen der Stauanlagenklasse III, Kt. SG [11]). In der Stellungnahme zum Vorprojekt weist die Abteilung Naturgefahren darauf hin, dass die Retentionsbecken der Stauanlagenverordnung nicht unterstellt werden müssen.

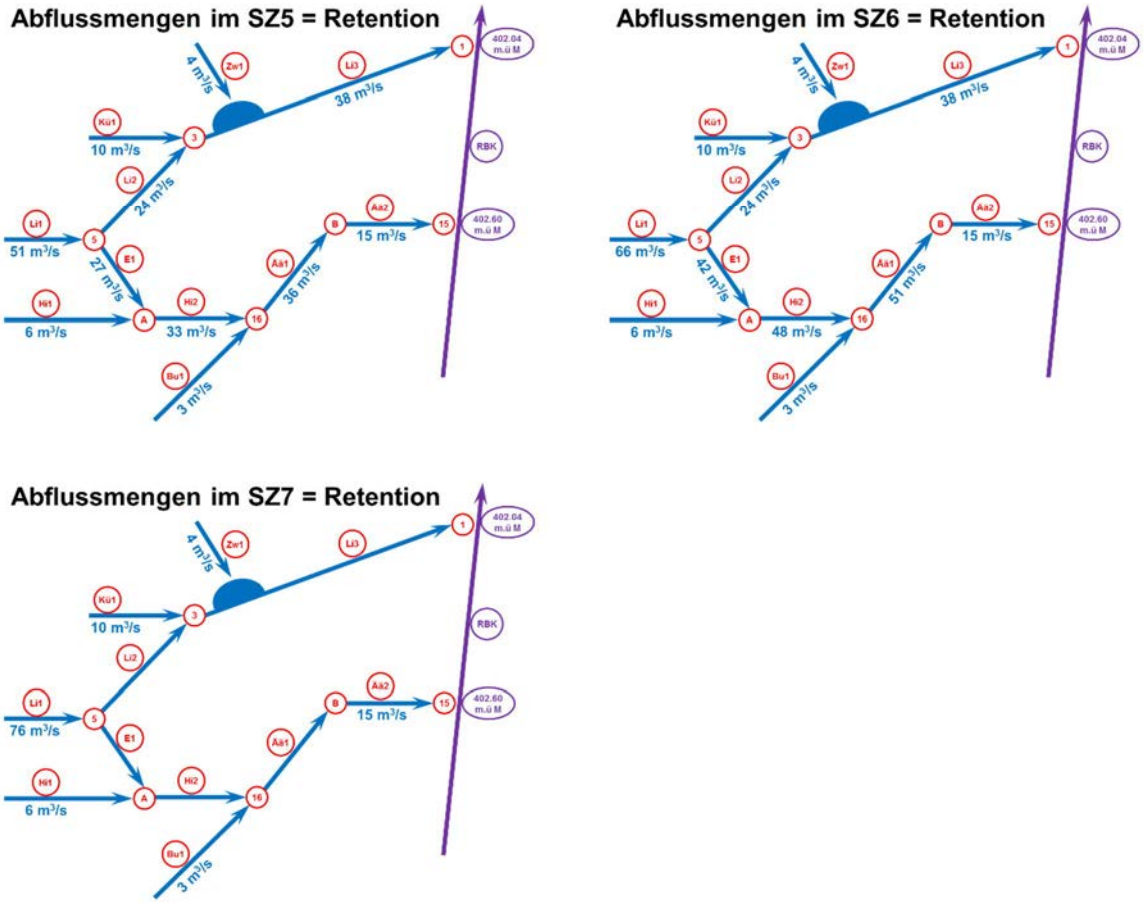


Abbildung 4-5: Schematische Darstellung Hochwasserabflüsse Retentionsszenarien

4.4.2 Freibord

Grundsätzlich wird das Freibord gemäss dem Merkblatt "Freibord für Gerinne und Gewässerübergänge" [4] bestimmt.

Im vorliegenden Fall liegen aufgrund des Einstaus durch den RBK deutlich geringere Fliessgeschwindigkeiten als bei Normalabfluss vor. Zudem liegen die Bemessungsrandbedingungen (SZ1 resp. SZ5) über einem 100-jährlichen Ereignis.

In Zusammenarbeit[2] mit dem AWE St. Gallen, Abteilung Wasserbau wird von einer abweichenden Festlegung Gebrauch gemacht. Es wurden folgende minimale Freiborde festgelegt:

- Ufer f_{min} = 30 cm für Q_{Dim}
- Dämme im Retentionsbereich f_{min} = 30 cm für SZ5
  f_{min} = 0 cm für SZ6
- Brücken, generell f_{min} = 30 cm für Q_{Dim} und RBK hoch

Die Brücken innerhalb des Retentionsbereiches werden im Hochwasserfall eingestaut, resp. überschwemmt. Deshalb wurden für diese Brücken gesonderte Bemes-

[2] Anlässlich der PG12 am 6.3.2019 wird ein Freibord von 30 cm bei RBK hoch empfohlen.

sungsfälle definiert und innerhalb der des Technischen Berichtes Brückenbau Gemeindestrasse (Dossier 4) dokumentiert. Es wird weiter zwischen der Entlastungsstrecke (Hinterburgbach, Äächeli) und dem Buechholzbach differenziert:

- Brücken im Retentionsbereich, Entlastungsstrecke (Ää1, Hi2)
  f = 0 cm, Q = 15 m^3/s für RBK tief
- Brücken im Retentionsbereich, Buechholzbach (Bu1)
  f = 30 cm für Q = 4 m^3/s, Normalabfluss

Mit dieser Auslegung unterscheidet sich somit der massgebende Abfluss für Brückenquerschnitte entlang des Hinterburgbaches von demjenigen für den Ausbau desselben Baches. Der Dimensionierungsabfluss für Brückenquerschnitte wurde von 10 m^3/s auf 15 m^3/s erhöht, wobei hierbei der Freibord vernachlässigt wird. Mit dieser Auslegung soll folgendem Szenario Rechnung getragen werden:

- Hochwasser im Littenbach, bis ca. 39 m^3/s > Entlastung bis ca. 15 m^3/s
- Niederwasser in Hinterburg- und Buechholzbach
- Ungedrosselter Abfluss im Äächeli
- keine Retention infolge Drosselung

Mit dieser Betrachtung soll gewährleistet werden, dass die Hochwassersituation entlang des Hinterburgbaches nicht durch Brückenbauwerke verschlechtert wird, solange freier, ungedrosselter Abfluss im Äächeli vorliegt.

4.4.3 Verklausung

Die Beurteilung der Verklausungsgefahr wird losgelöst vom Freibord und anhand des Merkblatts "Beurteilung der Verklausungsgefahr an Brücken oder Durchlässen" [6] beurteilt. Die vorliegenden Bäche werden als Seitengewässer angesehen und die Verklausungswahrscheinlichkeit muss kleiner gleich 25% bei HQ_{100} sein.

Für Brücken innerhalb der Entlastungsstrecke, resp. innerhalb der Retentionsflächen ist die Verklausungsgefahr aufgrund des Einstaus und der langsamen Fliessgeschwindigkeiten vernachlässigbar. Die Verklausungswahrscheinlichkeit von 25 % muss nicht eingehalten werden.

4.4.4 Terrestrische Durchgängigkeit

Insbesondere innerhalb der Brückenquerschnitte und der Durchlässe ist die terrestrische Durchgängigkeit für uferbegleitende Kleintiere zu ermöglichen. Für die Gewährleistung der terrestrischen Durchgängigkeit werden Bermen realisiert, welche unter Beachtung folgender Kriterien dimensioniert werden:

- Beidseitig flache Laufflächen von je mind. 0.5 m Breite
- Böschungsneigungen max. 2:3
- Trocken bei Mittelwasserabfluss
- Griffiges und nicht unterhaltaufwändiges Material

Aufgrund der fehlenden Datengrundlage zu Mittelwasser- und kleineren Hochwasserabflüssen (Q < HQ_{30}) wird anhand der in [36] definierten Abflüsse HQ_{30}, HQ_{100} und HQ_{300} der Abfluss für HQ_1 abgeschätzt. Da die Entlastung bei einem 1-jährlichen Hochwasser nicht anspringt, wurden für die Abschätzung des HQ_1 die gemäss [36]

definierten Abflüsse verwendet, welche sich ohne Entlastung und Drosselung im Littenbach, Äächeli und Hinterburgbach einstellen würden. Aus der Abschätzung resultieren die Dimensionierungsabflüsse für die Bermenkonstruktion, welche in Tabelle 4-4 zusammengefasst sind. Die Dimensionierung erfolgt unter Annahme von Niederwasserabfluss im RBK, wodurch sich Normalabfluss in den untersuchten Gerinnen einstellt.

Tabelle 4-4: Dimensionierungsabflüsse für die Bermenkonstruktion

Bach	Bachabschnitt	HQ_{100}[1)] [m^3/s]	HQ_1 [m^3/s]
Littenbach	Li2	51	6.9
	Li3	62	8.4
Äächeli	Ää1	20	2.7
	Ää2	20	2.7
Buechholzbach	Bu1	5	0.7
Hinterburgbach	Hi2	11	1.5
Kübach	Kü1	18	2.4

[1)] Hierbei handelt es sich um die Hochwasserspitzen, welche sich ohne Massnahmen einstellen würden (s. [36])

4.4.5 Wirkungsziele Ökologie

In Tabelle 4-5 sind die Wirkungsziele aufgelistet, die für dieses Projekt im Rahmen des UVB durch **CSD Ingenieure AG** und **FORNAT AG** aufgestellt wurden [46].

Tabelle 4-5: Gewässerökologischen Wirkungsziele [46]

Aspekt	**Wirkungsziel**	**Wirkungsbereich**	**Mögliche Erfolgskontrolle**
Gewässer-raum	Gewässerräume schaffen ausreichend Platz für wertvolle morph. Gestaltungsmassnahmen oder eigendynamische Entwicklung	Ganzer Projekt-perimeter (ausserhalb Siedlungszone)	Vergleich der Gewässerraumbreite mit ähnlichen Gewässern im Kanton
Ökomorpho-logie Gerinne	Das aufgewertete Gerinne ist morphologisch klar vielfältiger als im Ausgangszustand	Ganzer Projekt-perimeter	Neu-Beurteilung Ökomorphologie Stufe F, Qualitativ anhand Fotodokumentation
Ökomorpho-logie Gerinne	Die Niederwasserrinne ist schmaler als im Ausgangszustand und wird von einer Hochstaudenflur begleitet.	Ganzer Projekt-perimeter	Messungen Breiten/Wassertiefen bei Niederwasser, botanische Aufnahmen oder Libellen-Beobachtungen
Ökomorpho-logie Uferraum	Die Uferbestockung ist vielfältig und erreicht den Deckungsgrad des ortsspezifischen Lebensraum-Leitbilds gemäss Unterhaltsplan	Ganzer Projekt-perimeter	Quant. Dokumentation der Gehölzpflanzen im Uferraum (Artenvielfalt, Bestockungsgrad)
Wasser-temperatur	Abnahme der Wassertemperatur durch hohen Beschattungsgrad der Niederwasserrinne	Ganzer Projekt-perimeter	Quantifizierung des Schattenwurfs auf der Wasseroberfläche und Vergleich mit

			natürlichen/naturnahen Referenzgewässern
Uferbegleitende Kleintiere	Gute Vernetzung entlang des Gewässerraumes (innerhalb)	Ganzer Projektperimeter	Qualit. Dokumentation Kleinstrukturen und Durchlässe im GWR
Makrozoobenthos	Zunahme der Artenvielfalt und Individuen-Dichte	Ganzer Projektperimeter	Quant. Vorher-Nachher Untersuchung von EPT[1)]-Arten oder anderen guten Indikatorarten (z.B. Libellen)
Fische	Zunahme der Artenvielfalt und Individuen-Dichte	Ganzer Projektperimeter	Quant. Vorher-Nachher Untersuchung mit Hilfe von Befischungen
Fische	Natürliche Reproduktion kieslaichender Fischarten	Littenbach	Nachweise/Beobachtungen von: - Seeforellen-Laichtieren/-gruben - Jungfische anderer kieslaichender Arten
Fische	Freie Fischgängigkeit im System (RBK, Littenbach, Äächeli, Hinterburgbach)	Ganzer Projektperimeter	Messungen Wassertiefen bei Niederwasser, Interpretation Abfischungsresultate (mehrere Stellen im Längsverlauf)
Fische & Krebse, Makrozoobenthos	Bestmöglicher Schutz während Bauarbeiten	Ganzer Projektperimeter	Keine Fisch- und Krebssterben und einwandfreie Abwasser-Kontrollen während der Bauphase

[1)] EPT = Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera

4.5 Gewässerraum

Im Geoportal sind Grundlagenkarten des Gewässerraums respektive dessen generalisierte Gewässerraumbreiten auch für den Projektperimeter verfügbar. Bspw. werden dort für den Littenbach Abschnitt 2'700-2'295 eine Breite von 22.0 m und für den Abschnitt 2'295-1'900 eine Breite von 20 m angegeben. Im Rahmen vom Wasserbauprojekt wurde die minimale Gewässerraumbreite (vgl. Abschnitt 4.5.1) bestimmt. Darüber hinaus und separat zum Wasserbauprojekt wurden der Gewässerraum und die Sondernutzungspläne durch die Firma ERR Raumplaner AG bestimmt (vgl. Abschnitt 0).

4.5.1 Minimale Gewässerraumbreite

Die Firma Hunziker, Zarn & Partner AG wurde beauftragt, die minimal erforderlichen Gewässerraumbreiten für die Gewässer Littenbach, Äächeli, Hinterburgbach und Buechholzbach innerhalb des Projektperimeters zu bestimmen. Die nachfolgenden Informationen werden aus dem Schreiben von Hunziker, Zarn & Partner, 27.07.2018 zusammengefasst [40].

Die minimalen Gewässerraumbreiten wurden aufgrund einer Feldbegehung berechnet. Bei der Begehung wurden die mittleren aktuellen Sohlenbreiten bestimmt und die Auswirkung einer Sohlenverbreiterung auf die Wasserspiegelvariabilität gutachterlich abgeschätzt. Die Einteilung der Abschnitte erfolgte basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen, der Zuflüsse und des Projektperimeters. Für jeden einzelnen Abschnitt wurde die natürliche Gerinnesohlenbreite sowie die minimale Gewässerraumbreite nach den gesetzlichen Vorgaben in Art 41a GSchV sowie unter Einbezug der vorhandenen Erfahrung bestimmt. Die Unterteilung erfolgt grundsätzlich in morphologisch ähnliche Abschnitte und bei einer Abflusszunahme. Infolge dessen erfolgt eine Einteilung in 11 Abschnitte.

Gemäss Art. 41a GSchV ist die minimale Gewässerraumbreite abhängig von der Gerinnesohlenbreite und der allfälligen Lage in einem Schutzgebiet (z.B. Aue). In künstlichen Entwässerungskanälen ist die Bestimmung der natürlichen Gerinnesohlenbreite grundsätzlich nicht möglich. Ohne Entwässerung wäre das Gebiet vermutlich mehrheitlich versumpft und es bestände keine klar definierte Sohle. Bei der Begehung wurden Wülste in den Kanälen identifiziert, welche durch das Filtrieren von Feinsedimenten durch die Vegetation entstehen. Diese weisen darauf hin, dass die bestehende Sohlenbreite tendenziell breiter ist als die natürliche Sohlenbreite für häufige Abflüsse. Aufgrund dieser Tatsache wird erwartet, dass eine Verbreiterung der Sohle, und folglich die Reduktion der Fliessgeschwindigkeit, die Ablagerung von Feinsedimenten und das Aufkommen von Vegetation verstärkt begünstigen. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die bestehende Sohlenbreite der natürlichen Sohlenbreite entspricht.

Die untersuchten Abschnitte befinden sich nicht in einem Inventar, weshalb für alle Abschnitte Art. 41a Abs. 2 gilt. Die Bestimmung der minimalen Gewässerraumbreiten erfolgt anhand der unten folgenden Kriterien. Die ermittelten minimalen Gewässerraumbreiten sind in Tabelle 4-6 erfasst.

- Bäche mit natürlicher Sohlenbreite $b_{nat} \leq 2$ m — 11 m
- Bäche mit natürlicher Sohlenbreite $2 \text{ m} \leq b_{nat} \leq 15$ m — $2.5 \cdot b_{nat} + 7$ m

Tabelle 4-6: Minimale Gewässerraumbreiten (Hunziker, Zarn & Partner AG, 2018)

Bach	Abschnitt	Bestehende Sohlenbreite	Natürliche Sohlenbreite	Min. Gewässerraumbreite
	[m]	b [m]	b_{nat} [m]	b_{GWR} [m]
Littenbach	10 – 200	5.2	5.2	20.0
	200 – 1'250	3.7	3.7	16.3
	1'250 – 1'625	3.3	3.3	15.3
	1'625 – 1'880	3.0	3.0	14.5
	1'880 – 2'700	2.5	2.5	13.3
Äächeli	10 – 610	2.5	2.5	13.3
	610 – 1'395	2.2	2.2	12.5
Hinterburgbach	0 – 495	1.7	1.7	11.0
	495 – 605	Eindolung	1.7	11.0
Buechholzbach	0 – 150	2.2	2.2	12.5
	150 – 575	0.5	1.0	11.0

4.5.2 Planung Gewässerraum und Sondernutzungspläne

Die Breite des Gewässerraumes wurde für die Abschnitte, welche sich innerhalb des Projektperimeters befinden, durch das Büro ERR Raumplanung AG, St. Gallen für die folgenden Gewässerabschnitte berechnet und bestimmt:

- Littenbach Mündung RBK bis Papieri (km 0.00 bis km 4.20)
- Äächeli Mündung RBK bis Hinterburgbach (km 0.00 bis 1.40)
- Hinterburgbach Mündung Äächeli bis Bahnstrasse (km 0.00 bis 0.55)
- Buechholzbach Mündung Äächeli bis Bahnstrasse (km 0.00 bis 0.58)

Zusammen mit der Festsetzung der Gewässerräume wurden auch die im Projekt beanspruchten Retentionsräume raumplanerisch gesichert.

Der Gewässerraum und die Sicherung der Retentionsräume wurde in Zusammenarbeit mit den Gemeinden und dem Projektteam durch das Raumplanungsbüro ERR, St. Gallen erstellt und auf das Projekt abgestimmt.

Die Planung ist innerhalb des Planungsberichtes «Sondernutzungspläne Gewässerraum Hochwasserschutzprojekt Littenbach-Äächeli und Rückhalteraum Kloteren» dokumentiert und in den dazugehörigen Planbeilagen in Dossier 04 ersichtlich.

5 Schadenpotenzial und Risiko

Die Gefahrenkarte nach Massnahmen und die EconoMe-Berechnung werden separat und im Nachgang zum vorliegenden Projekt im Auftrag des Kantons St. Gallen durchgeführt.

Gefahrenkaten vor und nach Massnahmen und die Berechnungen EconoMe sind Inhalt des Dossiers 08.

6 Dimensionierung

Die Dimensionierung der Gerinne und Retentionsflächen erfolgte neben den gängigen Abschätzungs- und Berechnungsmethoden mit 1D resp. 2D hydronumerischen Berechnungen. Für die Modellierung und Berechnung in 1D wurde die Software HEC-RAS in 2D die Software hydro_AS 2D angewendet. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Berechnungen zur Dimensionierung des Wasserbauprojektes dokumentiert.

6.1 1D hydraulische Berechnungen mit HEC-RAS

Neben den komplexen 2D hydronumerischen Berechnungen mit hydro_AS 2D (vgl. Abschnitt 6.1.3.3) sind die Berechnungen der einzelnen Bachabschnitte im Projektzustand mit HEC-RAS (Version 5.0.5) durchgeführt worden. Dieses 1D hydronummerische Programm ermöglicht stationäre und instationäre Berechnungen von Stau- und Senkungslinien. Diverse Gerinneanpassungen und Varianten konnten so einfach geprüft werden.

6.1.1 Modellierung und Ausgabe

Auf Basis der Vermessungsdaten respektive des DTM's konnte das Projekt in einem 3D CAD-Modell aufgebaut werden. Hieraus wurden die Querprofile, äquidistant alle 10 m, exportiert und georeferenziert in HEC-RAS eingelesen. Die Geometrie des Gerinnes wurde mittels 2D-Querprofilen vereinfacht. Nach dem Einlesen in HEC-RAS wurden kritische Stellen eruiert und manuell hinzugefügt. Des Weiteren sind verschiedene Angaben zur Geometrie des Gerinnes und der Rauigkeit erforderlich.

Die Brücken und Durchlässe wurden über manuelle Eingabe in das Modell implementiert. Die Modellierung der Brücken und Durchlässe kann mittels verschiedener Methoden sowohl in der Form, als auch mit hydraulischen Vorgaben wie Rauheiten oder Angaben zu örtlichen Verlusten durchgeführt werden. Die Sohlstrukturierungsmassnahmen können bei dieser Art der Modellierung nicht abgebildet werden, jedoch in Form von erhöhter Sohlen- und Böschungsrauigkeit berücksichtigt werden.

6.1.2 Wahl und Auswirkung Rauheitsbeiwerte

Für die Berechnungen zur Dimensionierung (Projektzustand) wurden die Rauigkeitsbeiwerte gemäss Tabelle 6-1 verwendet. Für die Sohle, Böschung oder Stützmauer wurden bei der Querschnittimplementierung verschiedene Rauheiten angesetzt.

Die Sensitivität der Wahl der Rauheitsbeiwerte wurde geprüft. Erwartungsgemäss ist dessen Einfluss im Littenbach und Äächeli wenig sensitiv. Der Einstau durch den RBK, als untere Randbedingung, führt zu einer Staukurve/-wurzel welche bis oberhalb des Sedimentationsbeckens respektive bis zum Drosselbauwerk führt. Das bedeutet, dass sich ein Normalabfluss in diesem doch sehr langen Gerinneteil nicht einstellen kann. Die Annahme der Rauigkeitsbeiwerte spielt daher, infolge der kleinen Fliessgeschwindigkeiten, eine untergeordnete Rolle.

Anders ist dies beim Entlastungsstollen. Hier liegen hohe Geschwindigkeiten respektive schiessender Abfluss vor. Die richtige Wahl des Rauigkeitsbeiwertes ist hier wichtig, da bei einem kleineren k-Wert die Geschwindigkeit kleiner ist, was zu strömenden Abfluss bzw. einem Fliesswechsel und höheren Wasserspiegel führen kann. Die hydraulischen Berechnungen weisen eine sehr hohe Sensitivität bezüglich der Wasserspiegellage und insbesondere der Lage des Wechselsprungs im Tosbecken

auf. Die Berechnungen der Wasserspiegellagen im Stollen wurden mit einem Rauigkeitsbeiwert von k_{st} = 80 $m^{1/3}/s$ durchgeführt.

Tabelle 6-1: Rauigkeitsbeiwerte für hydraulische Berechnungen im Projektzustand (Werte in Klammer geben untersuchten Bereich an)

Material	Rauigkeitsbeiwert	
	nach Manning n [$s/m^{1/3}$]	nach Strickler k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Sohle aus Sand/Kies	0.033 (0.031 – 0.033)	30 (30 – 32)
Bewachsene Böschung	0.04 (0.035 – 0.05)	25 (20 – 28)
Natursteinmauer	0.027	36
Beton (Durchlässe)	0.025	40
Beton abtaloschiert (Entlastungsstollen)	0.0125	80

6.1.3 Hydraulische Berechnung Gerinne

Für die einfache hydraulische Berechnung des Gerinneausbaus wurden vier Modelle in HEC-RAS aufgebaut:

- Littenbach, Brücke Tramstrasse (2'750 m) bis Mündung in den RBK (0 m)
- Äächeli, Drosselbauwerk (650 m) bis zur Mündung in den RBK (0 m)
- Hinterburgbach (ab 475 m), Buechholzbach (ab 575 m) und Äächeli, Ursprung (1'395 m) bis Mündung in den RBK (0 m)
- Entlastungsstollen, Geschiebesammler Schlossbrugg bis Mündung in den Hinterburgbach

Aufgrund der Tatsache, dass die Gerinne Buechholz-, Hinterburgbach und das Äächeli oberhalb des Drosselbauwerks stark von der Retentionswirkung der umliegenden Flächen beeinflusst werden, erfolgte deren Gerinnedimensionierung ausschliesslich mittels 2D Modell (s. Kap. 6.2). Mit dem drittgenannten Modell wurden ausschliesslich Berechnungen für die Dimensionierung der Brückenquerschnitte innerhalb des Retentionsbereichs durchgeführt.

Mittels HEC-RAS erfolgte eine rein hydraulische Betrachtung. Anhand der resultierenden Wasserspiegel erfolgte anschliessend die Beurteilung des Freibords und die Projektierung der erforderlichen Terrainanpassungen.

6.1.3.1 Resultate Littenbach

Abbildung 6-1 zeigt die grafische Ausgabe (HEC-RAS): Wasserspiegellage, Energiehöhe sowie kritische Höhe für die projektierten Sohlhöhen und Brücken im Lastfall «RBK hoch». Die Abflüsse und die untere Randbedingung wurden entsprechend Kapitel 4.4.1 angesetzt: Bis zur Einmündung des Kübachs (1'620 m) beträgt der Abfluss 24 m^3/s und danach 38 m^3/s, der Wasserspiegel im RBK liegt bei 402.04 m ü. M. Dieser Wasserspiegel wurde in die Längenprofile übernommen.

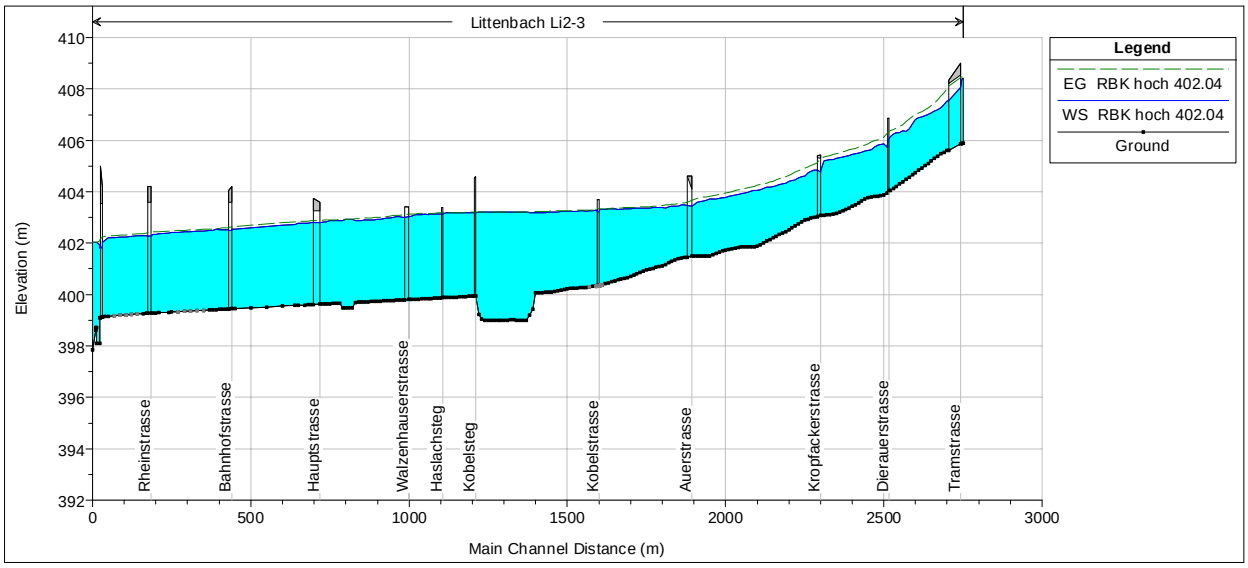


Abbildung 6-1: Hydraulisches Längenprofil Littenbach (2'750 – 0 m)

6.1.3.2 Resultate Äächeli, 650 – 0 m (Ää2)

Im unteren Teil des Äächelis wird durch das Drosselbauwerk Emseren der Abfluss auf 15 m^3/s begrenzt, der Wasserspiegel im RBK liegt bei 402.60 m ü. M. (RBK hoch, s. Kapitel 4.4.1). Es handelt sich hier um eine Gerinneströmung im Staubereich des RBK. Abbildung 6-2 zeigt das hydraulische Längenprofil des Äächelis im unteren Abschnitt im Projektzustand (Ää2, 650 – 0 m).

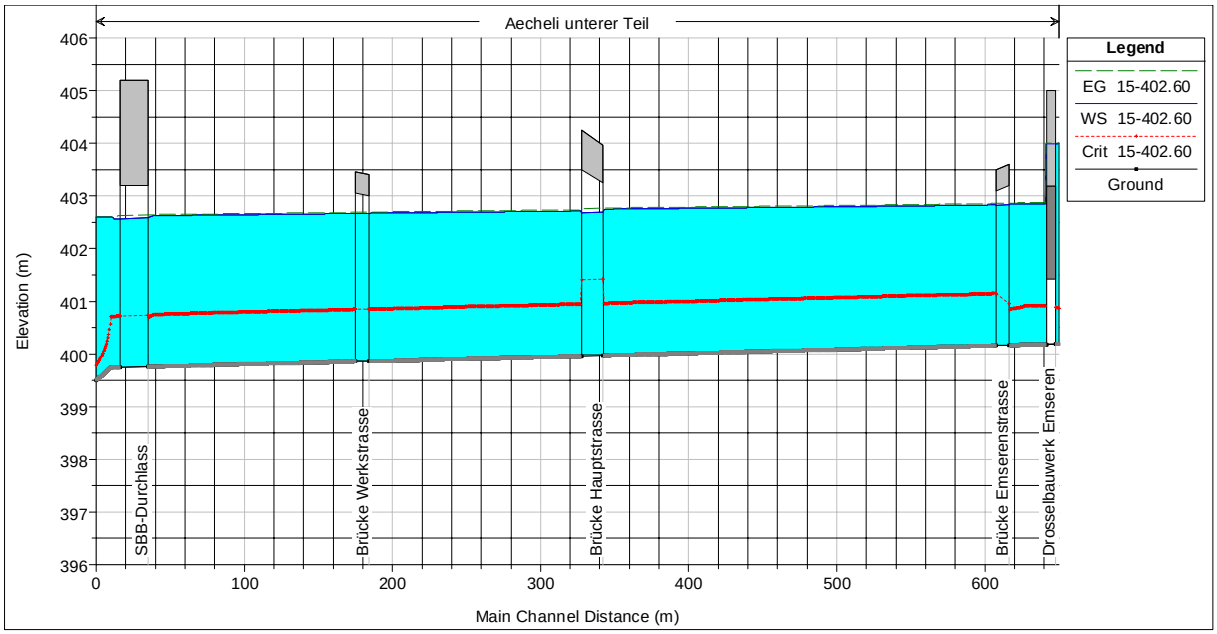


Abbildung 6-2: Hydraulisches Längenprofil Äächeli 2 (650 – 0 m)

Auf den gut 600 m steigt der Wasserspiegel um rund 28 cm an, dies entspricht einem Längsgefälle von rund 0.45 ‰ und ist somit geringer als die Sohlneigung. Die örtlichen Verluste an den Brücken wurden durch entsprechende Querschnittsanpassungen reduziert. Der bestehende, sehr enge SBB-Durchlass war der «Flaschenhals» im System und hat zu einem deutlichen Wasserspiegelanstieg im Oberwasser (quasi auf ganzer Gerinnelänge) geführt. Die Grösse des geplanten, neuen SBB-Durchlass

wurde so bestimmt das die Auswirkungen auf den Wasserspiegel Oberstrom minimal sind. Die Auswirkungen des Vorfluters, der Rückstau durch den RBK, sind jedoch nach wie vor signifikant und führen stets zu einem Wasserspiegelanstieg im Oberwasser.

Eine darüberhinausgehende Absenkung des Wasserspiegels würde mit einem überproportionalen Ausbau Fliess-/Gerinnefläche "erkauft". In Abbildung 6-2 ist die kritische Fliesstiefe dargestellt. Sie dient als Mass für den Fliesszustand respektive auch für die Fliessgeschwindigkeit. Diese ist kleiner als 0.7 m/s im Bemessungsfall, die Sohlschubspannung ist entsprechend klein.

6.1.3.3 Resultate Äächeli, Hinterburg- und Buechholzbach

Das Modell Äächeli – Hinterburgbach – Buechholzbach dient ausschliesslich der Bestimmung der massgebenden Unterkanten der Brücken innerhalb des Retentionsflächen. Die Berechnungen wurden für die festgelegten Szenarien (s. Kapitel 4.4.2) durchgeführt. In Abbildung 6-3 ist das resultierende hydraulische Längenprofil des Äächelis und Hinterburgbaches für Q = 15 m^3/s und RBK tief dargestellt.

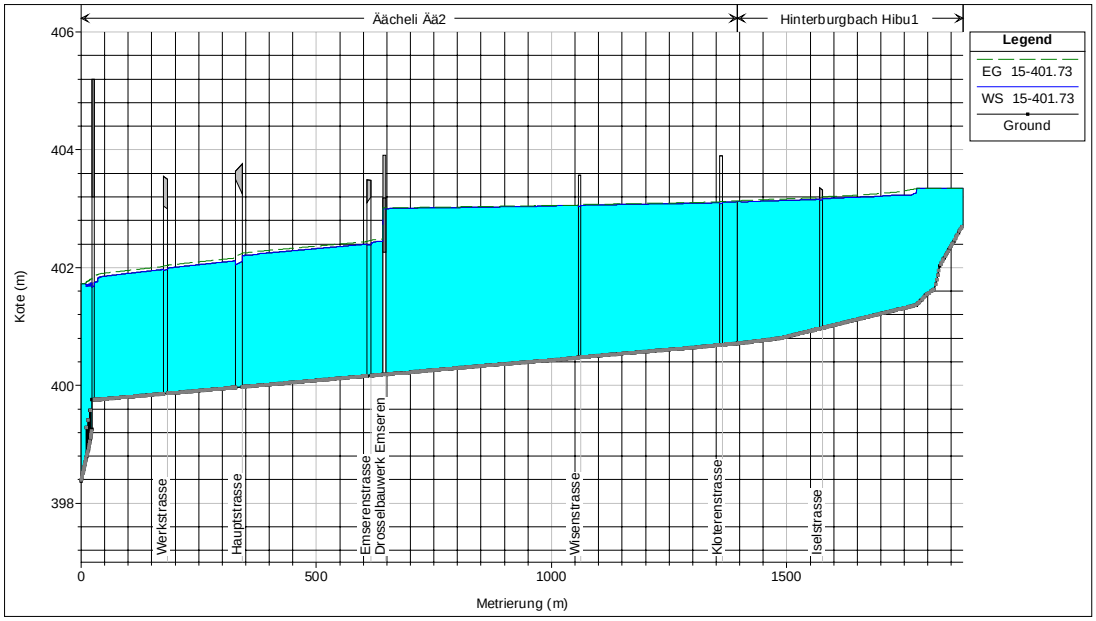


Abbildung 6-3: Hydraulisches Längenprofil Äächeli (1'395 – 0 m) und Hinterburgbach (475 – 0 m) für Q = 15 m^3/s bei RBK tief

Für den Buechholzbach wurden zudem die Wasserspiegel berechnet für Q = 4 m^3/s unter Normalabflussbedingungen. Das resultierende hydraulische Längsprofil sowie der Durchlass-Querschnitt sind in Abbildung 6-4 dargestellt.

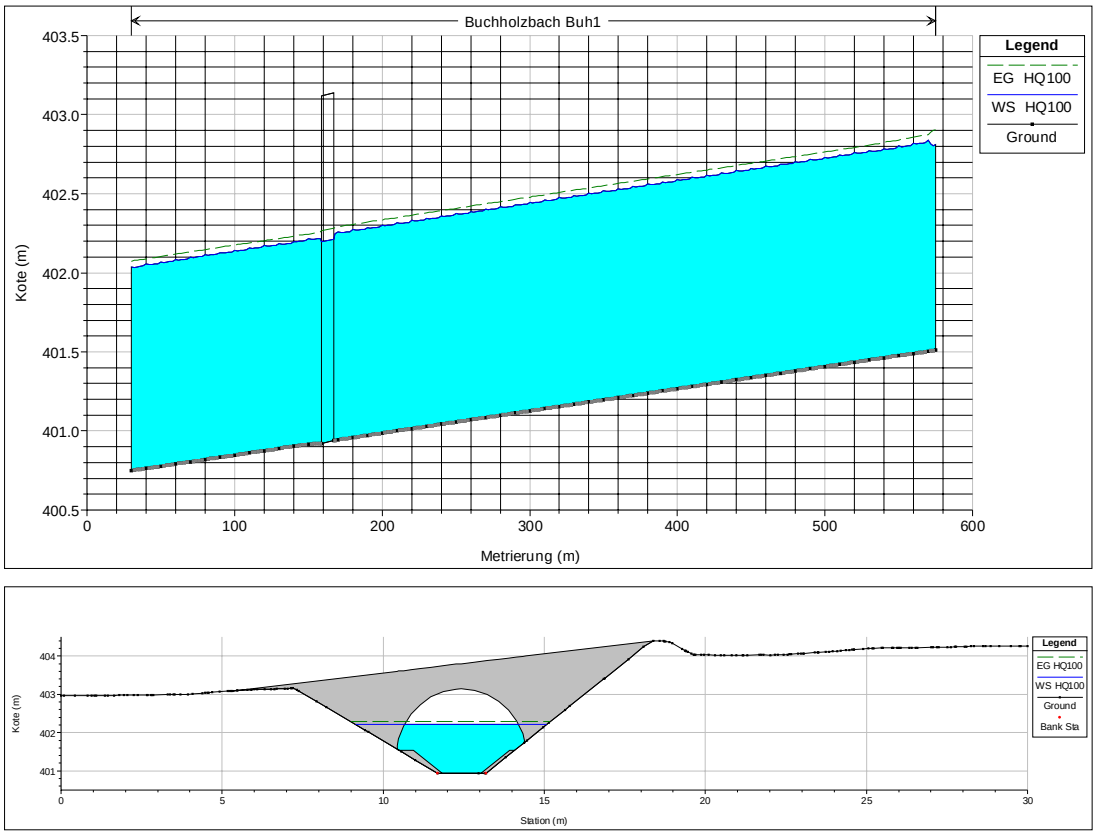


Abbildung 6-4: Hydraulisches Längenprofil Buechholzbach (575 – 0 m) für Q = 4 m³/s unter Normalabflussbedingungen

6.1.4 Auswirkung RBK

Aufgrund des hohen Wasserspiegels des RBK (Vorfluter) und der sehr flachen Sohlneigung sind die Auswirkungen des RBK auf den Wasserspiegel im Littenbach signifikant. Diese wirken sich sehr weit stromaufwärts aus. Abbildung 6-5 zeigt die Lage der Stauwurzel und den Vergleich der Wasserspiegel resp. notwendigen Freiborde.

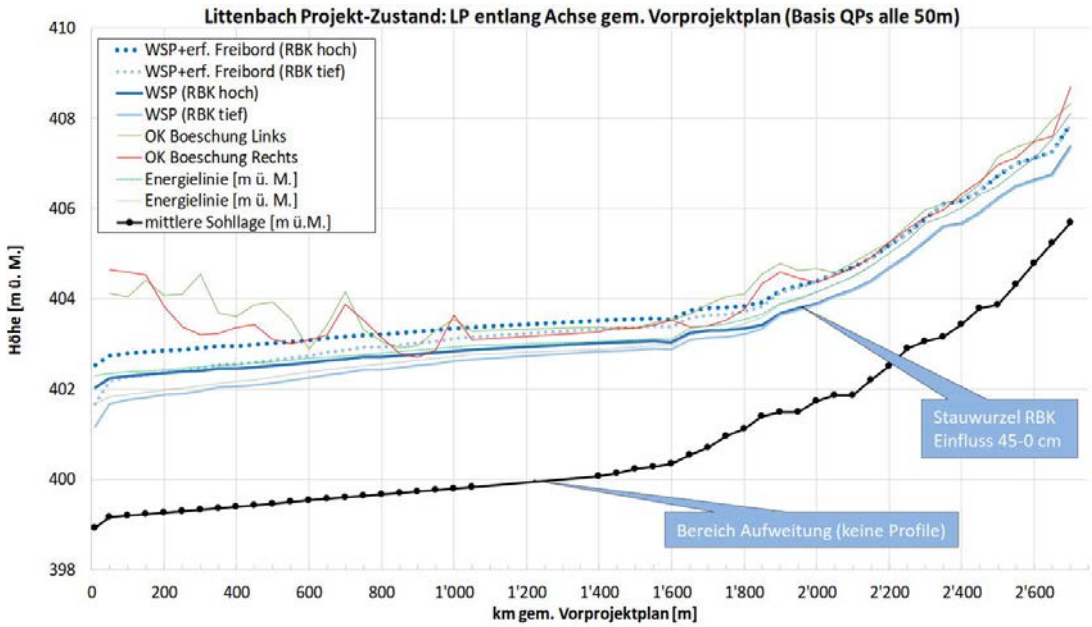


Abbildung 6-5: Längenprofil Littenbach, Vergleich RBK «tief» und «hoch»

Grundsätzlich sind die Auswirkungen des RBK auf den Wasserspiegel im Äächeli analog. Die Stauwurzel reicht hier bis zum Drosselbauwerk an der Emserenstrasse.

6.1.5 Auswirkungen Durchlässe SBB

Der Durchlass Littenbach genügt den hydraulischen Anforderungen knapp, so dass dieser nicht ausgebaut werden muss.

Der Durchlass Äächeli mit einer Breite von 2.70 m und einer Kapazität von ca. 5 m^3/s muss durch einen Neubau ersetzt werden.

Abbildung 6-6 zeigt, das bei genügend grossem Durchlass, wie im vorliegenden Bauprojekt geplant, praktisch keine Auswirkungen auf den Wasserspiegel im Bereich des Durchlasses feststellbar sind. Der dadurch verminderte Wasserspiegel wirkt sich praktisch direkt auf der gesamten Länge des Äächelis aus.

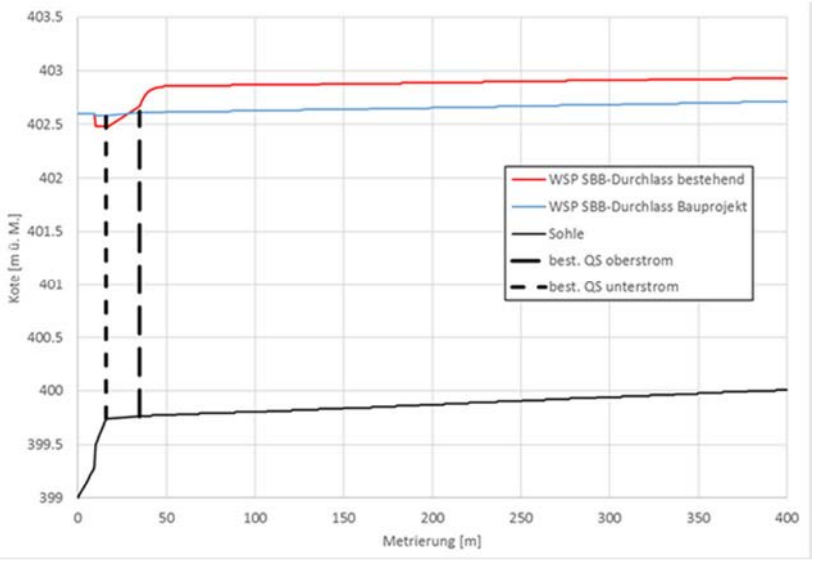


Abbildung 6-6: Vergleich WSP Äächeli bei bestehendem und Durchlass gemäss Bauprojekt

6.1.6 Hydraulische Berechnungen Entlastungsstollen

Auf der Basis des Vorprojekts respektive der Resultate der hydraulischen Modellversuch an der HSR [20][22] wurde die Einlaufsituation beurteilt und bemessen. Es wurden keine hydraulischen Berechnungen des Kiesfang und des Sperrenbauwerks im vorliegenden Bauprojekt durchgeführt (vgl. Abschnitt 6.3).

In Abschnitt 0 sind die hydraulischen Überlegungen und die Auslegung der Anlagenteile des Entlastungsstollens beschrieben. Im vorliegenden Abschnitt sind die 1D numerischen Berechnungen mit HEC-RAS des Entlastungsstollens zwischen dem Einlauf (Stm 20) und dem Tosbecken (Stm 390-420) erläutert. Abbildung 6-7 zeigt die Resultate der Wasserspiegellagen im Längenprofil des Entlastungsstollens. Dabei resultieren Stau- und Senkungslinien, erwartungsgemäss werden keine Normalabflussverhältnisse erreicht.

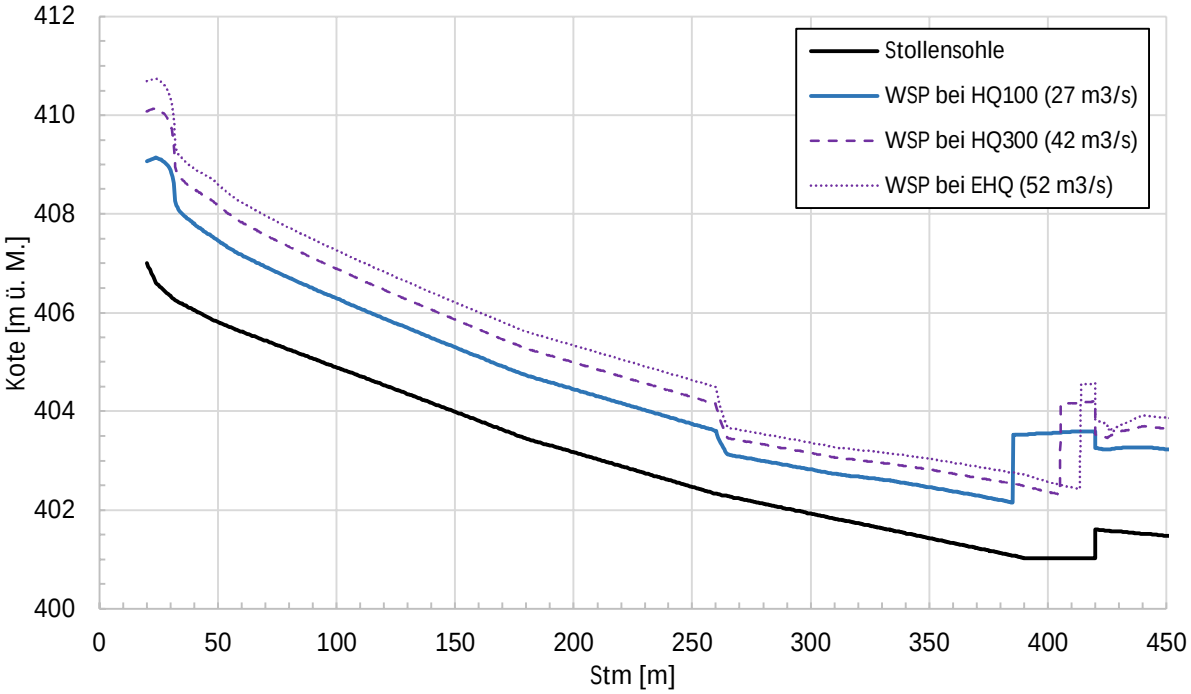


Abbildung 6-7: Längenprofil des Entlastungsstollen mit berechneten Wasserspiegellagen

Im Einlaufbereich wird der Abflussquerschnitt in Fliessrichtung kontrahiert und gleichzeitig ist mit 2.9-2.5% stark geneigt, damit wird die Strömung vergleichmässigt und beschleunigt (Beschleunigungsstrecke).

Der anschliessende Stollen hat ein Längsgefälle 1.8% bis Stm 180, danach 1.4% und ab Stm 260 bis Stm 390 1.0%. Damit wird der benötigte schiessende Abfluss, wodurch eine geringere Fliessfläche benötigt wird, erreicht. Bei schiessenden Abflüssen wird aufgrund der grossen Strömungsgeschwindigkeit, des erhöhten Luftbedarfs und der Gefahr von Stosswellen ein Teilfüllungsgrad von 50% angesetzt. Grössere Teilfüllungsgrade sind mit Belüftungen und Massnahmen zur Vermeidung von Stosswellen grundsätzlich möglich. Im geplanten Entlastungsstollen wird im Dimensionierungsfall HQ_{100} = 27 m^3/s ein Teilfüllungsgrad von ca. 46% erreicht. Im Überlastfall HQ_{300} = 42 m^3/s (Überlastfall) sind es ca. 62%.

Der Übergang von schiessendem zu strömendem Abfluss liegt ausserhalb des geschlossenen Stollens im Bereich Stm 390 bis 420. Hier ist das Tosbecken mit der

Sohlkote von 401.0 m ü. M. und einer Längsneigung von 0 % angeordnet. Für die Sicherstellung, dass der Wechselsprung innerhalb des Tosbeckens auftritt, ist eine Endschwelle von ca. 0.6 m Höhe eingeplant. Hinter dem Tosbecken wird zusätzlich ein Kontrollquerschnitt mit senkrechten Kanalwänden über eine Länge von 5 m angeordnet (Stm 420 – 425).

6.2 2D hydraulische Berechnungen mit HYDRO_AS

Für die Auslegung der Retentionsbecken erfolgte eine 2D Modellierung innerhalb des Projektgebietes. In diesem Kapitel folgt eine Zusammenfassung zu Dimensionierungsvorgang und Resultaten. Die ausführliche Dokumentation ist in Anhang B beigelegt.

6.2.1 IST-Zustand Littenbach

Die Kalibrierung erfolgte im Modell im IST-Zustand. Da lediglich für den Littenbach Messdaten der Wasserspiegellagen im heutigen Ist-Zustand vorhanden sind, erfolgte die Kalibrierung des Modells ausschliesslich am Littenbach. Die Kalibrierung erfolgte basierend auf der für den Littenbach hergeleiteten Pegel-Abfluss-Beziehung. Die Kalibrierung zeigt, dass mit Rauhigkeiten (Strickler-Werte) zwischen 30 $m^{1/3}/s$ (Böschungen) und 40 $m^{1/3}/s$ (Sohle) die beste Übereinstimmung zwischen hergeleiteter und modellierter Pegel-Abfluss-Beziehung erzielt wird.

6.2.2 Projektzustand mit Retentionsberechnungen

Der Rückhalteraum ist innerhalb des Landwirtschaftsgebietes Kloteren geplant. Für die Festlegung des Retentionsflächen-Konzepts sowie den dazu erforderlichen Dammkoten wurde eine zweidimensionale Hydraulik-Modellierung des Projektgebiets durchgeführt.

Dafür wurden die projektierte Gerinnegeometrie und Geländeanpassungen innerhalb des Retentionsbereiches 2D modelliert. Das bestehende Modell des Vorprojektes [26] wurde anhand der weiteren Vermessungen entlang der Gerinne verfeinert.

Als Modellgrenzen, resp. Ein- und Auflaufbedingungen, wurden der Zufluss aus dem Entlastungsstollen in den Hinterburgbach, sowie der gedrosselte Abfluss im Äächeli gewählt. Für die Rauhigkeiten im Projektzustand wurden Strickler-Werte zwischen 25 $m^{1/3}/s$ (Böschungen) und 35 $m^{1/3}/s$ (Sohle) angesetzt.

Für die Bestimmung des Retentionsflächen-Konzepts wurden die Retentionsszenarien gemäss Tabelle 4-3 angesetzt. Es wurde für alle Szenarien dieselbe Ganglinie betrachtet, welche die Abflussspitze nach 3.75 h aufweist und insgesamt 13 h dauert (s. [36]). Die Trenncharakteristik Littenbach – Entlastungsstollen wurde entsprechend der festgelegten Dimensionierungsgrössen (s. Kap. 4.4.1) angesetzt.

Für jedes Szenario (s. Tabelle 4-2) wurden verschiedene Retentionsflächen definiert, die benetzt werden sollten, resp. die trocken bleiben sollten. Es wurden drei verschiedene Retentionsflächen-Konzepte betrachtet, die unterschiedliche Retentionsflächen-Unterteilungen und -Reihenfolgen vorgesehen haben. Iterativ wurden entsprechend den Resultaten die Dammkoten angepasst, und die Berechnungen verifiziert. Als Ergebnis daraus resultierte, dass das Konzept «Vorprojekt» im Vergleich die minimalsten Geländeanpassungen erfordert und damit das beste Konzept ist (s. auch Anhang B.4.3). Das Bestkonzept sieht folgende Reihenfolge vor: Retentionsfläche 1

> Retentionsfläche 2 (bis HQ_{100}) > Retentionsfläche Überlastfall (bis HQ_{300}). Bei grösseren Abflüssen erfolgt eine zusätzliche Entlastung in Richtung Fläche Nord. Als Ergebnis resultieren folgende Dammkoten:

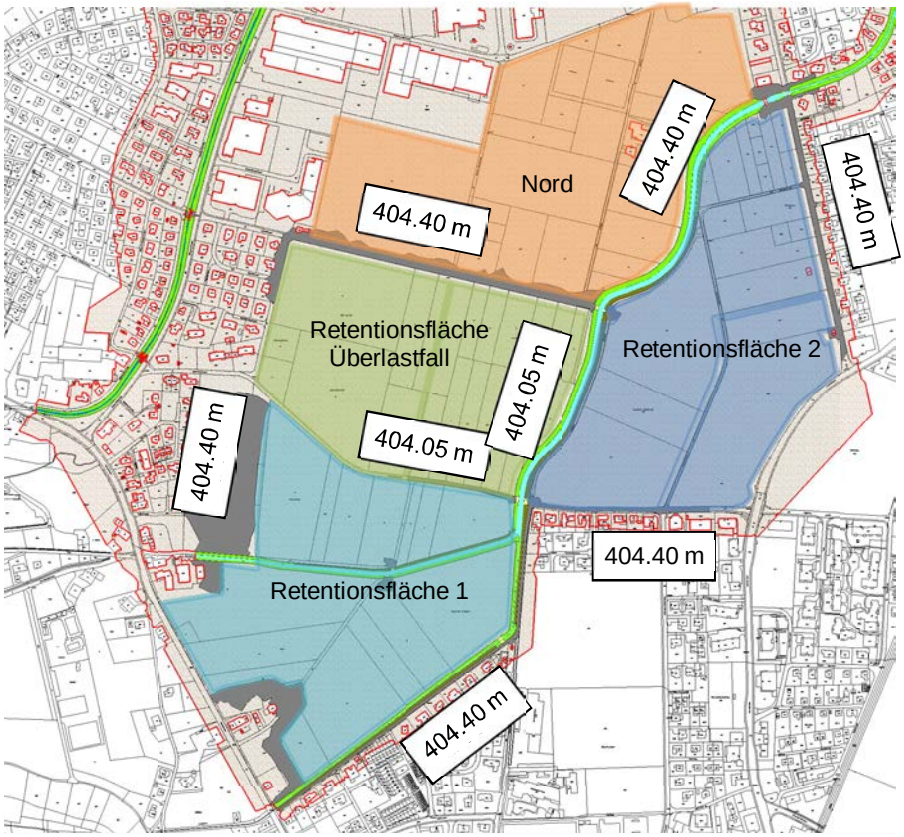
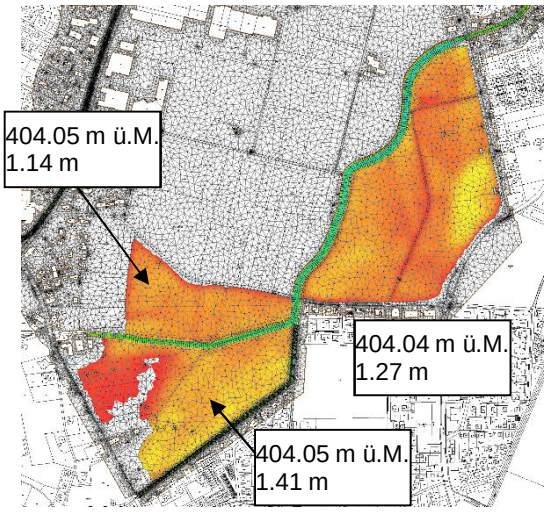


Abbildung 6-8: Planausschnitt mit vermerkten Dammkoten

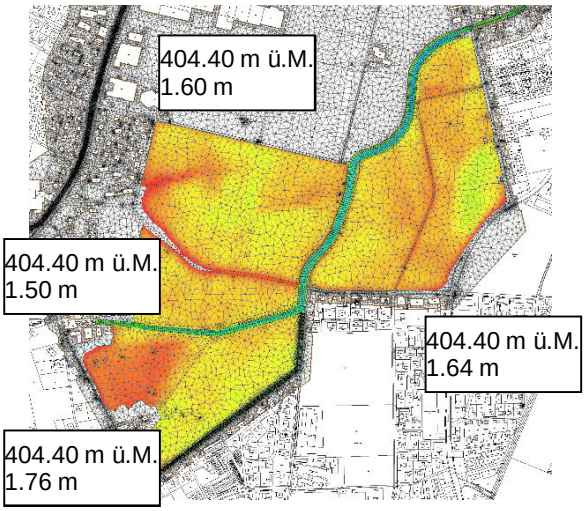
Die resultierenden maximalen Wassertiefen sowie die sich einstellende Wasserspiegellage sind in Abbildung 6-9 dargestellt. Mit den festgelegten Dammhöhen (s. Abbildung 6-8) werden folgende Freibordhöhen erreicht:

- Szenario 5 (HQ_{100}) f = 35 cm Dämme zwischen Siedlung und Retentionsräumen
  f = 0 cm Dämme zwischen Retentionsfläche 1/2 und Überlastfall)
- Szenario 6 (HQ_{300}) f = 0 cm Becken bordvoll gefüllt
- Szenario 7 (EHQ) Dämme werden überströmt

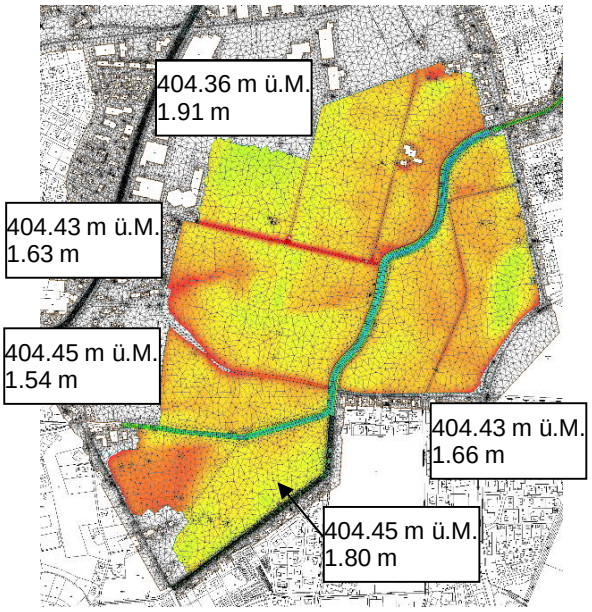
Szenario 5



Szenario 6



Szenario 7



Szenario 5

HQ_{100} im Littenbach, HQ_{30} im Hinterburg- und Buechholzbach, WSP RBK hoch

Szenario 6

HQ_{300} im Littenbach, HQ_{30} im Hinterburg- und Buechholzbach, WSP RBK hoch

Szenario 7

EHQ im Littenbach, HQ_{30} im Hinterburg- und Buechholzbach, WSP RBK hoch

Abbildung 6-9: Modellierte maximale Wassertiefen für die Szenarien 5 bis 7 (maximale Wasserspiegellage / maximale Wassertiefe)

Die konkreten Überströmhöhen auf den Dämmen zw. den Retentionsflächen 1 und 2 und der Retentionsfläche Überlastfall wurden nicht ausgewertet.

Durch die Modellgrenzen können insbesondere die Überflutungsflächen für Szenario 7 (EHQ) nicht vollständig abgebildet werden. Die Modellgrenze entlang der Fläche Nord und den Retentionsflächen verhindert die weitere Ausbreitung der anfallenden Wassermenge. Neben dem Effekt, dass die tatsächliche Ausbreitungsfläche nicht abgebildet wird, kann sich der Wasserspiegel in der Berechnung in den Retentionsräumen geringfügig erhöhen. Der sich tatsächlich einstellende Wasserspiegel liegt deshalb möglicherweise geringfügig tiefer als berechnet.

Abbildung 6-10 zeigt die Drosselwirkung bzw. Retention lässt sich aus dem Vergleich der Zuflüsse im Retentionsraum (Äächeli1, blau) und der Ausflüsse der Schützen in den Äächeli 2 (orange) in Richtung RBK aufzeigen. Deutlich erkennbar ist der auf 15 m^3/s gedrosselte Abfluss im unteren, weniger stark ausgebauten Äächeli.

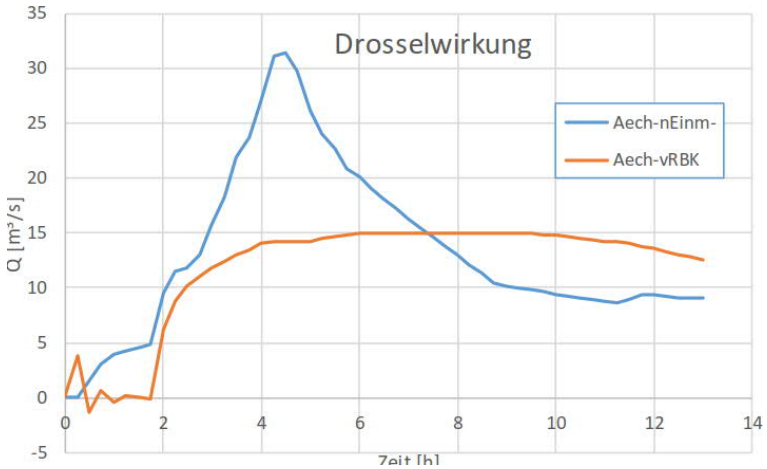


Abbildung 6-10: Vergleich der Zuflüsse zum Retentionsraum und Ausfluss am Drosselbauwerk

Die hydraulische Modellierung benötigt nach Fertigstellung der Strassen- und Brückenprojekten ein «Fine Tuning», um den diversen Abhängigkeiten Rechnung zu tragen. Aufgrund der Modellanpassungen werden aber nur sehr geringfügige Änderungen der Wasserspiegellagen erwartet.

6.3 Hydraulische Berechnungen Kiesfang Schlossbrugg

Im Kiesfang Schlossbrugg findet die Trennung zwischen dem ableitbaren Abfluss durch den Littenbach in den RBK und dem überzuleitenen Abfluss in die Retentionsräume Kloteren statt. Dieser wird damit zur Schlüsselstelle des gesamten Hochwasserschutzprojekts. Die Strömungssituation ist komplex und daher kommen die Berechnungstools der Ingenieurbüros an ihre Grenzen.

Im Vorprojekt wurden aus diesem Grund physikalische Modelluntersuchungen an der HSR [20][22] durchgeführt. Die rechnerisch begrenzte Bemessung vom «Schreibtisch» konnte so zu verifiziert und weiterentwickelt werden.

Im Vergleich zum vorliegenden Bauprojekt wurde in den Modellversuchen das Setting des Vorprojekts mit abweichenden wasserbaulichen Anlagenteilen untersucht.

So ergibt sich im Vorprojektzustand z.B. nicht zwingend ein Fliesswechsel nach dem Wehr in Richtung Entlastungskanal. Die massgebenden Abflüsse entsprechen nicht den Abflüssen, welche im vorliegenden Projekt mittels «Verifikation Hydrologie» festgelegt wurden. Im hydraulischen Modell sind aufgrund der Fliessgeschwindigkeit die Wasserspiegelkoten bei gleichen Wehrabflüssen tiefer, als diese bei der vorliegenden einfachen Berechnung zur Wehrauslegung (vgl. Abschnitt 7.3.2.2) berücksichtigt wurde. Da Unsicherheiten in der Zuströmung der Wehrklappe bestehen, wurde auf der sicheren Seite liegend die Zuströmgeschwindigkeit nicht berücksichtigt. Aus den genannten Gründen ergibt sich, dass die Resultate der Moduntersuchung des Vorprojektzustandes nur sehr begrenzt auf den Bauprojektzustand übertragbar sind.

Im vorliegenden Bauprojekt bildet der Kiesfang Schlossbrugg weiterhin die Schlüsselstelle. Die Zuströmung zum Kiesfang und das Verhalten des Kiesfangs während der Beaufschlagung mit Hochwasser, Geschiebe und Schwemmholz ist nicht Bestandteil des vorliegenden Bauprojekts.

Im Rahmen des Vorprojekts [26] und der in diesem Zusammenhang durchgeführten Modellversuche [20][22] wurde ein maximaler Wasserspiegel im Lastfall HQ_{300} im Sammler von 409.80 m ü. M. ermittelt. Dieser wurde im Bauprojekt wie folgt verwendet:

- Das orographisch linke Ufer des Geschiebesammlers wird mit den Massnahmen an der Burggass (vgl. Abschnitt 7.1.1) aufgrund dieses Wasserspiegels im Kiesfang erhöht.
- Dieser Wasserspiegel wurde für die Bemessung des Wehrs zur Steuerung des Entlastungsstollens angesetzt.
- Der Überfall über die Kiesfangsperre wurde nicht neu beurteilt.
- Die Trenncharakteristik (Littenbach vs. Entlastung) wurde nicht neu beurteilt.

Die erwähnten komplexen Strömungsverhältnisse werden üblicherweise mit hydraulischen Modellversuchen untersucht. Daher kann die Abflusskapazität respektive die neue Trenncharakteristik im Sammler mit dem vorliegenden Bauprojekt nicht abschliessend beurteilt werden. Hierzu ist eine **hydraulische Modelluntersuchung des Bauprojektzustands notwendig**.

6.4 Freibord

Das minimale Freibord beträgt bei Ufern sowie bei Brücken 30 cm und wird aus der Differenz zwischen Wasserspiegel und Böschungsoberkante bzw. Brückenunterkante bestimmt. Als massgebend gilt der Wasserspiegel innerhalb des Brückenquerschnitts.

In Tabelle 6-2 ist das Freibord und die Verklausungswahrscheinlichkeit für alle Brücken im Projektperimeter aufgeführt. Der Wasserspiegel wurde am massgebendem Brückenquerschnitt und für die in Kapitel 4.4.2 definierten Lastfälle bestimmt.

Ausgenommen von den Brücken Isel- und Wisenstrasse weisen alle Brücken ein Freibord von mindestens 30 cm auf. Die beiden genannten Brücken liegen innerhalb der Retentionsflächen und müssen entsprechend der Festlegung in Kapitel 4.4.2 (f = 0 cm für Q = 15 m^3/s und RBK tief) kein Freibord aufweisen. Anhand der einfachen hydraulischen Berechnungen konnte in diesem Szenario keine Verschlechterung der Situation aufgrund der Brücken festgestellt werden. Weiter sind diese Brücken im Szenario SZ1 (Q_{Dim}) eingestaut und werden teilweise überströmt.

6.5 Verklausung

Bei kurzen Beschleunigungstrecken wird die Fliessgeschwindigkeit vor der Beschleunigungsstrecke verwendet. Als massgebender Wasserspiegel wird jeweils jener ca. 5 m stromaufwärts der Brücke verwendet. Grund hierfür ist, dass Brücken oft Fliessquerschnittsverengungen darstellen, wodurch die Fliessgeschwindigkeit unter der Brücke zunimmt und es zur Wasserspiegelabsenkung kommt.

Die Resultate der Berechnungen zur Verklausungswahrscheinlichkeit können der Tabelle 6-2 entnommen werden. Hierbei handelt es sich um die rechnerische Verklausungswahrscheinlichkeit, ohne mögliche Reduktion aufgrund vorherrschenden günstigen Randbedingungen.

Die Vorgabe der maximalen Verklausungswahrscheinlichkeit von 25% wird bei nahezu allen Brücken eingehalten. Gemäss [33] wird die Verklausungswahrscheinlichkeit auch bei der Brücke Kropfackerstrasse (vorgezogene Massnahme) eingehalten. Unter anderem wurde dieser Brückenquerschnitt konstruktiv günstig ausgebildet, so dass eine Reduktion von 50 % auf 25 % zulässig ist.

Die erhöhte Verklausungswahrscheinlichkeit bei der Tramstrasse ist eine Folge des geringen Fliessweges zwischen Kiesfangsperre Schlossbrugg und dem Durchlass. Aufgrund der Kiesfangsperre liegt 5 m oberstrom des Durchlasses ein höherer Wasserspiegel vor als bei normalen Fliessbedingungen, weshalb die Verklausungswahrscheinlichkeit zu hoch ausfällt. Die Verklausungswahrscheinlichkeit kann nur reduziert werden, wenn der Durchlass erneuert und konstruktiv günstig ausgebildet wird.

Die Brücken Wisen- und Iselstrasse liegen innerhalb der Retentionsflächen und werden bei einem Hochwasser eingestaut, weshalb sie weniger strenge Anforderungen erfüllen müssen. Diese werden mit einer Verklausungswahrscheinlichkeit von 50 % erfüllt.

Tabelle 6-2: Übersicht über das Freibord und die Verklausungswahrscheinlichkeit der Brücken

Brücke	Massnahme	Metrierung [m]	UK neu[1] [m ü. M.]	Massgeb. WSP[2] [m ü. M.]	Freibord [cm]	Verkl.-w'keit[3] [-]
Littenbach						
SBB-Durchlass	Anpassung	30	402.81	401.97	84.00	25%
Rheinstrasse	Neubau	180	403.59	402.25	134.00	25%
Bahnhofstrasse	Anpassung	435	403.60	402.51	109.00	25%
Hauptstrasse	Neubau, vorgezogen	700	403.18	402.72	46.00	25%
Walzenhauserstrasse	Neubau	990	403.45	403.04	41.00	25%
Haslachsteg	Neubau	1'102	403.55	403.13	42.00	25%
Kobelsteg	Neubau	1'208	403.95	403.16	79.00	25%
Kobelstrasse	Neubau	1'595	403.59	403.27	32.00	25%
Auerstrasse	keine	1'890	404.11	403.46	65.00	25%
Kropfackertrasse	Neubau, vorgezogen	2'295	405.19	404.85	34.00	50%
J.-Dierauerstrasse	Neubau, vorgezogen	2'513	406.69	406.16	53.00	25%
Durchlass Tramstrasse	Anpassung	2'700	408.55	408.24	31.00	50%
Kübach						
Littenbachweg	Neubau		403.60	403.27	33.00	25%
Äächeli						
SBB-Durchlass	Neubau	25	403.30	402.57	73.00	25%
Werkstrasse	Neubau	180	403.08	402.69	39.00	25%
Hauptstrasse	Anpassung	335	403.25	402.77	53.00	25%
Emserenstrasse	Neubau	610	403.16	402.85	31.00	25%
Wisenstrasse	Neubau	1060	403.22	403.05	7.00	50%
Kloterenstrasse	Neubau	1360	403.71	403.10	67.00	25%
Hinterburgbach						
Iselstrasse	Neubau	200	403.17	403.17	0.00	50%
Buechholzbach						
Schlatt	Neubau	160	402.52	402.21	31.00	25%

[1] Bei Bogenbrücken oder geneigten Brückenplatten ist die mittlere Unterkante der Brücke angegeben, welche gemäss [2] massgebend für die Freibordbetrachtung ist.
[2] Wasserspiegel für die Berechnung des Freibords unterhalb des massgebenden Brückenquerschnittes für die in Kapitel 4.4.2 definierten Festlegungen.
[3] Es handelt sich hierbei um die rechnerische Verklausungswahrscheinlichkeit, und Beurteilung gemäss der in Kapitel 4.4.3 definierten Festlegungen.

6.6 Terrestrische Durchgängigkeit

Die Bermenhöhe für die terrestrische Durchgängigkeit bei den Brücken wurde auf der Basis der Normalien des Kantons St. Gallen [5] sowie von den in Kapitel 4.4.4 genannten Annahmen berechnet.

Die implementierte Berme wurde in einem ersten Berechnungsgang standardisiert, und in den nachfolgenden Berechnungsgängen optimiert. Die optimierte Berme wurde soweit angepasst, dass die in Kapitel 4.4.4 genannten Voraussetzungen erfüllt werden. Die aus den Berechnungen erforderlichen Höhen sind in Tabelle 6-3 aufgeführt. Die Erstellung ist nicht bei allen Brücken sinnvoll, resp. nicht notwendig (vorgezogenen Neubauten, bereits realisiert). Diese Diskussion folgt innerhalb der Massnahmenplanung, Kap. 7.5.2.

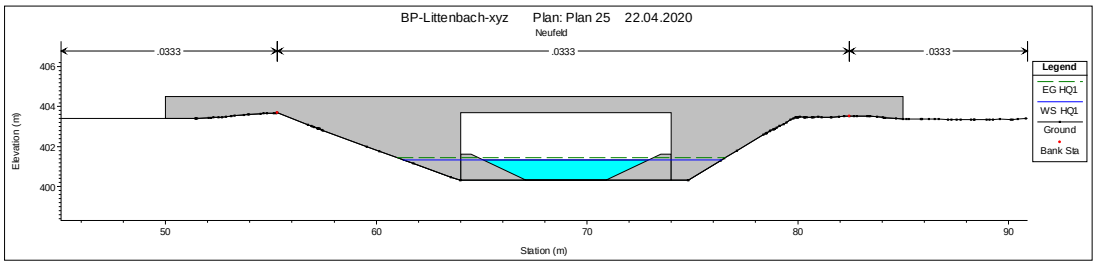


Abbildung 6-11: Resultierender Wasserspiegel für HQ_1 am Beispiel des Brückenquerschnittes Kobelstrasse (OW)

Tabelle 6-3: Erforderliche Bermenhöhen für HQ_1

Brücke	Massnahme	Metr. [m]	HQ_1 [m^3/s]	WSP [m ü. M.]	Erf. Höhe [-]
Littenbach					
Durchlass Tramstrasse	Anpassung	2'743.50	6.9	407.34	1.47
Brücke Joh.-Dierauerstrasse	Neubau, vorgezogen	2'516	6.9	405.13	1.09
Brücke Kropfackerstrasse	Neubau, vorgezogen	2'299.50	6.9	403.93	0.86
Brücke Auerstrasse	bleibt wie bestehend	1'893	6.9	402.23	0.73
Brücke Kobelstrasse	Neubau	1'572.50	8.4	401.38	1.02
Kobelsteg	Neubau	1'209.50	8.4	401.26	1.32
Haslachsteg	Neubau	1'104.00	8.4	401.12	1.24
Brücke Walzenhauserstrasse	Neubau	998	8.4	401.09	1.28
Brücke Hauptstrasse	Neubau	712.5	8.4	401.00	1.38
Brücke Bahnhofstrasse	Anpassung	440	8.4	400.57	1.13
Brücke Rheinstrasse	Neubau	185	8.4	400.33	1.05
SBB Durchlass, Littenbach	Anpassung	32	8.4	400.35	1.23
Äächeli					
Brücke Kloterenstrasse	Neubau	1'363	2.7	401.35	0.66
Brücke Wisenstrasse	Neubau	1'062	2.7	401.20	0.72
Brücke Emserenstrasse	Neubau	616.5	2.7	401.06	0.89
Brücke Hauptstrasse	Anpassung	342.5	2.7	400.81	0.83
Brücke Werkstrasse	Neubau	184	2.7	400.63	0.76
SBB Durchlass, Äächeli	Neubau	28	2.7	400.15	0.39
Hinterburgbach					
Iselstrasse	Neubau	191	1.5	401.46	0.47
Buechholzbach					
Durchlass Schlatt	Neubau	160	0.7	401.51	0.57
Kübach					
Brücke Littenbachweg	Neubau	-	2.4	400.81	0.46

Die Höhenlage der Berme ist massgebend bestimmt durch die Planung der Fundation der Brücken. Diese sind wiederum durch das Bauverfahren respektive den ermittelten Grundwasserspiegel bestimmt. Daher kann es zu Abweichungen der hydraulisch ermittelten Bermenhöhen gemäss Tabelle 6-3 kommen.

6.7 Sedimentationsbecken Klumpen (Littenbach)

6.7.1 Gefällsverhältnisse und Auswirkungen RBK

Abbildung 6-12 zeigt ein Längenprofil des Littenbachs von der Mündung in den Rheintaler Binnenkanal (RBK) links (Metrierung 0) bis zum Kiessammler Schlossbrugg oberhalb des Durchlasses der Tramstrasse (Metrierung ~2'800). Das Gefälle der Sohle variiert zwischen 0.03% und 0.4%. Am flachsten ist der Abschnitt zwischen der Brücke der Hauptstrasse und dem oberen Ende des geplanten Sedimentationsbeckens (0.03%). In Richtung der Mündung des RBK nimmt das Gefälle auf 0.1% und bachaufwärts auf 0.14% bis zur Einmündung des Kübachs zu. Von dieser Mündung bis zur Brücke der Johannes Dierauerstrasse weist die Sohle ein Gefälle von 0.4% auf.

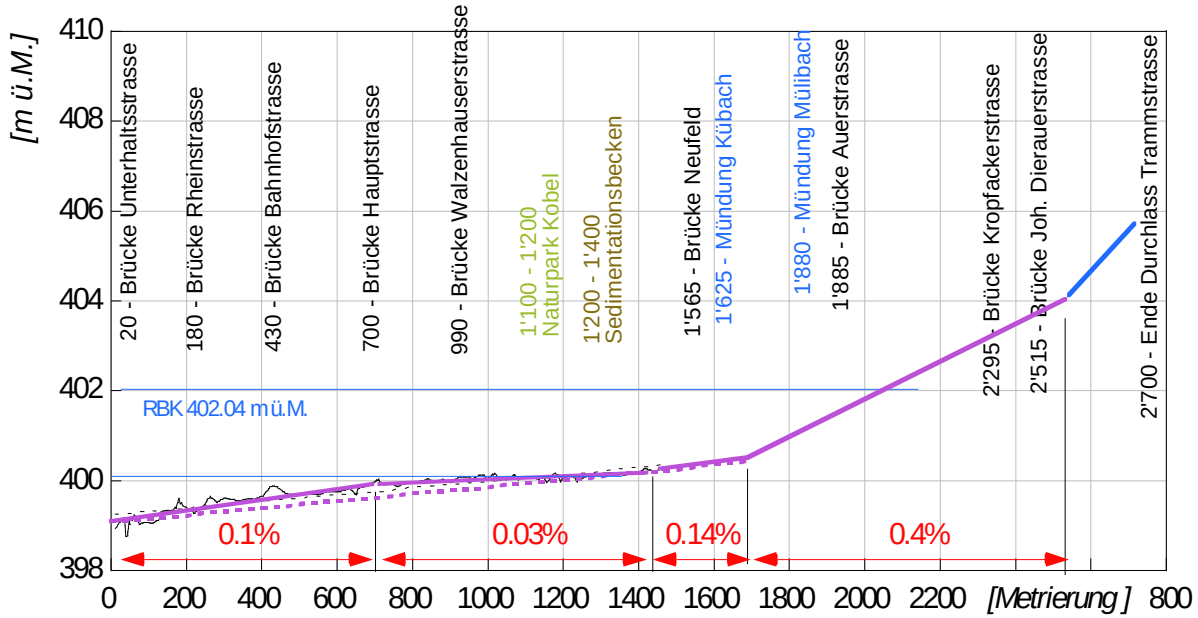


Abbildung 6-12: Längenprofil Littenbach

Der HQ_{100}-Wasserspiegel im RBK liegt bei 402.04 m ü. M. (RBK hoch). Bei diesem Wasserspiegel und ohne Hochwasser im Littenbach ist das Gerinne des Littenbachs bis zur Brücke der Auerstrasse von «unten her» eingestaut.

Die Sohle des Littenbachs hat in der Flachstrecke eine Kote um 400 m ü. M. Bei Rückstau oder Rückfluss aus dem RBK lagert sich feines Material vorwiegend in dieser Flachstrecke ab.

6.7.2 Sedimentation

Am oberen Ende des Projektperimeters am Littenbach befindet sich der Kiessammler Schlossbrugg, welcher neben den Anlagen Papieri und Dürrebommert den Geschiebe- und Holzrückhalt sicherstellt. Alle Anlagen wurden geschiebedurchgängig erstellt. Für den Rückhalt von Sedimenten weisen die bestehenden Anlagen jedoch eine ungenügende Grösse bzw. ein ungünstiges Gefälle auf. Feinmaterial und Sedimente werden über den Kiesfang Schlossbrugg hinaus transportiert und bleiben vorwiegend in den Flachstrecken liegen und verschlammen die Sohle. Unterhalb befindet sich der bestehende Durchlass Tramstrasse mit einer positiven Sohlstufe von

rund 1 m. Daraus resultiert ein Einstau des Sperrenbauwerks und des gesamten Sammlers. Aufgrund von Orthofotos wurden folgende Ausmasse des Einstaus (Schätzungen) ermittelt:

- Länge: 40 bis 50 m
- Breite: 10 bis 15 m
- Tiefe: maximal 0.5 bis 1.0 m, auslaufend auf Null

Zu diesem Einstau aufgrund der Gegenschwelle kommt noch ein abflussbedingter Einstau durch den Schlitz im Sperrbauwerk. Bei einem Zufluss von 0.4 m^3/s, entspricht in etwa der Auslegungsabfluss der Niederwasserrinne, werden Kies- und Sandfraktionen sedimentiert, aber kaum Silt- und keine Tonfraktionen. Damit alle Siltfraktionen abgelagert werden, müsste der Einstaubereich um ein Mehrfaches länger/grösser sein. Demnach werden durch die Sammler am Littenbach und vermutlich auch am Kübach Silt- und Tonfraktionen durchtransportiert. Bei extremen Hochwasserereignissen dürfte auch Sand und Feinkies durch die Sammler transportiert werden. Vermutlich ist in den Rückhaltevorrichtungen ein Verlandungsgefälle grösser als 0% erforderlich, damit das angestrebte Rückhaltevolumen erreicht wird. Trifft diese Annahme zu, so wird im Ereignisfall bzw. sobald das Verlandungsgefälle über 0% ansteigt, Geschiebe durch die Rückhaltevorrichtungen transportiert.

Im Projektperimeter nimmt stromabwärts das Gefälle weiter ab (vgl. Abbildung 6-12). Geschiebetransportberechnungen zeigen, dass Feinkies im 0.14% steilen Abschnitt bei Abflüssen im Bereich von 1.3 m^3/s und darüber transportiert werden kann. In der Flachstrecke mit einem Gefälle von 0.03% können diese Fraktionen hingegen nicht transportiert werden. Die Sedimente werden so in der Flachstrecke, bei genügend grosser Abnahme des Längsgefälles auch ohne Einstau durch den RBK abgelagert.

Silt- und Tonfraktionen bleiben jedoch in Schwebe respektive in Bewegung. Der Einstau des RBK hat eine Ablagerung von Silt- und Tonfraktionen zur Folge. Dieser hat vermutlich seine Stauwurzel zwischen der Brücke Walzenhauserstrasse und maximal der Brücke Auerstrasse.

Heute wird die Sedimentation durch die Vegetation im Gerinne des Littenbachs zusätzlich begünstigt. Die Ausfiltrierung durch Vegetation findet praktisch im ganzen Abschnitt von der Einmündung des RBK bis zum Durchlass Tramstrasse statt. In der Vegetation ist die Geschwindigkeit nahe null und Schwebstoffe können sich ablagern.

6.7.3 Ausbildung Sedimentationsbecken und Absetzwirkung

Im Projekt wird die Sohlschwelle vor dem Durchlass Tramstrasse und die Sohle des Durchlasses selbst abgesenkt. Dadurch nimmt der Feststoffeintrag in den Unterlauf des Littenbachs gegenüber heute wegen des fehlenden Einstaus im Rückhalt Schlossbrugg zu.

Die geplante Niederwasserrinne, so dimensioniert, dass keine Sedimentation stattfindet, führt das Sediment weiter bachabwärts in Richtung Naturpark Kobel.

Oberhalb des Naturparks Kobel in der Flachstrecke bei einem Gefälle von 0.03% ist das Sedimentationsbecken geplant. Es ist rund 200 m lang und die Sohlbreite variiert zwischen 10 und 25 m. Die Kronenbreite beträgt 25 bis 60 m. Rechtsseitig ist eine Berme angeordnet, welche die Situation resp. das Landschaftsbild auflockern soll. Durch diese signifikante Querschnittsvergrösserung wird bei hohem Wasserspiegel

die Fliessgeschwindigkeit deutlich reduziert und aufgrund der ebenfalls deutlich reduzierten Turbulenz findet die Ablagerung der feinen Kornfraktionen statt.

Eine Abschätzung des transportierten Grösstkorns erfolgte anhand der resultierenden Sohlschubspannungen gemäss HEC-RAS Modell (Berechnung für SZ1). Die Berechnungen zeigen einerseits, dass von Beginn des Beckens bis zur maximalen Aufweitung des Beckens die Fliessgeschwindigkeit bis auf ca. 25 % der Eingangsgeschwindigkeit reduziert wird. Andererseits werden die Schubspannungen auf ca. 5 % der Eingangsgrösse reduziert (s. Abbildung 6-13).

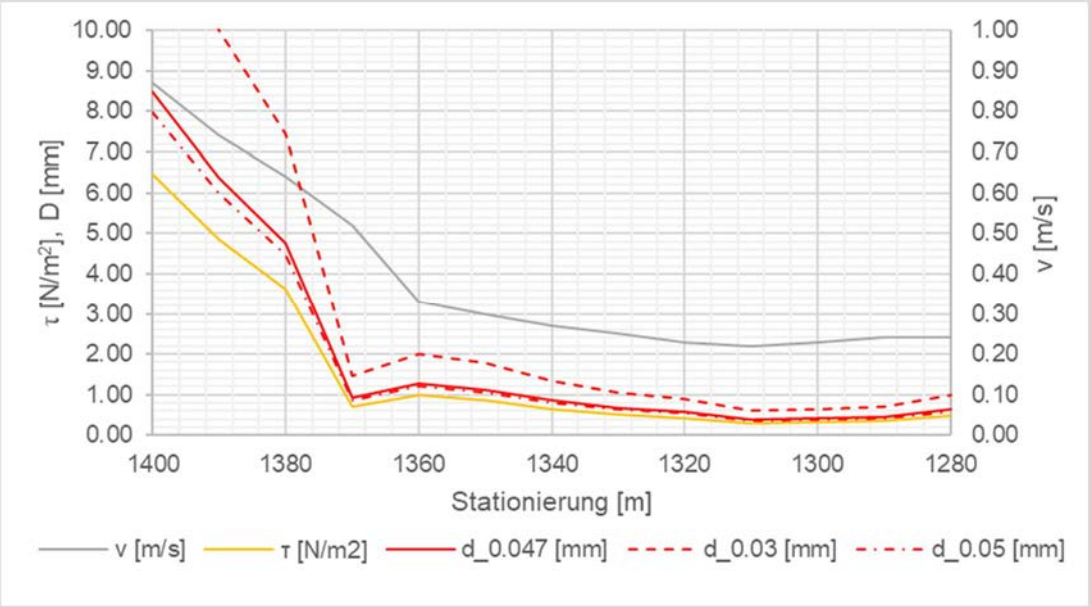


Abbildung 6-13: Abschätzung des transportierten Grösstkorns (Beginn Sedimentationsbecken OW, 1'400 m bis maximale Aufweitung Becken, 1'280 m)

Die Berechnung des Grösstkorns erfolgte für dimensionslose Schubspannungen $\theta = 0.047$ (0.03 – 0.05). Während auf Höhe des Beckenbeginns (1'400 m) Korndurchmesser mit $D_{gr} \leq 8.5$ mm (13.3 – 8.0 mm) transportiert werden, reduziert sich der Grösstkorndurchmesser innerhalb des Beckens auf $D_{gr} = 0.4$ mm (0.6 – 0.4 mm). Damit findet im Hochwasserfall SZ1 die Ablagerung von Mittelsand und gröberem Geschiebe innerhalb des Beckens statt.

Die mittlere Breite von 40 m auf einer Länge von 200 m entspricht einer Fläche von rund 8'000 m^2. Abhängig vom angenommenen Verlandungsgefälle ergibt sich das Rückhaltevolumen.

Im vorliegenden Bauprojekt ist im Sedimentationsbecken gegenüber dem Längenprofil des Vorprojekts eine Sohlabsenkung um einen Meter geplant, sodass eine Art «Sandfang» entsteht. Es ist also ein Becken mit permanentem Wasserspiegel vorgesehen. Die Wasserfläche wird in Niederwasserzeiten eine Art langgestreckter Teich sein. Dieser Teich hat rund 2'300 m^3 Inhalt. Wird das Verlandungsgefälle konservativ mit 0% angenommen, ergibt sich ein Rückhaltevolumen in der Grösse des Teiches.

6.7.4 Unterhalt

Zusammen mit der Unsicherheit bzgl. der anfallenden Feinsedimentkubatur lässt sich nur schwer ein Zeitraum für die Füllung respektive Verlandung und damit für das notwenige Unterhaltsintervall abschätzen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich um einen Mehrjahreszyklus handelt.

Während den Unterhaltsarbeiten im Sedimentationsbecken ist das Becken mittels Fangdämmen im Ober- sowie im Unterwasser von dem Bachsystem zu entkoppeln (s. Abbildung 6-14), Ein- und Auslauf des Bypasses werden geöffnet und die Abflussmenge wird mittels Bypass umgeleitet. Die Unterhaltsarbeiten sind bei geringem Abfluss durchzuführen, da die Kapazität des Bypasses auf max. 1.28 m^3/s ausgelegt ist (für Hydraulik s. Anhang C). Dieser Grenzwert ist massgeblich durch die Stauhöhe resp. die Dammhöhe im Oberwasser beeinflusst. Die Berechnungen wurden bis zu einer Dammhöhe, resp. Wassertiefe von 2 m durchgeführt. Grundsätzlich sind grössere Dammhöhen und Staukoten, und damit eine Vergrösserung der Abflusskapazität möglich, allerdings zieht sich dadurch der Einstaubereich deutlich weiter ins Oberwasser.

Nach der Benutzung sind die Rechen zu reinigen und der Bypass muss ausgespült werden, um mögliche Ablagerungen innerhalb des Rohrs zu entfernen. Danach sind Ein- und Auslauf wieder zu schliessen.

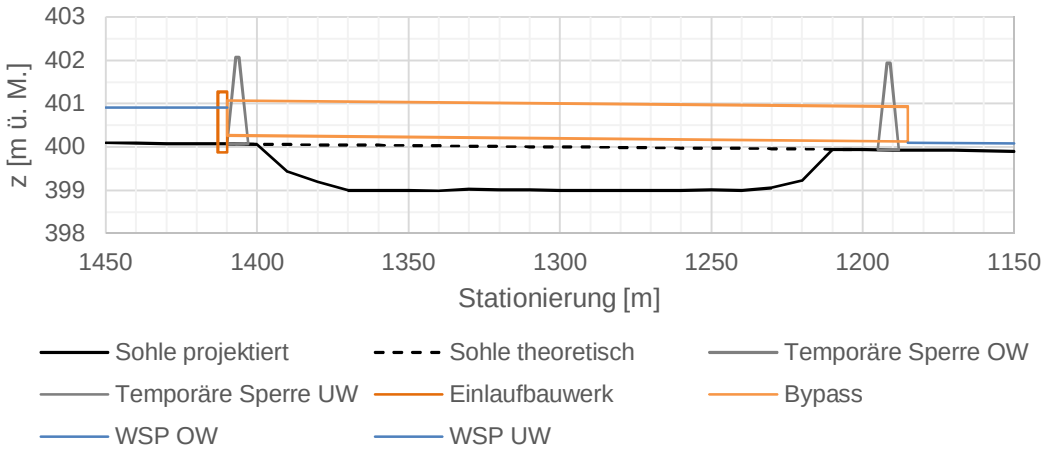


Abbildung 6-14: Längsschnitt des geplanten Bypasses

Das Rohr mit einem Innendurchmesser von 0.80 m wird parallel zum Gerinne, innerhalb des rechten Ufers verlegt. Es weist eine Gesamtlänge von 210 m und ein Längsgefälle von J = 0.06 % auf, welches identisch ist zum Sohlgefälle des Littenbaches. Das Rohr wird 0.20 m oberhalb der Sohle geführt, so dass beim Ein- und Auslauf der Abflussquerschnitt bei allfälligen Ablagerungen bis 20 cm Mächtigkeit nicht beeinträchtigt wird. Ein- und Auslaufschacht sind in der rechten Böschung bei Stationierung 1'410 m resp. 1'185 m geplant. Die Schächte werden durch eine Tafel geschlossen und werden nur während den Unterhaltsarbeiten innerhalb des Sedimentationsbeckens geöffnet. Die Schliessung ist sowohl notwendig, um Ablagerungen zu verhindern, wie auch als Massnahme für den Personenschutz.

Abbildung 6-15: Sedimentationsbecken mit Bypass

7 Massnahmenplanung

7.1 Variantenstudium

Im Zuge der Übernahme des Vorprojekts Juni 2016 [26] wurden alle Projektelemente eingehend überprüft. Das Vorprojekt wurde in seiner Konzeption und den gewählten Massnahmen grundsätzlich bestätigt. Mit der Bearbeitung des Bauprojekts durch die IUB Engineering AG (Dokumentation im vorliegenden Bericht) wurden alle geplanten Massnahmen detailliert analysiert und diskutiert bevor diese vertieft bearbeitet wurden. Im Folgenden sind zum Vorprojekt abweichende Massnahmen erläutert.

7.1.1 Burggass

Abbildung 7-1 zeigt die Gefahrenkarte Littenbach (Naturgefahrenanalyse, Technischer Bericht, Kanton St. Gallen, IG Littenbach, August 2003 [15]). Der dargestellte Ausschnitt liegt oberhalb des Projektperimeters und endet im Kiesfang Schlossbrugg. Die Gefahrenkarte befindet sich, wie oben bereits erwähnt, zurzeit in Überarbeitung. Es wird im Wesentlichen davon ausgegangen das sich die Situation in diesem Abschnitt des Littenbachs nur quantitativ verändert und somit zur Planung der baulichen Massnahmen an der Burggass herangezogen werden kann.

Abbildung 7-1: Ausschnitt Gefahrenkarte 2003 [15], zur Zeit in Überarbeitung

Im Littenbach besteht auf der gesamten Strecke eine erhebliche Gefährdung (rot) bzgl. Überschwemmung inkl. Übersarung. Im Abschnitt ca. 50-70 m oberhalb des Kiesfangs Schlossbrugg besteht entlang des linken Ufers eine mittlere Gefährdung (blau). Ab ca. 175 m oberhalb des Kiessammlers Schlossbrugg besteht ausserhalb des Littenbachgerinnes nur noch eine geringe Gefährdung (gelb).

Als Sofortmassnahme wurden entlang der Burggass linksurfig ca. 25 cm hohe Stellriemen zwischen die Pfosten des «Bündner Zauns» angeordnet (vgl. Abbildung 7-2).

Abbildung 7-2: Sofortmassnahme Burggasse mit Stellriemen, link: Blick in Fliessrichtung mit Kiesfang Schlossbrugg, rechts: Blick gegen die Fliessrichtung

Das vorliegende Projekt HWS Littenbach-Äächeli sieht eine Anpassung des Durchlasses Tramstrasse vor. Der Durchlass kann grössere Abflüsse abführen und die Verklausungswahrscheinlichkeit wird reduziert. Überschwemmungen infolge Rückstau werden wesentlich geringer ausfallen.

Als Annahmen soll die eingesetzte Schutzmassnahme entlang der Burggasse einfach, anpassbar und für Wassertiefen bis ca. 0.50 m ausgelegt sein, lokal evtl. geringfügig höher ausgelegt sein. Das Schutzsystem soll permanent sein und möglichst keinen Personaleinsatz während einer Hochwassersituation binden. Es soll Wasser zurückhalten, muss aber nicht komplett dicht sein. Trotzdem muss es ausreichend massiv ausgebildet sein, um Geschwemmsel (Äste, Bäume, Wurzelstämme) abzuweisen. Wie bei früheren Ereignissen soll die Tramstrasse mit mobilen Schlauchsystemen abgesperrt werden können. Zudem soll das Ausufern aus dem Kiesfangs Schlossbrugg verhindert werden.

Die Schutzlinie kann entweder direkt entlang der Uferböschung oder am hinteren Strassenrand resp. entlang der bestehenden Gartenmauern und Gebäuden vorgesehen werden. Beide Varianten erfordern bauliche Eingriffe wie Mauererhöhung und Fundamente für Zaunpfosten. Gemäss AWE ist ein Schutzsystem direkt entlang des Littenbachgerinnes, auf der Böschungsoberkante, bewilligungsfähig. Zudem ist bei der Entwicklung und Erstellung des Schutzsystems die ästhetische Einbindung in das Dorfbild zu berücksichtigen.

Folgende Varianten für den Bereich Burggasse wurden erarbeitet:

a) Schutzmassnahmen entlang des hinteren Strassenrandes, in Form von Winkelstützmauern, Stahlblechwänden, temporären Verschlüssen von Öffnungen sowie eine geringe Erhöhung der Schlossweiergass

b) Schutzmassnahmen direkt entlang der Böschung, in Kombination mit einer Strassenleitplanke, als Winkelstützmauer oder in Kombination Geländer mit Verschalung

Abbildung 7-3: Beispiele zu Variante a): Winkelstützmauer in Beton mit aufgesetztem Zaun (links, unten und oben), Winkelstützmauer in Beton mit aufgesetztem Zaun in Kombination mit temporär eingesetztem Dammbalken (rechts, oben), abgewinkeltes Stahlblech (rechts, unten)

Abbildung 7-4: Beispiele zu Variante b): Winkelstützmauer an der Böschungsvorderkante (oben, links und rechts), Kombination Geländer mit Verschalung (unten, links und rechts)

Es wird eine massive Ausführung für die Schutzmassnahmen bevorzugt. Die Abbildung 7-5 zeigt die Lage der geplanten Winkelstützmauer, deren Gesamtlänge rund 110 m beträgt. Die OK ist in Fliessrichtung geneigt, zu Beginn liegt diese bei 410.82 m ü. M. kurz vor der Tramstrassse bei 410.25 m ü. M. Um auf der ganzen Länge die erforderliche Höhe bzgl. Absturzsicherheit zu erreichen, wird ein Geländer auf die Stützmauer montiert.

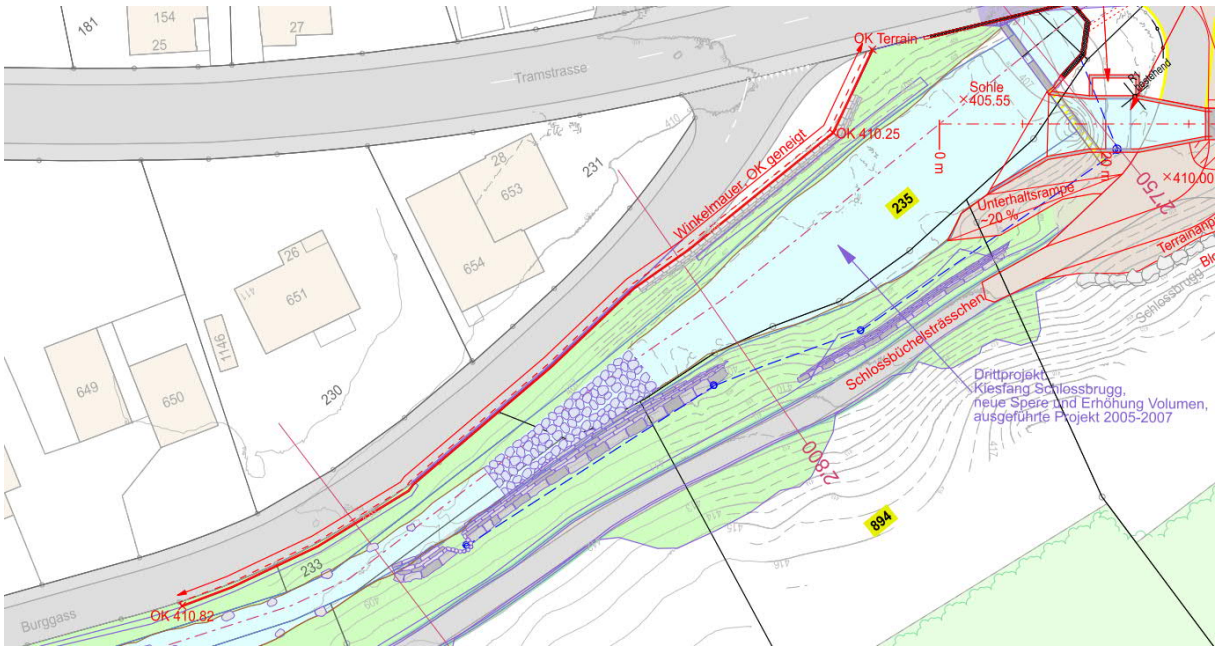


Abbildung 7-5: Lage Winkelstützmauer Burggass

7.1.2 Entlastung Kiesfang Schlossbrugg

Die Entlastung Schlossbrugg bildet eines der zentralen Elemente im Projekt Hochwasserschutz Littenbach-Äächeli. In der Vorstudie [18] wurde erkannt die Hochwassersituation nicht entschärft werden kann. Es wurden verschiedene Kombinationen aus Durchleiten und Rückhalten untersucht. Mit dem Vorprojekt [26] wurde das bis heute im vorliegenden Bauprojekt gültige hydraulisch Konzept/System festgelegt.

7.1.2.1 Entlastungskanal gemäss Vorprojekt

Die Gesamtsituation des geplanten Entlastungskanals gemäss Vorprojekt ist in Abbildung 7-6 dargestellt. Dieser fasst das Wasser durch eine Anpassung der bestehenden Kiesfangsperre im Sammler Schlossbrugg und führt es in einem offenen Kanal (Variante 2) rechtsseitig in einem ausgeprägten Hanganschnitt entlang der Bahnstrasse. Mittels Linkskurve wird die Bahnstrasse unterquert und der Kanal soll in den Hinterburgbach münden.

Die Einlaufsituation in den Entlastungskanal im Kiesfang Schlossbrugg ist in Abbildung 7-7 dargestellt. Die Trennung der Abflüsse erfolgt direkt an der Kiesfangsperre. Durch eine Trennpfeiler wird bei Hochwasser die gewünschte Aufteilung der Abflüsse erreicht. Dabei wird der Abfluss für den Entlastungskanal mittels Wehrklappe reguliert. Der Einlauf zum Entlastungskanal ist damit parallel zur Bachachse, Winkel der Abzweigung ~0°, angeordnet. Damit ist theoretisch eine frontale Anströmung gewährleistet. Das Vorprojekt wurde an der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) an einem physikalischen Modell untersucht [20][22].

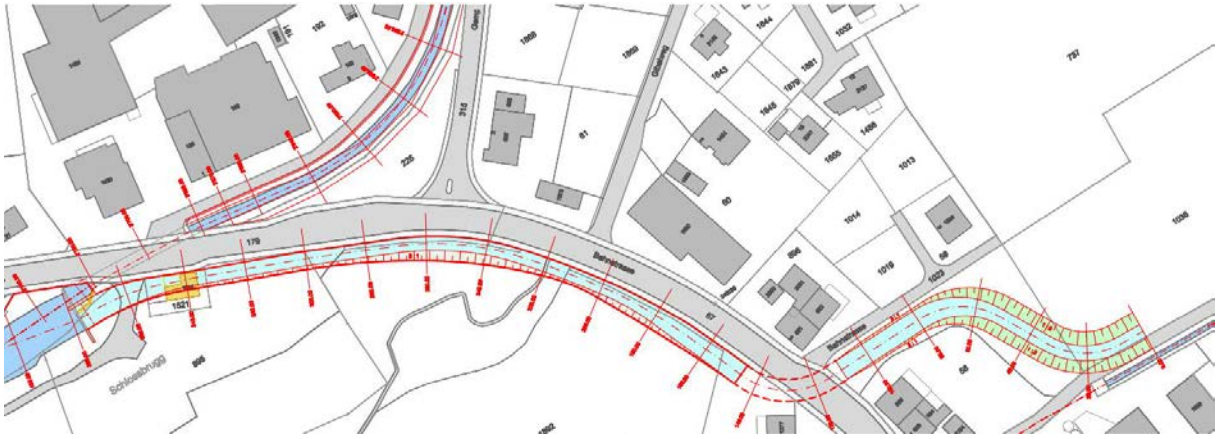


Abbildung 7-6: Gesamtsituation Entlastungskanal gemäss Vorprojekt [26]

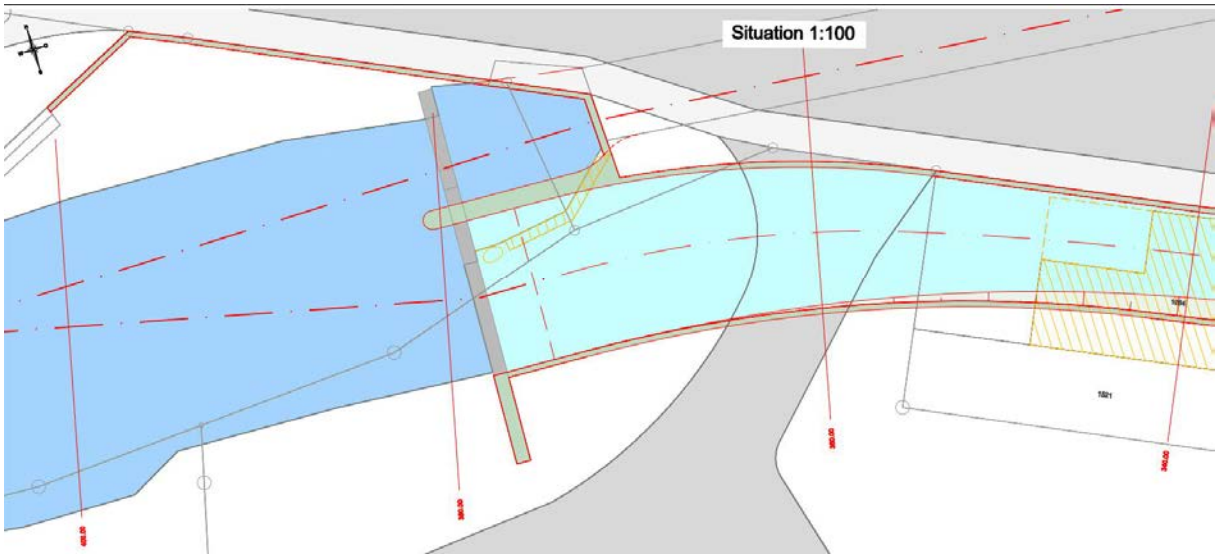


Abbildung 7-7: Einlaufsituation bzw. Entlastungsbauwerk Kiesfang Schlossbrugg [26]

7.1.2.2 Hydraulische Modellversuche Entlastungskanal HSR

Der Zusammenfassung des technischen Berichts [26] sind die folgenden Abschnitte entnommen:

«Das Institut für Bau und Umwelt (IBU) der HSR Hochschule für Technik Rapperswil untersuchte im Auftrag der Kommission Hochwasserschutz Littenbach Au-Berneck die geplanten Hochwasserschutzmassnahmen am Littenbach im Bereich Schlossbrugg. Zu den geplanten Massnahmen gehört ein Entlastungsbauwerk mit anschliessendem Entlastungskanal. Die Abflusskapazität des Littenbachs unterhalb Schlossbrugg beträgt ca. 24 m^3/s. Übersteigt der Abfluss diese Grenze, wird das Überschusswasser durch den Entlastungskanal ins Retentionsgebiet Kloteren geleitet… Die Trenncharakteristik des geplanten Entlastungsbauwerks wurde untersucht. Das Ziel ist, dass durch den Unterlauf des Littenbachs nicht mehr wie 24 m^3/s abgeleitet werden. … die Trenncharakteristik auch nur mit der Klappe im Entlastungskanal reguliert werden. Dafür muss die Kote beim Littenbach erhöht oder / und die Kote Entlastungskanal abgesenkt werden. Die Strömungsverhältnisse und die Strömungslage im Kiesfang Schlossbrugg ändern sich je nach Abfluss, Geschiebeablagerung im Kiesfang Schlossbrugg und Stellung der Regelorgane. Allgemein wurde beobachtet, dass vor allem bei grösseren Hochwasserabflüssen die Anströmgeschwindigkeit

einen beachtlichen Einfluss auf die Wasserspiegellage im Sammler hat, wobei diese lokal variieren. Bei diversen Versuchen konnte beobachtet werden, wie die Hauptströmung im Kiesfang Schlossbrugg von links nach rechts oder von rechts nach links wechselte. Durch jeden Strömungswechsel muss die Klappe (Entlastungskanal) an die neue Strömungslage angepasst werden, um die gewünschte Trenncharakteristik zu erreichen. Ganglinienversuche haben gezeigt, dass für eine optimale Geschiebeablagerung im Kiesfang Schlossbrugg eine Seebildung im Kiesfang notwendig ist. Bei einer optimalen Geschiebeablagerung im Kiesfang Schlossbrugg sollen Auflandungen im Gerinne oberhalb der Blockrampe sowie auf der Blockrampe möglichst vermieden werden. Für das Erreichen der Trenncharakteristik bei einem HQ300 muss die Kote der Überfallkote in den Littenbach jedoch erhöht werden, wodurch der Wasserspiegel im Kiesfang Schlossbrugg angehoben wird. Daher wurde eine Kompromisslösung ausgearbeitet. Bei der die Trenncharakteristik bis zu einem HQ100 unabhängig der Strömungslage im Kiesfang Schlossbrugg mit einem Regulierorgan (Klappe Entlastungskanal) erreicht werden kann und dabei die Geschiebeablagerung oberhalb der Blockrampe möglichst gering ausfallen. ….»

Aus der hydraulischen Modelluntersuchung wird deutlich, dass die Entnahme im Kiesfang Schlossbrugg durch stark wechselnde Strömungszustände bestimmt ist. Diese stehen in grosser Wechselwirkung mit den sich einstellenden Geschiebeablagerungen. Das hat grosse Auswirkungen auf die Trenncharakteristik. Die Richtung der Strömung im Kiesfang variiert. Abbildung 7-8 zeigt die ermittelte Hauptströmung im Kiesfang während untersuchten Hochwasserereignisse.

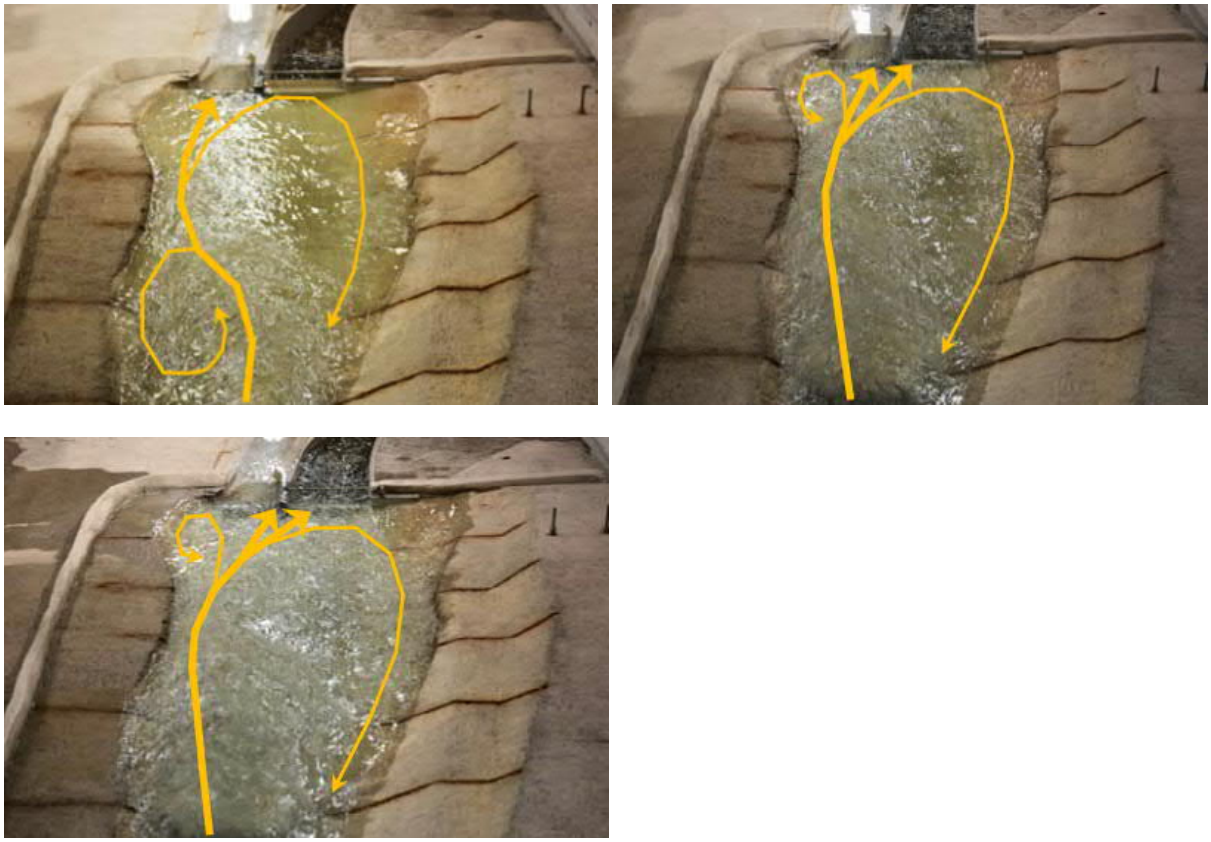


Abbildung 7-8: Darstellung der Hauptströmung im Kiessammler während der Modellversuche bei HQ_{30} links oben, HQ_{100} rechts oben, HQ_{300} links untern (Quelle: TB Modellversuche HSR [26])

Zu Beginn des Kiesfangs ist die Hauptströmung auf der rechten Seite. Im mittleren Bereich ist diese links, auf die Sperre trifft diese in einem Winkel von ca. 20-30°. Der Trennpfeiler des Entlastungsstollens verursacht hierbei einen Strömungsschatten.

7.1.2.3 Wechsel vom Entlastungskanal des VP zum Entlastungsstollen im BP

Die Entlastung entlang der Tram- und der Bahnstrasse führt Hochwasserspitzen von dem im Modellversuch optimierten Trennbauwerk Schlossbrugg über einen parallel zur Tram- und Bahnstrasse offen geführten Freispiegelkanal und einen Durchlass unter der Bahnstrasse durch in den Retentionsraum Kloteren ab. Da der Ausläufer des Rosenbergs im Bereich der Kreuzung Tram-, Gemperen- und Bahnstrasse steil abfällt, ergibt sich für den Bau des offenen Entlastungskanals ein hoher, bautechnisch aufwändiger und markanter Böschungsanschnitt. Weiter macht die Kanallösung die Verschiebung einer Trafostation notwendig und die vor kurzem umgestaltete Tram- und Bahnstrasse würde wieder tangiert. Zudem besteht die Gefahr, dass der offene und im Allgemeinen nur mit einem geringen Grundabfluss beschickte Entlastungskanal durch Siedlungsabfälle verschmutzt wird. Es stellte sich die Frage, ob es nicht sinnvoll wäre, hier eine andere, ev. untertägige Lösung zu suchen.

Auf Basis dieser Überlegungen wurde an der Projektgruppensitzung PG07 vom 27. Februar 2018 angeregt, für die Entlastung auch eine Stollenlösung zu untersuchen, mit der die Trafostation an ihrem heutigen Standort verbleiben kann, die "Gibel-Kurve" nicht wieder umgebaut werden muss und mit welcher der Entlastungsabfluss untertägig unter dem Rosenberg hindurch vom Trennbauwerk Schlossbrugg zum Durchlass Bahnstrasse geführt werden kann. In einem separat erarbeiteten Vorprojekt wurde die technische Machbarkeit der Stollenvariante abgeklärt und ein Kosten-Nutzen-Vergleich mit dem Vorprojekt des offenen Entlastungskanals durchgeführt [32].

Die pauschalen Bewertungen und das Resultat der detaillierten Nutzwertanalyse zeigen, dass:

- bezüglich Geologie, Geotechnik und Bau die Variante Entlastungsstollen nur leichte Vorteile hat.
- der Hochwasserschutz, Überlastsituationen sowie Geschiebe und Geschwemmsel mit der Anlagendisposition des Entlastungsstollens leicht besser bewältigt werden können.
- das Landschaftsbild beim Entlastungsstollen wesentlich weniger stark verändert wird.
- beim Entlastungskanal der Verlust von landwirtschaftlicher Nutzfläche leicht grösser ist.
- bezüglich Gewässerökologie, Vernetzung und Wald die Variante Entlastungsstollen Vorteile hat.
- das Kostenrisiko bei beiden Varianten identisch ist.
- beim Kostenvergleich auf Stufe Vorprojekt (Genauigkeit ± 20 %) die Variante Entlastungsstollen rund CHF 0.40 Mio. geringere Kosten ausweist.

Aufgrund der Resultate und der Beurteilung der technischen Studie wurde die Weiterbearbeitung des Entlastungsstollen Rosenberg empfohlen. An der PG09 am 22. August 2018 wurde der Entscheid, vorbehaltlich der Stellungnahmen der kantonalen und eidgenössischen Fachstellen (u.a. AWE, AfU des Kantons St. Gallen, BAFU) für den Entlastungsstollen gefällt. Die Stellungnahmen des Kt. SG (verschiedene Fachstellen) liegen mit dem Protokoll der PG10 vom 30.10.2018 vor und sind

durch den BHU ausgewertet. Neben dem Hinweis auf allgemeine Richtlinien wie bspw. die Merkblätter AFU 002 «Umweltschutz auf Baustellen» und AFU 173 «Bauten und Anlagen in Grundwassergebieten» werden die folgenden Punkte speziell diskutiert und deren Umsetzung beschlossen:

- Unbefriedigend ist Beanspruchung von Parz. 1036 (Ritz). Änderung Linienführung des Kanals gewünscht. → wird umgesetzt
- Vereinbarung über Eigentum und Unterhalt muss erstellt werden. →Bestandteil der weiteren Planungsphasen
- Prüfung permanente oder temporäre Massnahmen im Bereich Burggasse bis Schlossbrugg → wird umgesetzt
- Hilfsaggregate und Steuerungen müssen hochwassersicher (>> HQ_{Dim}) aufgestellt werden →Hilfsaggregate und Steuerungen werden hochwassersicher aufgestellt. → Es werden diesbezüglich aber keine speziellen Berechnungen oder Modellierungen durchgeführt (keine zusätzlichen Modellierungen).
- Beurteilung von Auswirkungen auf bestehende Bauten und Anlagen notwendig → wird bei der weiteren Planung berücksichtigt, soweit die erhobenen Grundlagen Auskunft geben. Es werden keine zusätzlichen Untersuchungen oder Abklärungen durchgeführt (keine zusätzlichen Untersuchungen)
- Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse in den Plänen (LP, QP) → wird in den Plänen dargestellt soweit die Daten vorliegen (keine zusätzlichen Untersuchungen).
- Aufnahme eines Quellkataster erforderlich (Beweissicherung) → Gemäss Geoportal gibt es keine öffentlichen Quellen in diesem Bereich. Allenfalls gibt es private Quellen → abklären ob Quellen vorhanden sind

7.1.2.4 Entlastungsstollen

Die Linienführung des Stollens im Bereich Rosenberg wurde während der Bearbeitung mehrmals leicht angepasst. Dies hatte geologische und hydraulische Gründe und berücksichtigt die Stellungnahme der kantonalen Fachstellen. So ist beispielsweise das gewählte System mit dem deutlich schiessenden Abfluss auf eine gestreckte Linienführung zur Vermeidung von Stosswellen angewiesen.

Im Anschluss an den Untertagebau und vor der Bahnstrasse war zunächst in einer der ersten Varianten ein Tosbecken mit von dort an offenem Kanal vorgesehen (vgl. Abbildung 7-9). Die folgenden Richtungsänderungen unter der Bahnstrasse hindurch bis zum Anschluss an den Hinterburgbach konnten in strömendem Abfluss bewerkstelligt werden.

Im Zusammenhang mit Rückmeldungen der Anstösser und den Stellungnahmen der kantonalen Fachstellen (vgl. oben) kam der Wunsch nach einem gedeckten Kanal auf, welcher zudem so tief liegt, dass die Bodenbedeckung bewirtschaftbar (≥ 60 cm) ist und auch eine Überfahrt mit landwirtschaftlichem Gerät möglich ist.

Hierzu wurden hydraulische Konzepte untersucht und Berechnungen angestellt. Eine Unterquerung der Bahnstrasse und den folgenden Tagbaustollen bis zum Anschluss an den Hinterburgbach mit notwendigen tiefen Wasserspiegel ist nur im schiessenden Strömungszustand möglich. Durch die Anpassung der Neigung im Zusammenhang mit der Breite wurde ein System gefunden, welches auch in diesem Bereich schiessenden Abfluss und damit einen flachen gedeckten Kanal ermöglicht. Die Richtungsänderungen bei schiessendem Abfluss bergen jedoch die Gefahr von Stosswellen, die zum zuschlagender des Querschnitts mit Druckbelastungen auf die

Kanalwandung und Abflussreduktion führen könnten. Dies betrifft vor allem die Überlastszenarien SZ3 und SZ4. Aufgrund der flachen Neigung, um den schiessenden Abfluss möglich weit beibehalten zu können, sind die Geschwindigkeiten verhältnismässig gering.

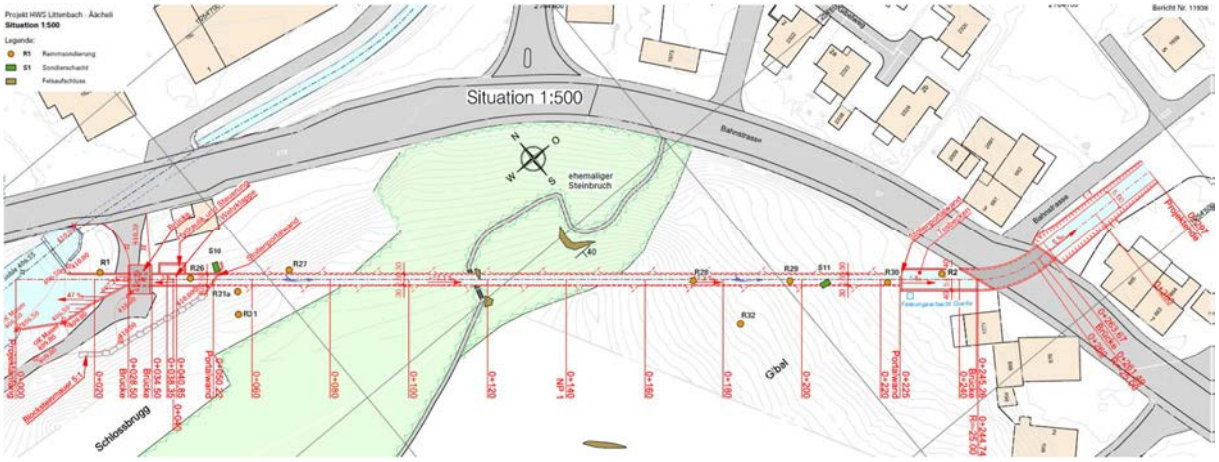


Abbildung 7-9: Situation Variante Entlastungsstollen mit Tosbecken oberhalb der Bahnstrasse

In einem weiteren Schritt wurde die Linienführung gestreckt und verläuft nun neu parallel zum «Spickel» der Bahnstrasse respektive zur aktuell geplanten Verlängerung der Bahnstrasse. Der Luftzufuhr wurde besondere Beachtung geschenkt und der Füllungsgrad liegt in einem verträglichen Mass.

Die geplanten baulichen Massnahmen des Entlastungsstollens im vorliegenden Bauprojekt werden in Abschnitt 7.3.1 beschrieben.

7.1.3 Gerinneausbau

Der Gerinneausbau ist im Projektperimeter nur in begrenztem Masse möglich. Das liegt zum einen an den Platzverhältnissen, welche durch Besiedelung, Industrie und Infrastruktur eingeschränkt sind, aber eben auch an den Gefällsverhältnissen die einen Vollausbau verunmöglichen. So wurde im Vorprojekt ein gutes Verhältnis aus Gerinneausbau und möglichen Retentionsflächen gefunden.

Ein hochwassersicherer Ausbau, welcher eine Sohlenbreite von rund 7 bis 9 m erfordert, ist nur mit relativ steilen Böschungen bzw. mit der Erstellung von Mauern möglich. Der Bachlauf ist durch angrenzende Gebäude und Strassen stark eingeengt. Wo die Platzverhältnisse es zulassen wird auf einer Seite eine Mauer (Anzug 5:1) und auf der anderen Seite eine flachere Böschung von 2:3 ausgebildet.

Vorprojekt

Die Böschung wird immer der angrenzenden Strasse zugewandt. Die Böschungen werden mit Wiese begrünt und in der Sohle, welche mit Bachgeröll erstellt wird, wird eine pendelnde Niederwasserrinne ausgebildet. Die Ufer benötigen keine Sicherungen. Konkret wurden die Gerinne wie folgt geplant:

- Li 2'750 - 2'580 m: Sohlabsenkung Durchlass Tramstrasse mit folgender Gerinneanpassung (Gibelkurve)
- *Li 2'580 – 1'670 m: keine Massnahmen*

- Li 1'670 - 1'070 m: Einmündung Kübach bis Ende Naturpark Gerinne mit beidseitigen Böschungen 2:3 und 1:2 und Sohlbreite 7 m
- Li 1'070 – 200 m: Ende Naturpark bis Brücke Rheinstrasse mit einseitiger Böschung 2:3 und Stützmauer 5:1 bei einer Sohlbreite von 7 m
- Li 200 – 40 m: Brücke Rheinstrasse bis Durchlass SBB mit beidseitigen Stützmauern 5:1 und Sohlbreite von 9 m
- Buechholzbach mit beidseitiger Böschung 1:2, rechtseitiger Kronenmauer und Sohlenbreite von 1.5 m
- Hinterburgbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und Sohlenbreite von 4-6 m
- Äächeli 1'395 – 650 m: mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlbreite von 8 m
- Äächeli 650 – 35 m: mit beidseitiger Böschung 2:3 und Sohlbreiten von 2-3 m

Um die erforderlichen Freibordhöhen einzuhalten, sind in einigen Bereichen die Ufer anzuheben, mit entsprechenden Anpassungen der Zufahrten zu den bestehenden Liegenschaften.

Am Littenbach beträgt der Anteil von Böschungslänge zur Uferlänge unterhalb des Naturparks knapp 35%. Am Äächeli sind es nach dem Drosselbauwerk im besiedelten Gebiet 100%.

Bauprojekt

Mit der parzellenscharfen Planung im Bauprojekt wurden zu Beginn die Situationen aller Gerinneabschnitte neu beurteilt. Neben vielen kleineren Anpassungen werden im Folgenden nur die Hauptvarianten chronologisch vorgestellt:

Bauprojekt Entwurf - Oktober 2018

Ziel war es die Gerinnekapazität, die Sohlstrukturierung für die Revitalisierung bei möglich hohem Anteil an Böschungen innerhalb der Bachparzelle zu planen. Typische Sohlstrukturierungen mit Lenkbuhnen und weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Breiten und Tiefenvariabilität der Strömung wurden geplant. Folgende Details der einzelnen Abschnitte können zusammengefasst werden:

- Li 2'750 - 2'580 m: Sohlabsenkung Durchlass Tramstrasse mit folgender Gerinneverlegung (Gibelkurve) mit flachen Böschungen 1:2
- *Li 2'580 – 1'650 m: keine Massnahmen*
- Li 1'650 - 1'000 m: Einmündung Kübach bis Ende Naturpark Gerinne mit beidseitigen Böschungen 2:3 und 3:4 bei Sohlbreiten von 8.5 und 10 m
- Li 1'100 - 920 m: Ende Naturpark bis Schulgelände mit beidseitiger Stützmauer 5:1 bei Sohlbreite von 10 m
- Li 920 - 730 m: Entlang Schulgelände mit einseitiger, flacher Böschung 1:3 bei einer Sohlbreite von 10 m
- Li 730 - 40 m: Brücke Hauptstrasse bis Durchlass SBB mit beidseitigen Stützmauern 5:1 und Sohlbreite von 10 m, im letzten Abschnitt 180-40 bei 8 m
- Buechholzbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3, rechtseitiger Kronenmauer und Sohlenbreite von 1.5 m
- Hinterburgbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlenbreite von 5-6 m
- Äächeli 1'395 – 650 m: mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlbreite von 8 m

- Äächeli 650 – 35 m: mit einseitiger Böschung 2:3 und 1:1 und Stützmauer 5:1, Sohlbreite von 6 m

Beispielhaft ist in Abbildung 7-10 ein Abschnitt in dem beidseitige Stützmauern und ein Abschnitt mit Böschung und Mauer gezeigt. Am Littenbach beträgt der Anteil von Böschungslänge zur Uferlänge unterhalb des Naturparks knapp 10%. Am Äächeli sind es nach dem Drosselbauwerk im besiedelten Gebiet 50%. Dieser geringe Anteil an Böschung sagt noch nichts über das Revitalisierungspotential aus. Die grosse Sohlbreite kann einen grossen Anteil leisten. Im Gegensatz dazu sind sehr steile Böschungen wie heute nicht gewünscht.

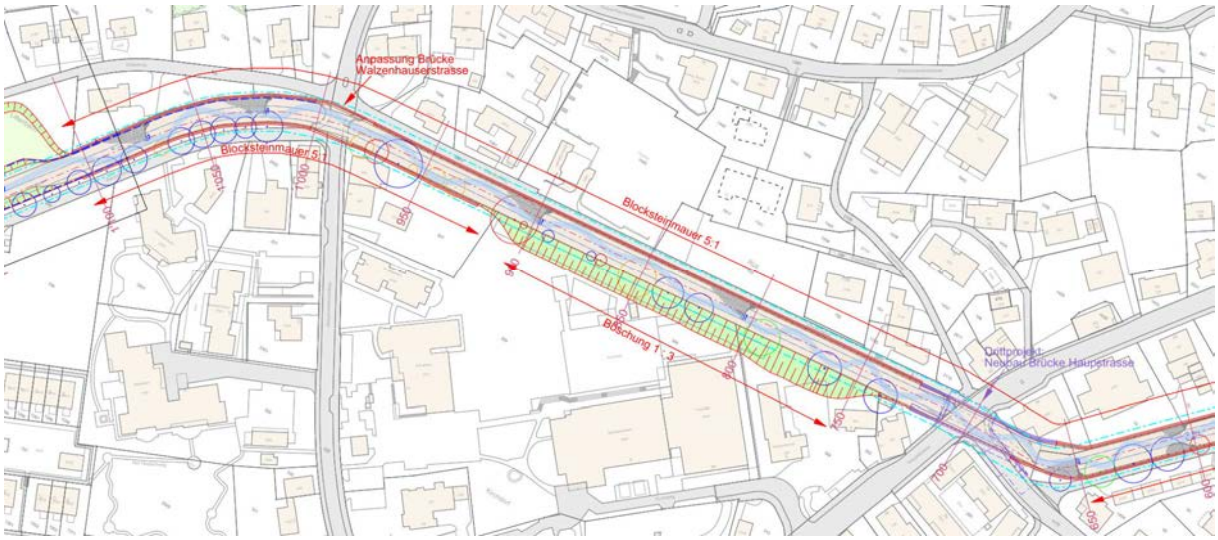


Abbildung 7-10: Beispiel Littenbach Abschnitt 1'150 bis 600 m

Der hohe Anteil von Mauerstrecken wurde im Zusammenhang mit Kostenüberlegungen, monotoner Gestaltung und vielerlei anderen Fragestellungen diskutiert. Gleichzeitig zeichnet sich ab das im Bereich des Schulgeländes die Laufbahn entlang des Littenbachufers nicht vakant ist und somit keine Aufweitung oder Böschung in diesem Bereich vorzusehen ist.

Bauprojekt Überarbeitung - März 2019 (PG12)

Es wurde entschieden die Abschnitte genauer zu beurteilen um das Flächenpotential der angrenzenden Parzellen mit einzubeziehen.

Ziel war es die Gerinnekapazität weiterhin gleich zu behalten und möglichst viel Abwechslung und einen sehr grossen Böschungsanteil ausweisen zu können. Auch eine deutliche Vergrösserung der Gestaltungsvielfalt wurde angestrebt. Abbildung 7-11 zeigt ein Beispiel der skizzierten Gerinnegestaltung am Littenbach. Auch am Äächeli wurden derartige Gerinnestrukturen erarbeitet. Die teilweise sehr grossen Flächenbeanspruchungen haben es nicht von den Skizzen auf die Pläne geschafft. Neu wurde der Abschnitt von der Gibelkurve bis zur Einmündung des Kübachs in die Gerinneplanung aufgenommen.

Abbildung 7-11: Studierte Gerinnegestaltung am Littenbach im Bereich Schulgelände

Im folgend erstellten Planentwurf wurden viele Gerinneabschnitte wieder verschmälert respektive harmonisiert. Folgende Details der geplanten einzelnen Abschnitte können zusammengefasst werden:

- Li 2'750 - 2'580 m: Sohlabsenkung Durchlass Tramstrasse mit folgender Gerinneverlegung (Gibelkurve) mit flachen Böschungen 1:2
- Li 2'580 - 1'900 m: deutliche Sohlverbreiterung auf rund 4 m mit der Möglichkeit zur Sohlstrukturierung, variabler Böschungsfuss zur variantenreichen Gestaltung, steilere Böschungen da keine zusätzliche Breite zur Verfügung steht
- Li 1'900 – 1'650 m: deutliche Sohlverbreiterung auf maximal 7 m mit der Möglichkeit zur Sohlstrukturierung, variablem Böschungskopf und -fuss zur variantenreichen Gestaltung, sehr flache Böschungen durch zusätzliche Breite aufgrund von Weg und Strassen Verschmälerung
- Li 1'650 - 1'150 m: Einmündung Kübach bis Ende Naturpark Gerinne mit beidseitigen sehr flachen Böschungen 1:2, deutliche Sohlverbreiterung auf maximal 12 m, Sohlstrukturierung, variablem Böschungskopf und -fuss zur variantenreichen Gestaltung, zusätzliche Gerinnebreite durch Verschiebung Kobelstrasse
- Li 1'150 – 1'000 m: Ende Naturpark bis Brücke Walzenhauserstrasse mit der Verbeiterung des Gerinnes abschnittsweise nach links und rechts mit einseitiger Stützmauer 5:1 bei Sohlbreiten bis 12 m
- Li 1'000 - 840 m: beidseitige Stützmauer 5:1 mit einseitiger, flacher Böschung 1:3 bei einer Sohlbreite von 8.5 m
- Li 840 - 740 m: beidseitige Aufweitung mit sehr flachen Böschungen mit Zugänglichkeit zum Bach und Teichausbildung
- Li 740 - 400 m: mit beidseitigen Stützmauern 5:1 und Sohlbreite von knapp 10 m

- Li 400 - 260 m: mit einseitiger Stützmauern 5:1 und Sohlbreite von 11 m, kleiner Aufweitung mit Zugänglichkeit zum Bach und anschliessender einseitiger Böschung ca. 2:3, Verlegung Hollandiaweg notwendig
- Li 260 - 180 m: beidseitige Stützmauer 5:1 und Sohlbreite von 10 m
- Li 180 - 35 m: einseitige Stützmauer 5:1, rechtsseitig Kombination aus Böschung, Berme, Stützmauer und Sohlbreite von 8 m
- Buechholzbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3, rechtseitiger Kronenmauer und Sohlenbreite von 1.5 m
- Hinterburgbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlenbreite von 5-6 m
- Äächeli 1'395 – 650 m: mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlbreite von 8 m
- Äächeli 650 – 35 m: mit einseitiger Böschung 2:3 und 1:1 und Stützmauer 5:1, Sohlbreite von 6 m

Beispielhaft ist in Abbildung 7-12 ein Abschnitt mit verschiedenen «Auflockerungsmassnahmen» bzw. Massnahmen zur Vermeidung von Stützmauern dargestellt. Am Littenbach beträgt der Anteil von Böschungslänge zur Uferlänge unterhalb des Naturparks knapp 20%. Am Äächeli sind es nach dem Drosselbauwerk im besiedelten Gebiet 50%.

Abbildung 7-12: Beispiel Littenbach Abschnitt 1'150 bis 600 m

Der hohe Anteil von Mauerstrecken konnte etwas reduziert werden, die Gerinnegestaltung wurde stark aufgelockert und lokal konnten einzelne «Oasen» geplant werden. Zum Mai 2019 wurden die Pläne weiter ausgearbeitet und samt Querprofilen abgegeben.

Bauprojekt Überarbeitung – September 2019 (I05)

Im Juni 2019 begann die Zusammenarbeit mit der Gewässerraumausscheidung erarbeitet durch ERR. Daraus ergab sich die Möglichkeit wieder deutliche Gerinneverbreiterungen in Betracht zu ziehen. Die Vorschläge von ERR und die übergeordnete Raumplanung schafften Chancen für längerfristige Planungen. Die Diskussion rund um die Festlegung des Gewässerraums konnte gerade im unteren Bereich des Littenbachs zu einer deutlichen Steigerung des Böschungsanteils genutzt werden. Am Äächeli konnte auf die Mauern verzichtet werden.

Folgende Details der geplanten einzelnen Abschnitte können zusammengefasst werden:

- Li 2'750 - 2'580 m: Sohlabsenkung Durchlass Tramstrasse mit folgender Gerinneverlegung (Gibelkurve) mit flachen Böschungen 1:2

- Li 2'580 - 1'900 m: deutliche Sohlverbreiterung auf rund 4 m mit der Möglichkeit zur Sohlstrukturierung, variabler Böschungsfuss zur variantenreichen Gestaltung, steilere Böschungen da keine zusätzliche Breite zur Verfügung steht
- Li 1'900 – 1'650 m: deutliche Sohlverbreiterung auf maximal 7 m mit der Möglichkeit zur Sohlstrukturierung, variablem Böschungskopf und -fuss zur variantenreichen Gestaltung, sehr flache Böschungen durch zusätzliche Breite aufgrund von Weg und Strassen Verschmälerung
- Li 1'650 - 1'150 m: Einmündung Kübach bis Ende Naturpark Gerinne mit beidseitigen sehr flachen Böschungen 1:2, deutliche Sohlverbreiterung auf maximal 12 m, Sohlstrukturierung, variablem Böschungskopf und -fuss zur variantenreichen Gestaltung, zusätzliche Gerinnebreite durch Verschiebung Kobelstrasse
- Li 1'150 – 1'000 m: Ende Naturpark bis Brücke Walzenhauserstrasse mit der Verbeiterung des Gerinnes abschnittsweise nach links und rechts mit einseitiger Stützmauer 5:1 bei Sohlbreiten bis 12 m
- Li 1'000 - 840 m: beidseitige Stützmauer 5:1 mit einseitiger, flacher Böschung 1:3 bei einer Sohlbreite von 8.5 m
- Li 840 - 740 m: beidseitige Aufweitung mit sehr flachen Böschungen mit Zugänglichkeit zum Bach und Teichausbildung
- Li 740 - 35 m mit einseitiger Stützmauern 5:1 und Sohlbreite von 8-9 m, kleinere Aufweitungungen mit Zugänglichkeit zum Bach und durchgehend einseitiger Böschung ca. 2:3, Verlegung Hollandiaweg notwendig
- Buechholzbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3, rechtseitiger Kronenmauer und Sohlenbreite von 1.5 m
- Hinterburgbach mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlenbreite von 5-6 m
- Äächeli 1'395 – 650 m: mit beidseitiger Böschung 1:2 und 2:3 und Sohlbreite von 8 m
- Äächeli 650 – 35 m: mit beidseitiger Böschung 2:3, Sohlbreite von 4 m

In Abbildung 7-13 ist ein Abschnitt im unteren Teil des Littenbachs mit neu einseitiger Böschung dargestellt. Am Littenbach beträgt der Anteil von Böschungslänge zur Uferlänge unterhalb des Naturparks knapp 40%. Am Äächeli sind es nach dem Drosselbauwerk im besiedelten Gebiet 100%.

Abbildung 7-13: Beispiel Littenbach Abschnitt 400 bis 200 m

Bauprojekt Überarbeitung – Dezember 2019 (PG16)

Der erreichte Planungsstand des Gerinnes wurde immer wieder durch kleinere Anpassungswünschen ergänzt, wie beispielsweise durch die Begradigung bzw. den direkten Anschluss des Hollandiawegs via Parzelle 47 an die Bahnhofstrasse (vgl. Abbildung 7-13).

Schlussendlich konnte der hohe Anteil von Mauerstrecken deutlich reduziert werden, die Gerinnegestaltung wurde stark aufgelockert und lokal konnten gute Lösungen erarbeitet werden. Die Massnahmen des vorliegenden Bauprojekts sind in den folgenden Abschnitten beschrieben und in den aktuellen Plänen dargestellt.

7.1.4 Sedimentationsbecken

Die Lage und Grösse des Sedimentationsbeckens wurde im Rahmen der Projektbearbeitung ebenfalls nochmals untersucht und es wurden Varianten mit einem veränderten Längen- / Breitenverhältnis und mit einer anderen Lage, weiter bachaufwärts, abgeklärt.

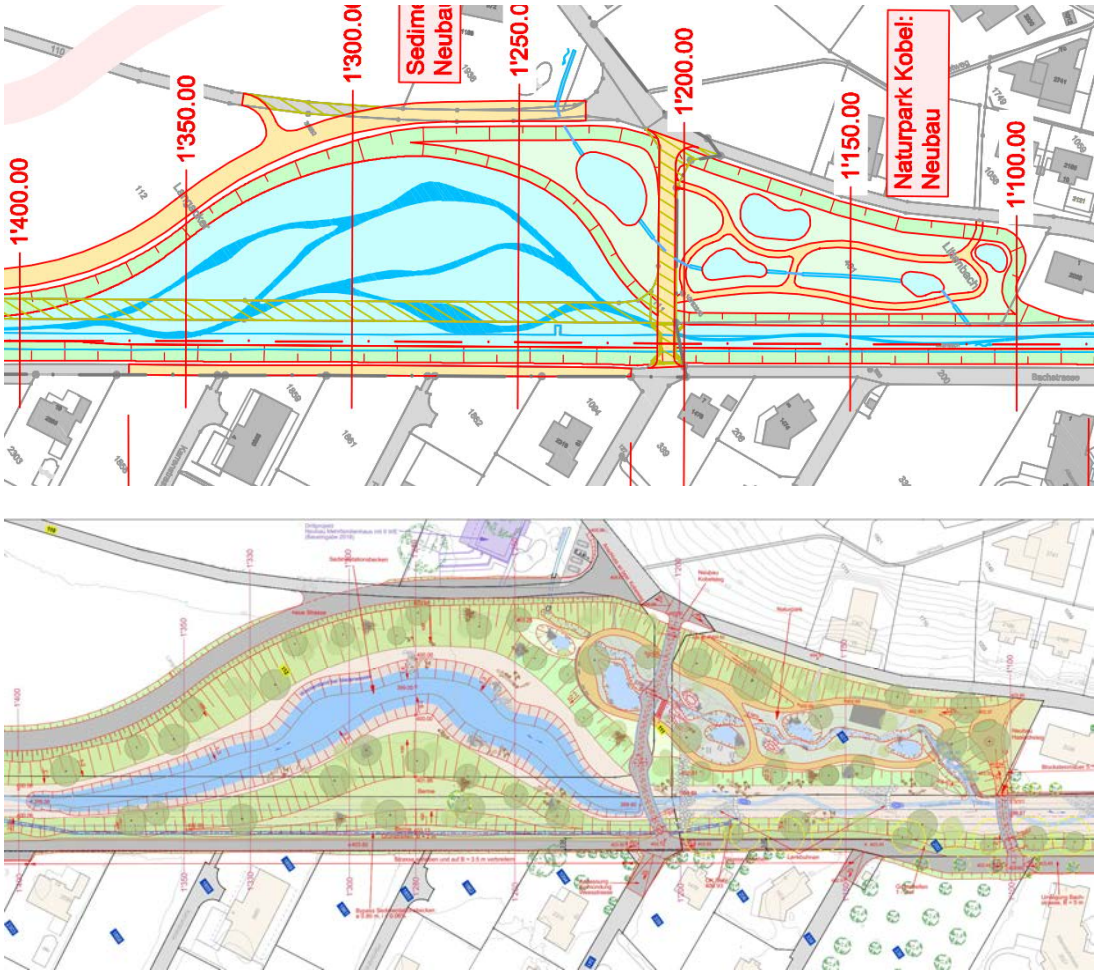


Abbildung 7-14: Vergleich Sedimentationsbecken gemäss Vorprojekt (oben) und Vorliegendes Bauprojekt (unten)

Es zeigt sich, dass

- für die Absetzung der Sedimente das Becken nicht verkleinert werden kann;
- die Lage weiter bachaufwärts aus hydraulischer Sicht besser wäre, in Kombination mit dem Naturpark Kobel und der Einmündung des Kobelbaches am geplanten Standort festgehalten werden soll;
- anstelle der verzweigten Gerinne (Vorprojekt) ein länglicher, schmaler See mit stehendem Wasser (Art Sandfang), ausgebildet werden soll (s. Abbildung 7-14).

Die Erkenntnisse aus diesen Abklärungen sollen bei der weiteren Projektierung berücksichtigt werden.

7.1.5 Retentionsräume Kloteren

Wie im Vorprojekt vorgesehen werden die Hochwasserspitzen in den Retentionsräumen im Gebiet Kloteren zurückgehalten. Auf Grund der Topographie und der vorhandenen Strassen stehen vier Retentionsräume mit verschiedenen Grössen zur Verfügung.
Im Rahmen des Projektes wurde abgeklärt

- in welcher Reihenfolge die Retentionsbecken gefüllt werden sollen
- welches Becken als Überlastbecken festgelegt werden soll
- ob zusätzliche Becken für den Rückhalt notwendig sind.

Zur Klärung dieser Fragen wurden umfangreiche Modellierungen durchgeführt und es hat sich gezeigt, dass die im Vorprojekt gewählte Variante die optimalste Lösung darstellt. Im Anhang B.4.3 sind diese Überlegungen dokumentiert.

7.1.6 Verkehrsführung

Aufgrund der umfassenden Hochwasserschutzmassnahmen sind auch diverse Brücken und Strassenabschnitte involviert. Die Planung der Brücken ist innerhalb der Dossiers 3, 4 und 9 dokumentiert, diejenige der Strassen in Dossier 2.

Die heutigen Verkehrsrouten sind in Abbildung 7-15 (links) dargestellt. Der Verkehrsanschluss des Quartiers Kobel läuftüber folgende Routen:

1) Wees Wohngebiet
2) Kobelweg Wohngebiet, enge Verhältnisse, ungünstige Einmündung
3) Littenbachstrasse ungünstige Einmündung

Das HWS-Projekt sieht neben dem Naturpark Kobel als Erholungsraum ein Sedimentationsbecken vor, welches ebenfalls ein Naturraum ist. Daraus ergeben sich die Anforderungen, dass kein motorisierter Verkehr und damit nur Fuss- und Radwege in diesem Bereich vorliegen. Damit fällt in Zukunft die Route Wees weg.

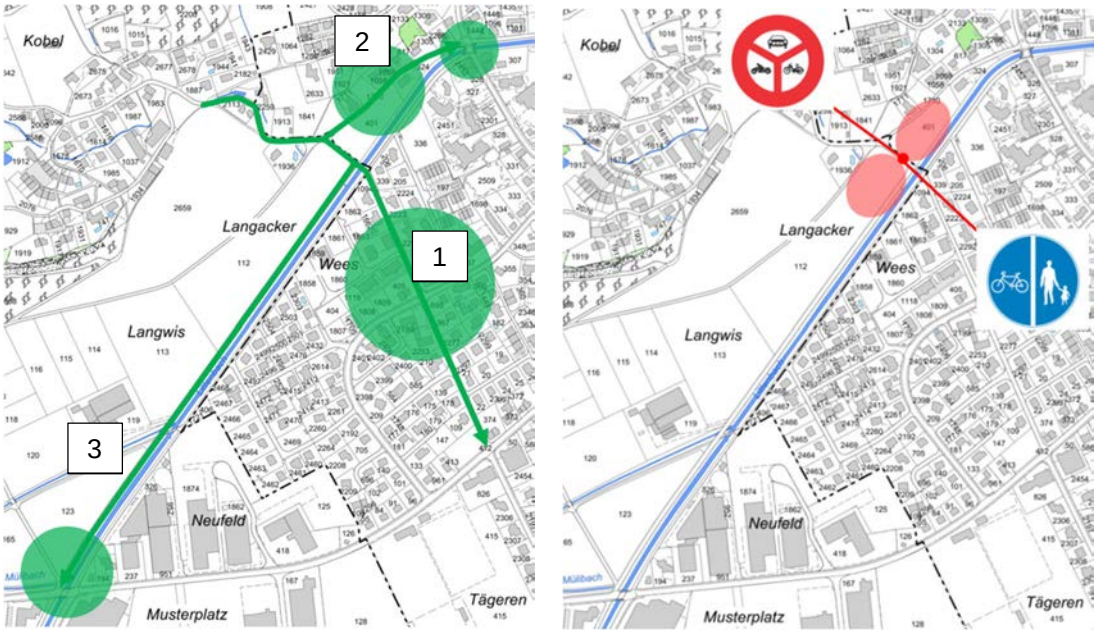


Abbildung 7-15: Verkehrsverbindung Kobel – Wees, links: Ist-Zustand, rechts: Lage Sedimentationsbecken und Naturpark mit Anforderungen an Verkehrsführung

Im Rahmen eines Workshops wurden die Verkehrsführungen Kobel – Wees behandelt. Abbildung 7-16 zeigt drei diskutierte Konzepte. Die Route Kobelweg (1) benötigt für den Betrieb im Gegenverkehr einen Ausbau und die Einmündung in die Walzenhauserstrasse ist anzupassen. Die Platzverhältnisse sind sehr beengt. Die Route Littenbachstrasse (2) erfordert den Neubau einer Brücke über den Kübach und die Anpassung der Einmündung in die Auerstrasse. Die Route Neufeld (3) erfordert ebenso den Neubau einer Brücke über den Littenbach und die Anpassung der Einmündung in die Auerstrasse.

Die Route (3) zeichnet sich als Bestvariante aus, weil die mittellange Verbindung entlang des Siedlungsrands führt und eine übersichtliche Einmündung ermöglicht. Weiter erfolgt der Anschluss direkt an die neu geplante Wendeschlaufe im Industriegebiet Neufeld (Parzelle 1874).

Entlang des Sedimentationsbeckens ist eine Ufererhöhung zur Einhaltung des Freibords und zur Gewährleistung des Unterhalts notwendig. Auf dieser Dammsituation wird die neue Kobelstrasse in einer Breite von 6 m für den Gegenverkehrsbetrieb geführt.

Abbildung 7-16: Lösungsansätze Verkehrsführung: (1) Route Kobelweg, (2) Route Littenbachstrasse, (3) Route Neufeld (= Bestvariante)

7.2 Raumplanerische Massnahmen

Anfangs des 20. Jahrhunderts sind die Gewässer Littenbach und Äächeli in ihrer heutigen Form erstellt worden. In Laufe der Zeit sind die beiden Gemeinden Berneck und Au gewachsen. Abbildung 7-17 zeigt beispielhaft einen Auszug der aktuellen Raumplanung der Gemeinde Berneck. An den Littenbach angrenzend sind verschiedene Wohnzonen, Industriezone und Wohn-Gewerbezone.

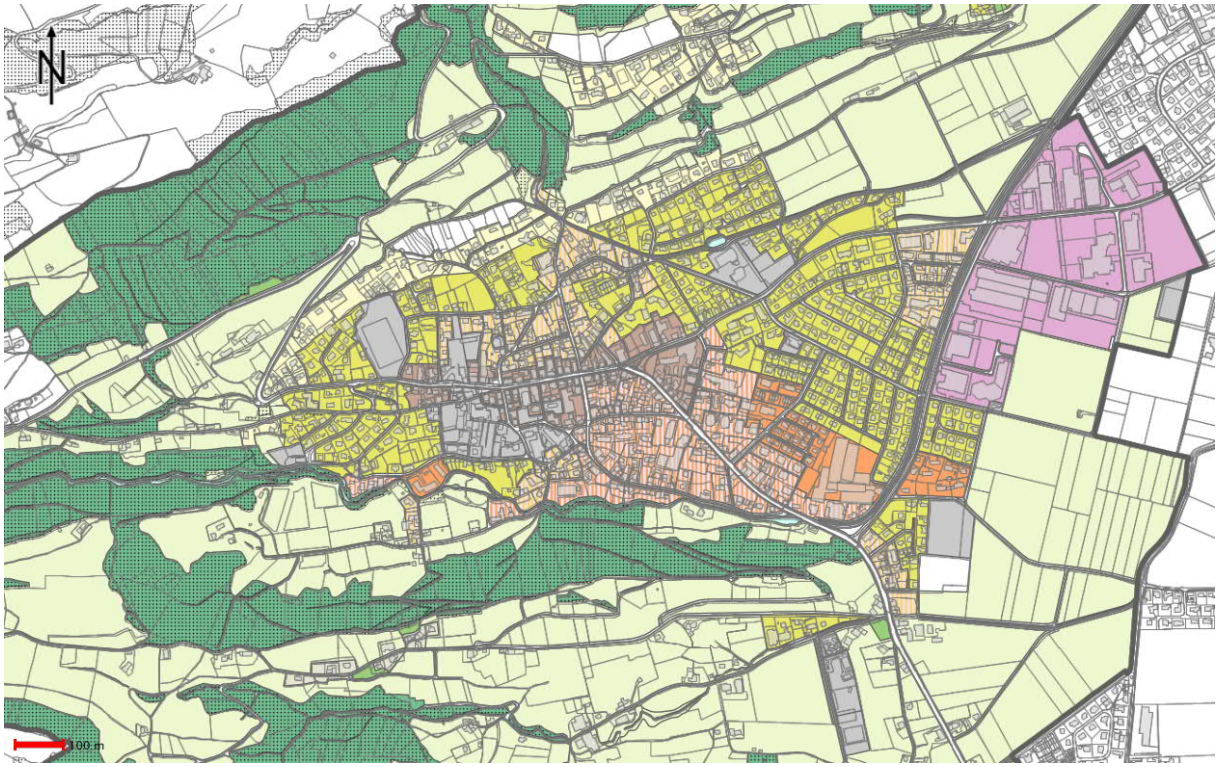


Abbildung 7-17: Raumplanung Gemeinde Berneck (Quelle: WebGIS)

Innerhalb des mit dem Zonenplan festgelegten Baugebietes ist der Druck auf die Gewässer durch Gebäude und Infrastrukturanlagen stetig gewachsen. Ausserhalb des Siedlungsgebietes nutzt die Landwirtschaft den Raum und der Druck auf die Gewässer ist auch hier gewachsen.

Praktisch entlang des gesamten Littenbaches verlaufen beidseitig Strassen, Wege oder Werkleitungen und auch Äächeli, Hinterburgbach und Buechholzbach sind von Strassen oder Wegen gesäumt.

Bisher gilt ein Gewässerabstand gemäss Art. 59 BauG von 10 m gegenüber von Bächen (Gemeindegewässer; übrige Gewässer). Dieser Abstand beinhaltet unter anderem keinen technischen Zugang. Innerhalb des Projektperimeters ist dieser 10-m Streifen an einigen Stellen heute nicht eingehalten.

Im Zuge des vorliegenden Projekts wird der Gewässerraum gemäss Art. 41 GSchV für Abschnitte im Projektperimeter im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutzprojekt ausgeschieden. Das Projektteam des Raumplanungsbüro ERR, St. Gallen hat hierzu eine Dokumentation «Sondernutzungspläne Gewässerraum Hochwasserschutzprojekt Littenbach-Äächeli und Rückhalteraum Kloteren» verfasst, welche in Dossier 4 enthalten ist. Die Sicherung des Gewässerraums erfolgt mittels Baulinien.

7.3 Bauliche Massnahmen und Gewässerausbau

Das Projekt Kiesfang Schlossbrugg wurde auf Basis einer Machbarkeitsstudie zur Sicherstellung des Hochwasserschutzes bereits ausgearbeitet und im Rahmen der vorgezogenen Massnahmen in den Jahren 2005-2007 realisiert. Es bildet am Littenbach den oberen Rand des Projektperimeters.

7.3.1 Littenbach

Im Folgenden werden die Abschnitte des Littenbaches beschrieben, welche innerhalb des Projektperimeters liegen. Dabei wird das Bachgerinne beinahe über den gesamten Bachverlauf aufgeweitet bzw. verbreitert. Dies ist hydraulisch bedingt, damit ein 100-jährliches Hochwasser (24 m^3/s resp. 38 m^3/s nach Entlastung, s. Kap. 4.4) abgeleitet werden kann. Zusätzlich werden die Böschungen so flach wie möglich gestaltet. Die Reihenfolge der Beschreibungen orientiert sich an der Fliessrichtung. Über alle Abschnitte wird versucht mittels geeigneter Massnahmen die Bildung einer Niederwasserrinne zu induzieren und somit die Fischgängigkeit zu optimieren. Entlang der Gewässer werden neue Bäume und Hecken gepflanzt, um die erforderliche Beschattung des Gewässers zu gewährleisten. An den Böschungen werden heimische und standortgerechte Ökotypen, wie z.B. Blumenwiesen oder Krautsaum angelegt. An den Ufern des Niederwassergerinnes werden Hochstaudenflure angebracht. Die Planung von Bestand, Rodung und Pflanzung ist Auftrag der Brunner Landschaftsarchitekten GmbH.

7.3.1.1 Durchlass Tramstrasse

Der Durchlass Tramstrasse bleibt bestehen, die Lage der Sohle wird allerdings angepasst (vgl. Abbildung 7-18). Die Sohle wird unterhalb der Tramstrasse bis ca. 100 m weiter stromabwärts abgesenkt. Durch diese Anpassung wird die Abflusskapazität erhöht sowie die Tendenz zur Geschiebeablagerung oberhalb und innerhalb des Durchlasses reduziert. Des Weiteren wird durch die Anpassung der Sohle ebenfalls die Verklausungsgefahr reduziert.

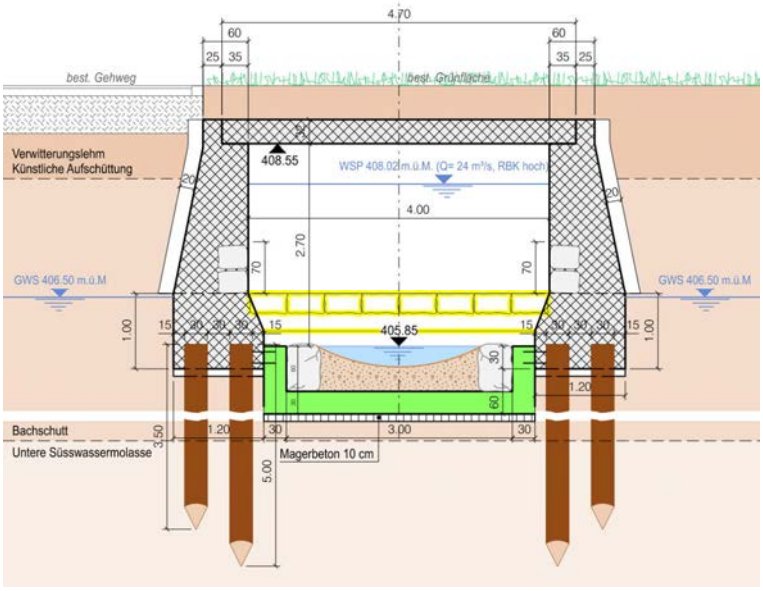


Abbildung 7-18: Schnitt Durchlass Tramstrasse mit Anpassung der Sohllage

7.3.1.2 Gibelkurve bis Auerstrasse, 2'700 – 1'900 m

Der Abschnitt liegt zwischen den bestehenden Littenbachstrasse und Gemperenstrasse. Aufgrund der Sohlabsenkung des Durchlasses Tramstrasse um 70 cm wird auch innerhalb der Gibelkurve die Sohle abgesenkt. Diese Absenkung erstreckt sich ab dem Durchlass bis ca. 100 m weiter ins Unterwasser. Durch die Absenkung der Sohle in der Gibelkurve kann neben der Erhöhung der Abflusskapazität des Durchlasses zusätzlich schiessender Abfluss in der Gibelkurve verhindert werden.

Die projektierte Sohlneigung im Abschnitt 2'700 m bis ca. 2'100 m liegt zwischen 0.6 % und 0.9 %, zwischen 2'100 m bis 1'900 m liegt das Längsgefälle bei 0.13 %. Der Littenbach bleibt in diesem Abschnitt grösstenteils in seiner Lage bestehen, einzig im Kurvenbereich (ca. 2'680 m – 2'550 m) wird der Kurvenradius vergrössert und damit die Bachsohle in der Lage verändert. Über den gesamten Abschnitt wird der Bach in einem geböschten Querschnitt mit Sohlbreiten zwischen 2.4 m und 3.0 m und Neigungen von ca. 1:1 bis 2:3 geführt. Im Vergleich zum Bestand liegen aufgrund der partiellen Sohlabsenkung teilweise steilere Böschungen im Projektzustand vor, ansonsten werden die Böschungsneigungen kaum verändert.

Für die Erhöhung der Strömungsvielfalt sowie die Indizierung einer Breiten- und Tiefenvariation der Sohle und Bildung einer Niederwasserrinne sind diverse Sohlstrukturen eingeplant. Darunter befinden sich folgende Strukturelemente: Wurzelstämme, Strömungstrichter, Lenkbuhnen, Kiesbänke, querliegende Baumstämme mit Wurzelstamm, lebende Abweiser sowie Anhäufungen von Steinen. Der Planausschnitt von 2'200 m bis 2'100 m in Abbildung 7-19 sowie das Querprofil bei 2'100 m in Abbildung 7-20 visualisieren stellvertretend für den gesamten Abschnitt die projektierten Sohlstrukturen.

Abbildung 7-19: Projektierte Sohlstrukturen im Abschnitt 2'700 – 1'900 m (Planausschnitt, 2'200 – 2'100 m)

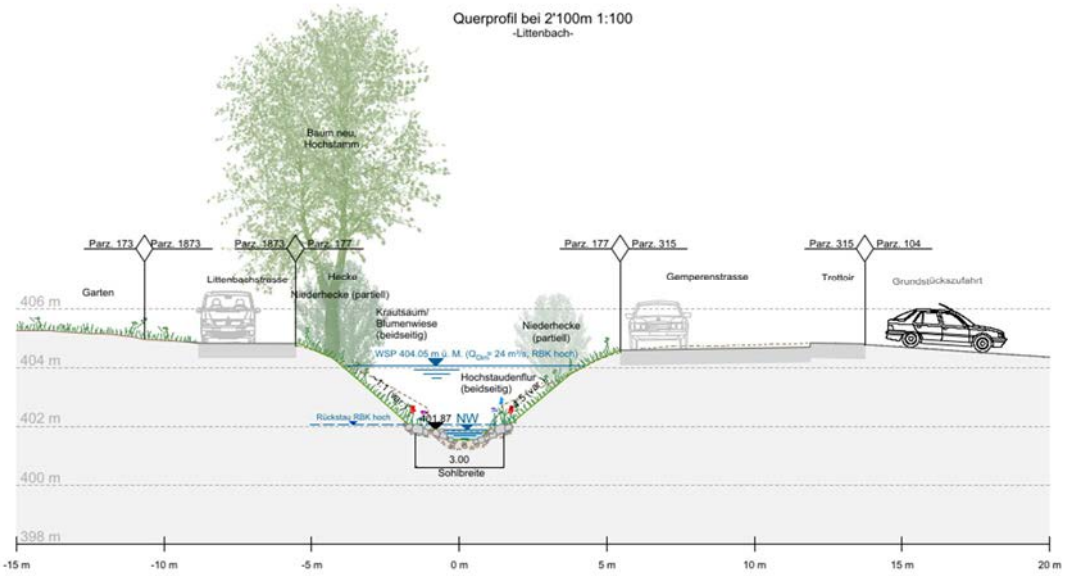


Abbildung 7-20: Querprofil bei 2'100 m mit geplanten Sohlstrukturen

Innerhalb des Abschnittes liegen die Brücken Johannes Dierauerstrasse (2'513 m) und Kropfackerstrasse (2'295 m). Da die Abflussquerschnitte beider früheren Brücken ungenügend waren, und dadurch Ausuferungen und Überschwemmungen verursacht wurden, wurde die Erneuerung der Brücken dem Gesamt-Hochwasserschutzprojekt Littenbach-Äächeli vorgezogen. Die beiden Brücken wurden bereits in den Jahren 2016 und 2017 erneuert. Es sind keine weiteren Anpassungen der Brücken innerhalb dieses Projektes vorgesehen.

Aufgrund der Überlegungen im Zusammenhang mit dem Dossier Strassenbau wurde beschlossen im Abschnitt 2'110 – 1'970 den Kiesweg neu mit einem Belag zu versehen und in der Standardbreite für Fuss- und Velowege von 3.5 m auszuführen. Diese Anpassung wurde in Absprache mit dem BHU genutzt um die in diesem Abschnitt eher monotone Linienführung etwas aufzulockern. Abbildung 7-21 zeigt den entsprechenden Bereich.

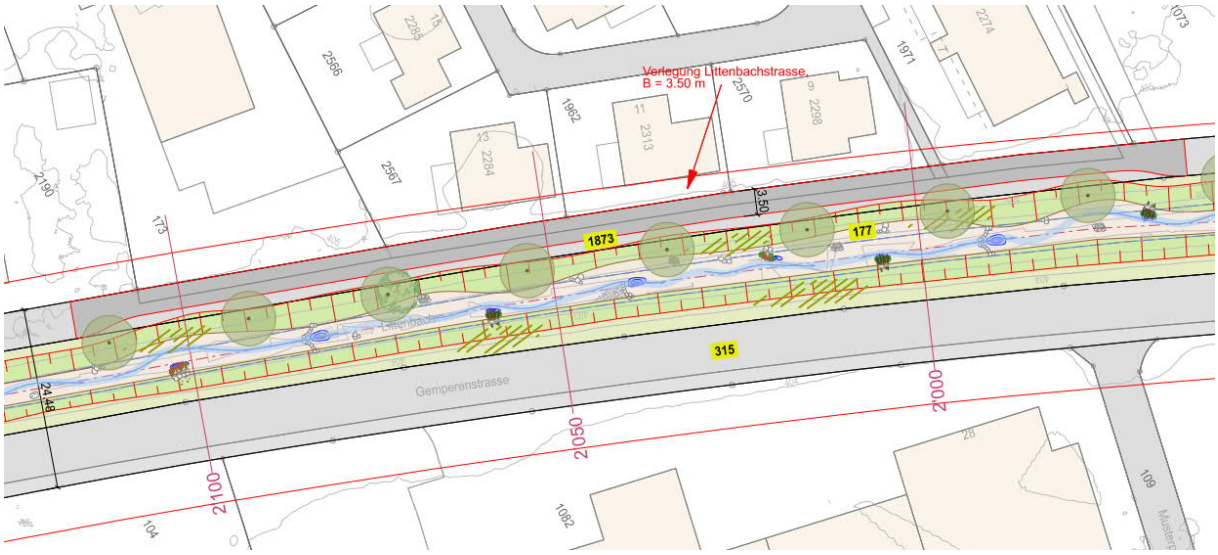


Abbildung 7-21: Linksufrige Anpassung der Böschung aufgrund Strassenplanung und Anpassung der Sohlstruktur im Abschnitt 2'110 – 1'970

7.3.1.3 Auerstrasse bis Sedimentationsbecken, 1'900 – 1'400 m

Der Abschnitt liegt zwischen der verschmälerten (ca. 1'875 – 1'600 m), resp. verlegten Littenbachstrasse (ca. 1'600 – 1'400 m), orographisch links, sowie des neu projektierten Kiesweges (ca. 1'875 – 1'600 m) resp. der angehobenen und teilweise verbreiterten Bachstrasse (1'600 – 1'400 m), orographisch rechts.

Der Abschnitt zwischen der Auerstrasse und der Mündung des Kübachs (ca. 1'875 – 1'600 m) weist ein Längsgefälle zwischen 0.4 % und 0.5 % auf. Die Bachsohle, mit einer Breite von 4.0 m bis 5.5 m, wird in variabler Linienführung gestaltet, um einen geschwungenen Strömungsstrich zu induzieren. Aufgrund der variablen Sohllage, variieren auch die Böschungsneigungen stärker. Die Neigungen liegen generell zwischen 2:5 und 2:3, lokal auch bis 1:1. Im Vergleich zum Bestand wird das stark lineare Bild aufgebrochen und durch eine geschwungene Linienführung abgelöst. Durch die Aufhebung der bestehenden Littenbachstrasse auf der rechten Uferseite, erhält das Gerinne mehr Platz, welcher durch eine geringe Verbreiterung der Bachsohle und durch generell flachere Böschungsneigungen genutzt wird. Die Sohlneigung bleibt annähernd wie im heutigen Bestand.

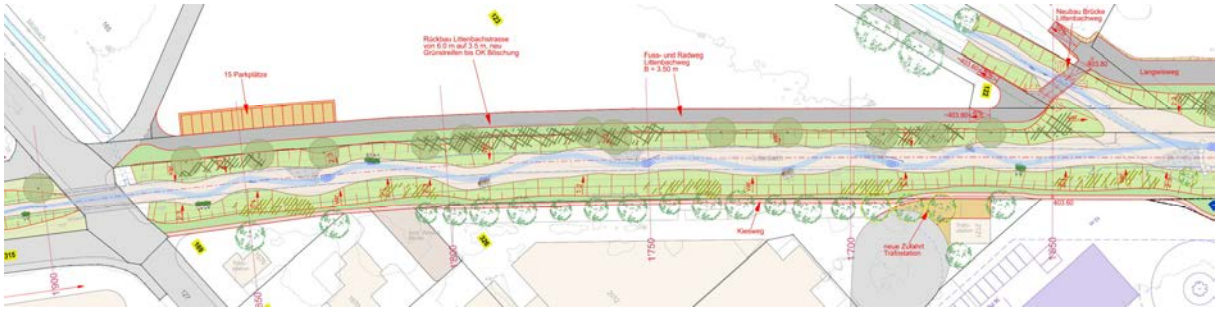


Abbildung 7-22: Gerinnegestaltung im Abschnitt 1'870 – 1'640 m

Im Bereich der Mündung des Kübachs erfolgt eine grosszügige Aufweitung von ca. 15 m Breite. Zwischen der Einmündung und der Brücke Neufeld weist der Littenbach eine Sohlneigung von ca. 0.4 % auf, die Sohlbreite liegt zwischen ca. 15 m (Aufweitung) und 10 m. Die Böschungen werden mit Neigungen zwischen 2:3 und 1:2 ausgebildet. Im Vergleich zum Bestand entspricht die Sohlveränderung einer Verbreiterung um mind. 6 m. Neben dem Littenbach wird auch der Mündungsbereich des Kübachs neugestaltet. Der Durchlass des Kübachs unterhalb der Littenbachstrasse wird abgebrochen und durch den Brückenneubau Steg Auerfussweg ersetzt. Die Bachsohle des Kübachs wird im Mündungsbereich auf ca. die doppelte Breite aufgeweitet und der Querschnitt geböscht gestaltet. Die Längsneigung bleibt wie im Bestand.

Zwischen der Brücke Kobelstrasse und dem projektierten Sedimentationsbecken (ca. 1'600 – 1'400 m) liegt die Sohlneigung bei ca. 0.1 %. Das Gerinne wird im analogen Stil zum Abschnitt zwischen Auerstrasse und Mündung des Kübachs gestaltet. Die Sohle wird mit variabler Breite zwischen ca. 4.5 m und ca. 12 m und ebenfalls in geschwungener Linienführung geplant. Daraus resultiert ein Trapezquerschnitt mit variablen Neigungen, welche generell zwischen 1:2 und 2:3 liegen. Durch die abwechslungsreiche, geschwungene Gestaltung der Böschungslinie treten lokal begrenzte Neigungen bis 1:1 auf.

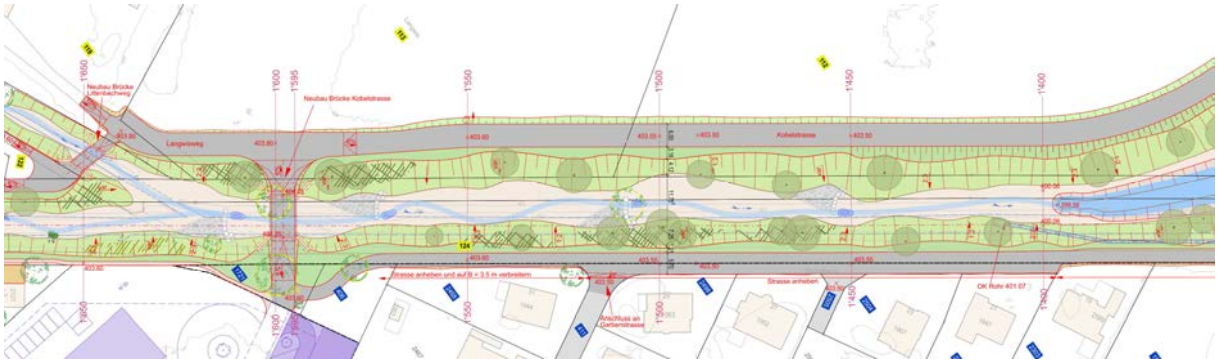


Abbildung 7-23: Gerinnegestaltung im Abschnitt 1'640 – 1'400 m

Die Strömungsvielfalt des Gewässers wird neben Sohlstrukturen auch durch die variable Ausdehnung der Böschung erhöht (Abbildung 7-22, resp. Abbildung 7-23). Durch die gewählte Gerinnegestaltung soll eine Breiten- und Tiefenvariation der Sohle sowie die Bildung einer Niederwasserrinne induziert werden. Im Abschnitt von ca. 1'900 – 1'600 m sind folgende Sohlstrukturen eingeplant: Lenkbuhnen, Kiesbänke, Wurzelstämme und lebende Abweiser. Im Abschnitt zwischen 1'600 – 1'400 m sind aufgrund der geringen Sohlneigung ausschliesslich Lenkbuhnen und Kiesbänke eingeplant. Die Lenkbuhnen werden nur in geringer Höhe ausgebildet, so dass der Fliessquerschnitt in geringem Mass reduziert wird.

Innerhalb des betrachteten Abschnittes liegen die Brücken Auerstrasse (1'885 m), Steg Auerfussweg (Mündung Kübach) und die Brücke Neufeld. An der Brücke Auerstrasse werden keine Anpassungen vorgenommen. Die Brücken Steg Auerfussweg und Neufeld sind geplante Neubauten, welche den bestehenden Kübachsteg, resp. die bestehende Überfahrt des Littenbachs über den Durchlass des Kübachs ersetzen. Der Steg dient dem Langsam- und Fussgängerverkehr, die Brücke Neufeld dem Strassenverkehr. Die genannten Brücken werden innerhalb des "Dossiers 4 – Brückenbau Gemeindestrassen" [55] ausführlich dokumentiert.

In diesem Abschnitt werden folgende Strassen durch die Planung des Hochwasserschutzprojektes tangiert: Littenbachstrasse (rechte und linke Uferseite) und Bachstrasse. Die Strassen Littenbachstrasse (linke Uferseite) wird zwischen der Auerstrasse und dem Steg Auerfussweg von 6 m auf 3.5 m rückgebaut und dient ausschliesslich dem Langsam- und Fussgängerverkehr. Zwischen dem Steg Auerfussweg und dem oberen Ende des Sedimentationsbeckens wird die Littenbachstrasse um ca. 12 m – 14 m weiter vom Gewässer entfernt in seiner ursprünglichen Breite ersetzt. Dieser Strassenabschnitt dient weiterhin dem Strassenverkehr. Die Littenbachstrasse auf der rechten Uferseite wird abgebrochen und durch einen Kiesweg für Fussgängerverkehr ersetzt. Der Anschluss der Bachstrasse wird im Bereich der Brücke Neufeld den neuen Gegebenheiten angepasst. Die Bachstrasse wird angehoben um dem erforderlichen Freibord zu genügen. Die schmalen Abschnitte werden auf 3.5 m verbreitert. Die genannten Strassen werden innerhalb des "Dossiers 2 – Strassenbau" [55] ausführlich dokumentiert.

7.3.1.4 Sedimentationsbecken Klumpen, 1'400 – 1'200 m

Das projektierte Becken ist rund 200 m lang und weist eine mittlere Breite von etwa 40 m auf, was einer Fläche von rund 8'000 m^2 entspricht (Abbildung 7-24). Das Ablagerungspotenzial liegt bei rund 2'300 m^3.

Das Sedimentationsbecken liegt zwischen der bestehenden Bachstrasse, orographisch rechts, und der umgelegten Littenbachstrasse, welche entlang des Beckens führt und an den bestehenden Kobelweg anschliesst.

Im Oberwasser des Beckens weist das Gerinne ein Sohlgefälle von ca. 0.1 % auf, bachabwärts liegt die Neigung bei ca. 0.06 %. Innerhalb des Beckens liegt ein sehr geringes Gefälle von ca. 0.01 % vor. Die Böschungen werden mit Neigungen zwischen 2:3 und 1:2 ausgebildet. Der Bach verläuft nicht mehr gerade, sondern in einem Bogen in nordwestlicher Richtung.

Abbildung 7-24: Sedimentationsbecken und Naturpark

Die Bermen sind mit Material zu schütten, welches möglichst Nährstoffarm ist. Dementsprechend muss der untere Uferbereich einen ausreichenden Erosionswiderstand aufweisen, so dass auch ohne Vegetation auf eine Pflästerung verzichtet werden kann. Alternativ können Rasenziegel für die Erhöhung der Uferstabilität eingesetzt werden.

Weiter ist entlang des Sedimentationsbeckens ein Bypass projektiert, welcher dazu dient während den Unterhaltsarbeiten im Becken den Abfluss umzuleiten. Der Bypass wird innerhalb des Kapitels 6.7.3 und im Anhang C behandelt.

Die Gestaltung des Sedimentationsbeckens nimmt Bezug zum unmittelbar anschliessenden Naturpark Kobel (s. Kap. 7.3.1.5). Aufgrund der übergreifenden Baumpflanzungen wird das gesamte Areal als räumliche Einheit wahrgenommen. Um mögliche Gefahrensituationen zu vermeiden und weitgehend ungestörte Naturbereiche zu entwickeln, ist die Zugänglichkeit zum Becken nur für den Unterhalt vorgesehen (kein Weganschluss an Naturpark).

In diesem Abschnitt werden folgende Strassen durch die Planung des Hochwasserschutzprojektes tangiert: Littenbachstrasse und Bachstrasse. Die Littenbachstrasse wird entlang des Sedimentationsbeckens umgelegt und in ihrer ursprünglichen Breite ersetzt. Dieser Strassenabschnitt dient dem Strassenverkehr. Die Bachstrasse wird angehoben und auf 3.5 m verbreitert. Dieser Strassenabschnitt dient dem Langsam- und Fussgängerverkehr. Die genannten Strassen werden innerhalb des "Dossiers 2 – Strassenbau" [55] dokumentiert.

7.3.1.5 Naturpark Kobel mit Kobelbach, 1'250 – 1'100 m

Unterstrom des Sedimentationsbeckens wird ein Naturpark errichtet. Neben seiner ökologischen Funktion dient der Park als Naherholungsraum und als Spielplatz für Kinder. Der Park ist über zwei Zugänge vom Kobelweg und einen neuen Steg ab der Bachstrasse barrierefrei zugänglich. Zudem ist ein Treppenabgang ab dem Kobelsteg geplant. Ein Rundweg (Kiesbelag) mit platzartigen Aufweitungen und Sitzgelegenheiten führt durch das Areal. Zusätzlich sind trampelpfadartige Querverbindungen vorgesehen. Natürliche Spielstrukturen wie Balancierstämme, Hüpfsteine, Weidentipi, Kiesinsel, Kleingerinne und Pfützen machen den Park zum Erlebnis- und Entdeckungsraum für Klein und Gross. Der Kobelbach wird in diesem Bereich ausgedolt und fliesst zentral durch den Park. Der kleine Bach wird in einem Gerinne mit variabler Sohlbreite und variablen Böschungsneigungen geführt. Über den gesamten Naturpark sind Tümpel verteilt, welche durch Regenwasser gespiesen werden. Zur Abdichtung der Tümpel ist der Einbau von bindigem, beim Bachaushub anfallendem Aushubmaterial vorgesehen. Über Sitzstufen und Trittsteine wird der Littenbach von beiden Seiten zugänglich.

Im gesamten Areal soll weitgehend auf künstliche Materialien verzichtet werden. Eine intensive Begrünung ist nicht geplant. Vielmehr sollen Initialmassnahmen eine natürliche Sukzession und die Entwicklung mosaikartiger Lebensräume fördern, z.B.:

- Ruderal-/Pioniergesellschaften auf kiesigem Standort
- Kleinstgewässer für Pionierarten/Amphibien
- Trittrasenvegetation
- Blumenwiesen auf Magerstandorten
- Strauchgesellschaften/Wildhecken mit Krautsaum
- standortgerechte Laubbäume

Mit diesen Massnahmen kann ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der ökologischen Vielfalt und zur Verbesserung der Vernetzung im Siedlungsraum geleistet werden.

Für die Gewährleistung der Fischgängigkeit ist eine Pendelrampe am unteren Ende des Kobelbaches geplant. Die Becken der Pendelrampe werden mit Naturblocksteinriegeln ausgebildet. Die pendelnde Fliessbewegung wird durch die seitlich abwechselnde Anordnung abgetiefter Steine induziert.

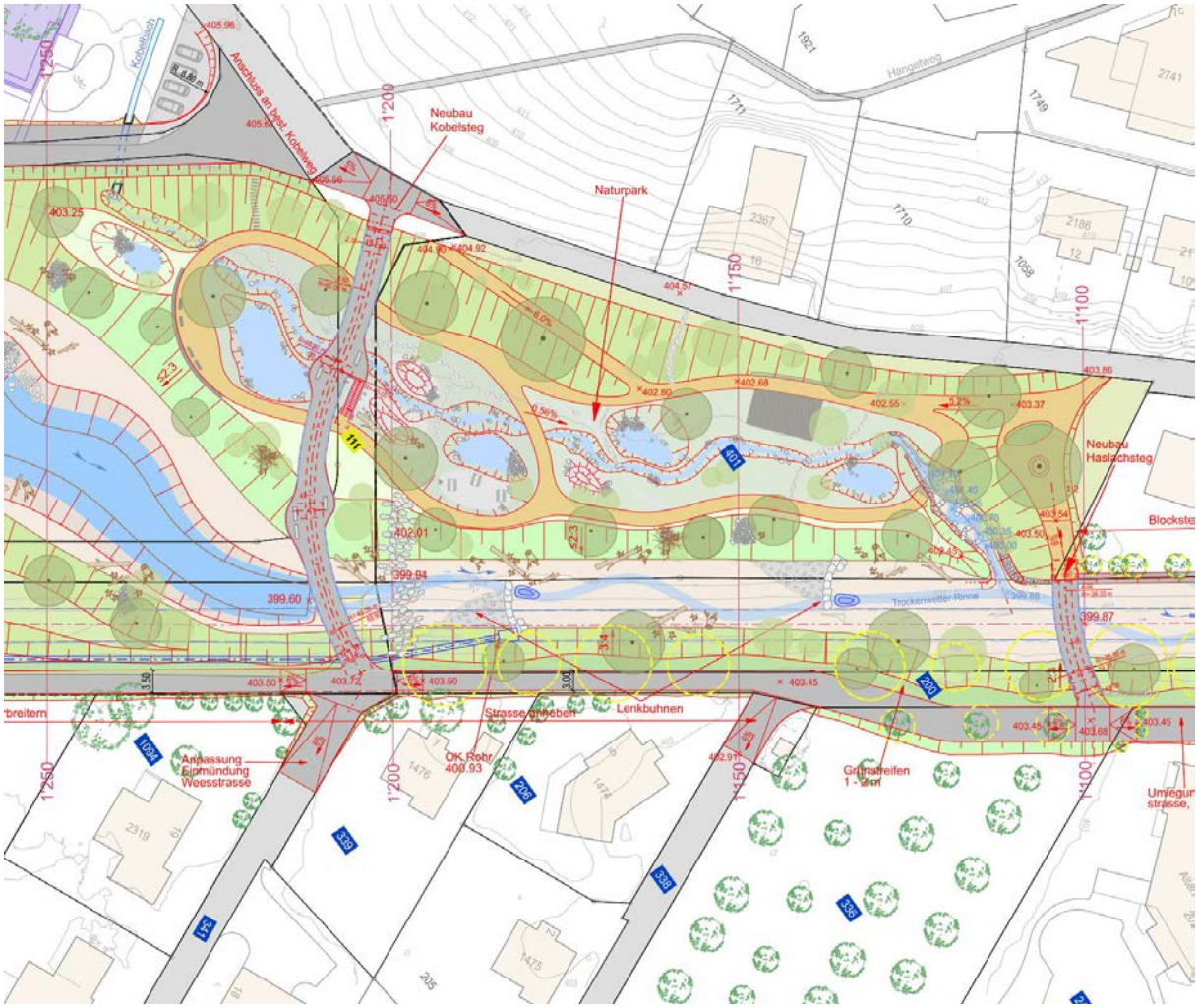


Abbildung 7-25: Naturpark Kobel

Der Littenbach verläuft zwischen dem Naturpark, orographisch links, und der angrenzenden Bachstrasse, orographisch rechts. Die projektierte Sohlneigung liegt bei 0.06 %. Der Bachquerschnitt wird aufgeweitet, die Bachsohle wird ca. 10 m breit ausgebildet und die Böschungen in den Neigungen zwischen 3:4 bis 2:3 am rechten Ufer resp. ≤ 2:3 am linken Ufer gestaltet. Im Vergleich zum Bestand verläuft der Bach weiter nordwestlich und mit flacheren Böschungen.

Für die Erhöhung der Strömungsvielfalt sowie die Indizierung einer Breiten- und Tiefenvariation der Sohle und Bildung einer Niederwasserrinne sind in diesem Abschnitt hauptsächlich Lenkbuhnen und Kiesbänke eingeplant.

Die neuprojektierten Brücken Kobel- (ca. 1'200 m) und Haslachsteg (ca. 1'100 m) erschliessen den Naturpark von beiden Ufern für Langsam- und Fussgängerverkehr (s. Abbildung 7-24). Diese Brücken werden innerhalb des Technischen Berichtes "Dossier 4 – Brückenbau Gemeindestrassen" [55] dokumentiert. Des Weiteren wird am unteren Ende des Sedimentationsbeckens bei ca. 1'200 m eine weitere Zugangsmöglichkeit zum Naturpark mittels Trittsteinen realisiert.

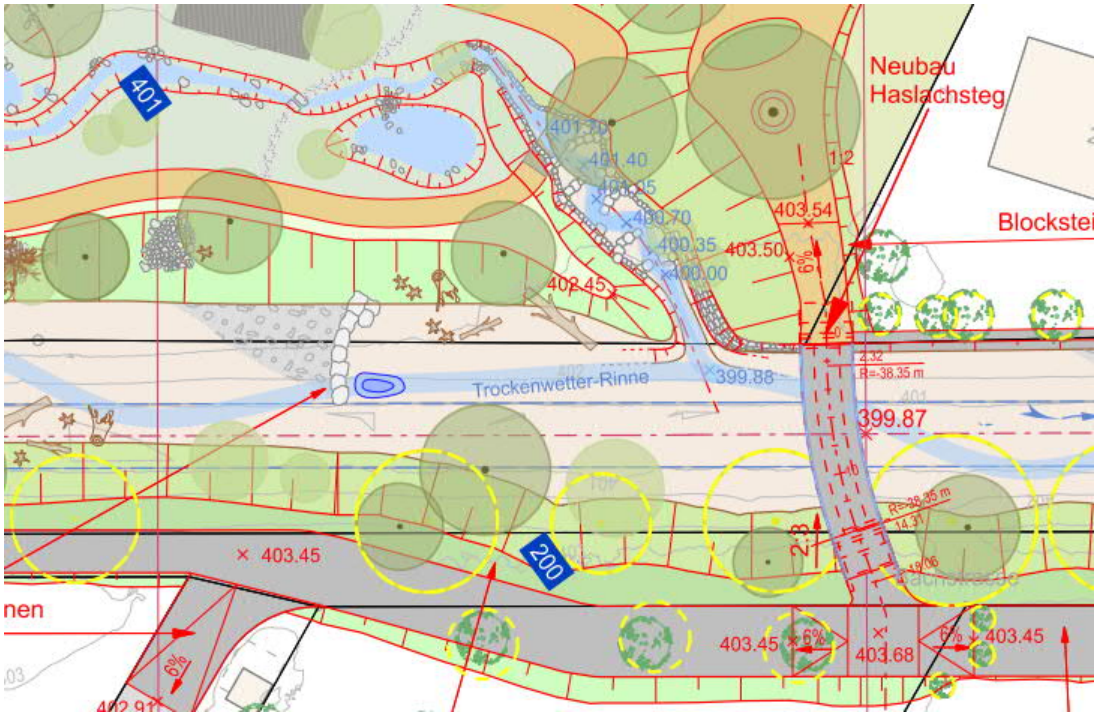


Abbildung 7-26: Pendelrampe als Fischaufstiegshilfe im Kobelbach

Durch das Hochwasserschutzprojekt ist in diesem Abschnitt die Bachstrasse betroffen. Diese wird angehoben, um dem erforderlichen Freibord zu genügen. Die Strasse wird in ihrer ursprünglichen Breite von 3.0 m beibehalten, und nicht auf 3.5 m verbreitert. Es handelt sich hierbei um einen kurzen Abschnitt von ca. 50 m, die schmale Strecke schränkt deshalb den Langsam- und Fussgängerverkehr nur geringfügig ein. Durch die reduzierte Fahrbreite können einerseits die vorhandenen Bäume von Bedeutung (Bäume in blau, Abbildung 7-24) sowie der bereits ausgeführte Dammbau (vorgezogene Massnahme, s. Kap. 2.2.2) entlang des Ufers erhalten werden.

7.3.1.6 Naturpark bis Rheintaler Binnenkanal, 1'100 - 32 m

Dieser Abschnitt ist deutlich durch die umliegende Siedlung von Au geprägt und das Gewässer ist räumlich stärker eingeschränkt als in den oberen Abschnitten. Um in den beengten Verhältnissen eine möglichst grosse Strukturvielfalt der Sohle zu erreichen, wird diese verbreitert und der Bachquerschnitt zumindest einseitig mit Mauern abgeschlossen.

Im Abschnitt zwischen Walzenhauser- und Hauptstrasse (ca. 1'000 – 715 m) wird das Gewässer durch die bestehende Strasse Friedhofweg und Wohngebäude sowie das Schulhausareal eingeschränkt. Im Speziellen gilt die Laufbahn entlang des Littenbachs als schützens- und erhaltenswert. Der Friedhofweg wird über einen Abschnitt von ca. 60 m verlegt um eine Aufweitung des Gerinnes zu ermöglichen. Die Sohlneigung liegt bei ca. 0.06 %, die Sohle ist generell 8.50 – 9.00 m, in den Aufweitungen bis zu ca. 22 m breit. Der Bachquerschnitt wird mehrheitlich beidseitig mit Blocksteinmauern abgeschlossen, innerhalb der beiden Aufweitungen wird der Querschnitt einseitig geböscht mit variablen Neigungen. Durch die Gerinneaufweitungen wird die sonst monotone Gestaltung innerhalb dieses Abschnittes aufgebrochen und zudem entstehen Zugänge zum Gewässer und dienen als Naherholungsgebiet innerhalb des Siedlungskerns. Die beiden Aufweitungen sind durch Trittsteine innerhalb des Gerinnes miteinander verbunden (Abbildung 7-27).

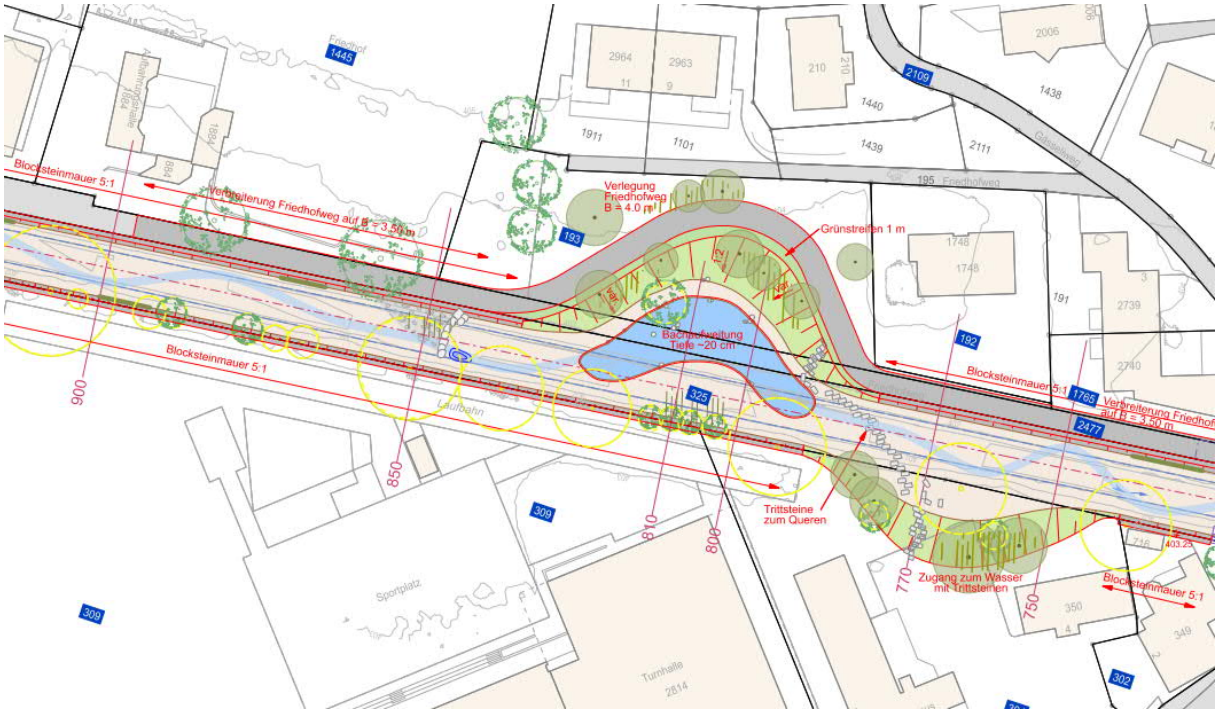


Abbildung 7-27: Gerinnegestaltung im Abschnitt 950 – 750 m

Zwischen Haupt- und Rheinstrasse (ca. 670 – 170 m) grenzt der Littenbach direkt an die Siedlung von Au (linke Uferseite) und an den Linden- resp. Hollandiaweg (rechte Uferseite). Der Bachquerschnitt wird aufgeweitet und die neue Sohlbreite liegt zwischen 6.25 m und 9.00 m. Entlang des linken Ufers wird die Böschung gemauert, die rechte Uferseite wird in der Neigung 2:3 geböscht. Die Sohlneigung liegt bei ca. 0.06 %. Eine kleine Aufweitung des Gerinnes und ein Zugang zum Wasser ist bei ca. 390 m geplant.

Zwischen Rheinstrasse und der Mündung des Littenbaches in den Rheintaler Binnenkanal (ca. 170 – 32 m) verläuft der Littenbach direkt zwischen bestehenden Wohngebäuden. Es erfolgt eine Aufweitung der Gerinnesohle von ca. 4.5 m auf 8 m. Linksseitig wird die Böschung mit einer Blocksteinmauer gestützt, das rechte Ufer wird mit einer Neigung von 2:3 geböscht. Die Sohle weist ein Gefälle von 0.06 % auf bis der Durchlass SBB erreicht wird.

Um die Strömungsvielfalt des gesamten Abschnittes (1'100 – 32 m) zu erhöhen sind Lenkbuhnen und Strömungstrichter aus Naturblocksteinen und Kiesbänke vorgesehen. Durch diese Massnahme soll eine Niederwasserrinne induziert werden. Die Stützmauern entlang des Gewässers werden mit Natursteinen verkleidet, deren Fugen weiteren Lebensraum bieten. Wo es die Platzverhältnisse zulassen, ist die Pflanzung von Bäumen und Hecken geplant. Entlang der Mauer sind Wandbepflanzungen vorgesehen. Die bestehenden Bäume entlang des Linden- und Hollandiaweges, sowie entlang des Ufers des untersten Abschnittes werden aufgrund der neuen Gestaltung der Böschungen gerodet. Diese werden ersetzt und es erfolgt eine neue Bepflanzung entlang des Littenbaches.

In diesem Abschnitt überqueren die Brücken Walzenhauserstrasse, Hauptstrasse, Bahnhofstrasse und Rheinstrasse den Littenbach. Direkt vor der Mündung fliesst der Littenbach durch den SBB-Durchlass. Die Brücken Walzenhauser-, Haupt- und Rheinstrasse werden abgebrochen und ersetzt, wobei die Hauptstrasse bereits als vorgezogene Massnahme realisiert wird. Die Brücke Bahnhofstrasse und der Durchlass SBB werden im Bereich der Sohle auf den Projektierungsstand angepasst resp. für die bessere aquatische und terrestrische Durchgängigkeit angepasst. Die eigentlichen Brückenkonstruktionen bleiben bestehen.

7.3.2 Entlastungsstollen

7.3.2.1 Linienführung und hydraulisches Konzept

Der projektierte Entlastungsstollen verläuft vom Kiesfang Schlossbrugg durch den Rosenberg in den Hinterburgbach und führt damit zu einer Entlastung des Littenbaches (Abbildung 7-28). Der Entlastungsstollen inkl. Tosbecken weist eine Gesamtlänge von 425 m auf und wird abschnittsweise im Tag- und im Untertagbau erstellt (s. Kapitel 7.3.2.7). Der Stollen ist oberirdisch kaum erkennbar. Oberirdisch erkennbar sind der Einlaufbereich im Kiesfang Schlossbrugg mit dem Zulaufkanal, nordöstlich der Bahnstrasse kommt es zu grösseren Veränderung durch die Terrainanhebung und das offen gestaltete Tosbecken.

Abbildung 7-28: Gesamtsituation Entlastungsstollen Rosenberg

Der Zulaufkanal verläuft in ausreichendem Abstand zum bestehenden Trafogebäude. Der Stollen ist vom Zulaufkanal bis Stm 240 in gerader Linienführung mit konstanter Sohlenbreite von 2.8 m ausgebildet. Die Längsneigung ist bis Stm 180 1.8 %, danach wechselt sie auf 1.4 % und ab Stm 260 bis Stm 390 auf 1.0%. Die Brücke Bahnstrasse wird aufgrund der geringen Überdeckung des Kanals auf den Kanalwänden abgestützt. Unter der Brücke Bahnstrasse (Stm 243 – 263) findet ein Richtungswechsel von ca. 38° sowie eine Querschnittsaufweitung auf 4.0 m statt. Querschnittsänderungen und Richtungswechsel führen bei schiessendem Abfluss zu Stosswellen, wie gross diese sind hängt massgeblich von der Geschwindigkeit bzw. der Froudezahl ab. Die Geschwindigkeit im Dimensionierungsfall HQ_{100} beträgt in diesem Bereich ca. 7.5 m/s und die Froudezahl beträgt ca. 2.1. Für eine ausreichende Luftzufuhr wurde das Portal am Zulaufkanal an der Firste aufgeweitet, an der Brücke Bahnstrasse ober- und unterhalb grosszügige Belüftungen vorgesehen und es kann vom Tosbecken Luft zugeführt werden. In der vorliegenden Planung wurde von Einbauten zur Minderung von negativen Auswirkungen von Stosswellen abgesehen. Im Rahmen des Ausführungsprojekts können diese ggf. ergänzt werden.

Innerhalb der Parz. 58 (Stm ca. 260 – 335) schliesst der Entlastungsstollen an das bestehende Gelände an. Durch die Verbreiterung der Sohlenbreite sinkt der Wasserspiegel und die Kanalhöhe konnte reduziert werden. Zwischen Parz. 58 und 1036 (Stm 327 – 343) findet ein Richtungswechsel von ca. 30° statt und der gedeckte Kanal wird in gerader Linienführung in den Hinterburgbach geleitet. Ab Stm 380 wird der Kanal resp. das Tosbecken offen geführt. Die Zusammenführung mit dem Hinterburgbach erfolgt in einem geböschten Gerinne (Böschungsneigungen: links ca. 1:1 mit Blocksteinmauer, rechts ca. 1:2). Weiter unterstrom des Einlaufs weist die linke Uferböschung eine flachere Neigung von 2:3 auf.

7.3.2.2 Einlaufbauwerk und Zulaufkanal

Der bestehenden Kiesfang Schlossbrugg wird genutzt, um eine Einlaufsituation für den Entlastungsstollen herzustellen. Die geplante Situation ist in Abbildung 7-29 dargestellt. Orographisch rechts muss hierzu ein Teil der bestehenden Kiesfangsperre angepasst werden, um die Einlaufsektion zu erstellen.

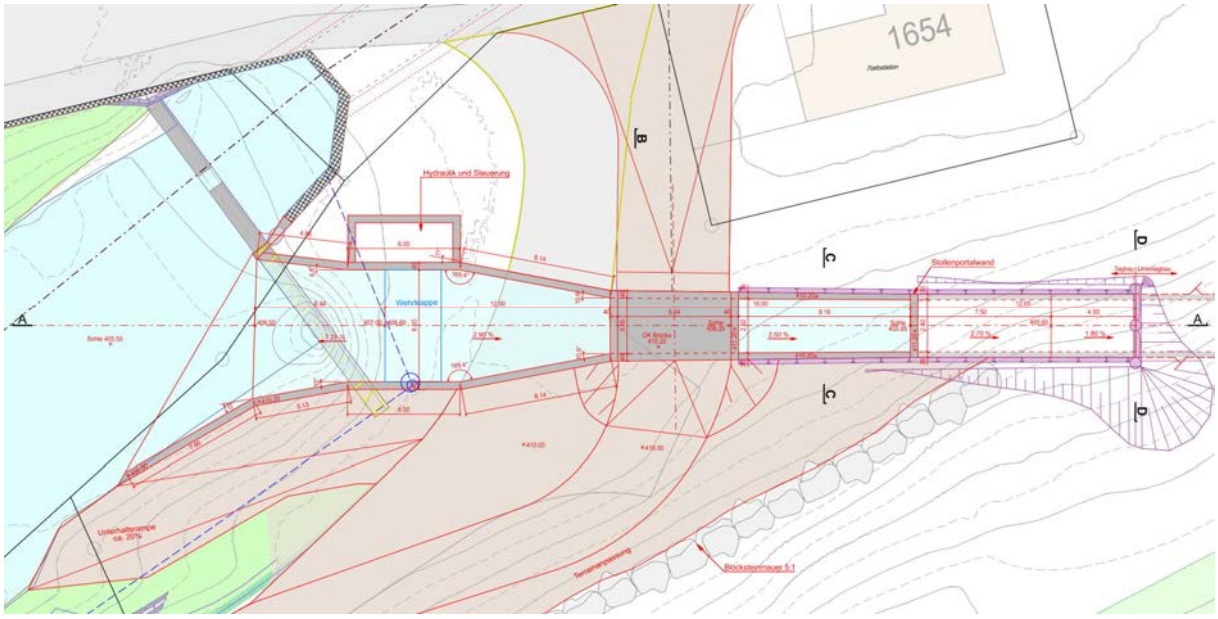


Abbildung 7-29: Einlaufsituation an bestehendem Kiesfang Schlossbrugg und Zulaufkanal des Entlastungsstollen

Der Anschlusswinkel von ca. 35° zw. Sperrenbauwerk und Stollenachse ergibt sich aus der gestreckten Lage des Stollens im Rosenberg und dem Ort/Ausführung der Unterquerung der Bahnstrasse. Grundsätzlich ist die abgewinkelte Fassung kein Nachteil, da wie aus den Modellversuchen der HSR [20][22] (vgl. Abschnitt 7.1.2.2) hervorgeht die Hauptströmung in einem Winkel von ca. 20-30° auf die Kiesfangsperre trifft. Die Einlaufsektion ist als trichterförmiger Kanal ausgebildet. Die rechte Seitenwand 2-mal (20°, 10°) abgewickelt, um den so genügend Raum für die Zuströmung aus dem Kiesfang zu schaffen.

Es ist eine in Fliessrichtung der Littenbachströmung ausgerichtete Einlaufschwelle auf Kote 406.5 m ü. M. angeordnet. Damit sollen die bodennahen Strömungen das Geschiebe entlang der abgeschrägten Stufe zur Sperre leiten, während die Hauptströmung bei grossen Abflüssen weiter nach rechts geleitet/abgelenkt wird und die 6 m breite Wehrsektion anströmt. Des Weiteren wird durch den folgenden Gegenanstieg in Richtung Wehrklappe der Geschiebetrieb in Richtung Stollen erschwert.

Als massgebende Wasserspiegellage im Kiesfang, also im Oberwasser des Entlastungsstollens wurde der Wert ermittelt in den hydraulischen Modellversuchen der HSR [20][22] von 409.80 m ü. M. Es muss an dieser Stelle erwähnt werden das keine hydraulischen Berechnungen des Kiesfang und des Sperrenbauwerks im vorliegenden Bauprojekt durchgeführt wurden (vgl. Abschnitt 6.3).

Die Abflussregulierung des Entlastungsstollens erfolgt über eine Wehrklappe (Stm 20), welche 6.0 m breit und 2.8 m hoch ist. Die theoretische P-Q-Beziehung bei komplett abgelegter Klappe (ohne Berücksichtigung der Anströmgeschwindigkeit) kann Abbildung 7-30 entnommen werden. Bei diesem Wasserspiegel werden über die abgelegte Klappe 42 m^3/s abgeführt. Die vorhandene Geschwindigkeit der Zuströmung

wirkt sich positiv auf den Abfluss aus, jedoch ist die Anströmung nicht homogen und die Oberfläche ist wellig, was sich reduzierend auf die Abflusskapazität auswirkt.

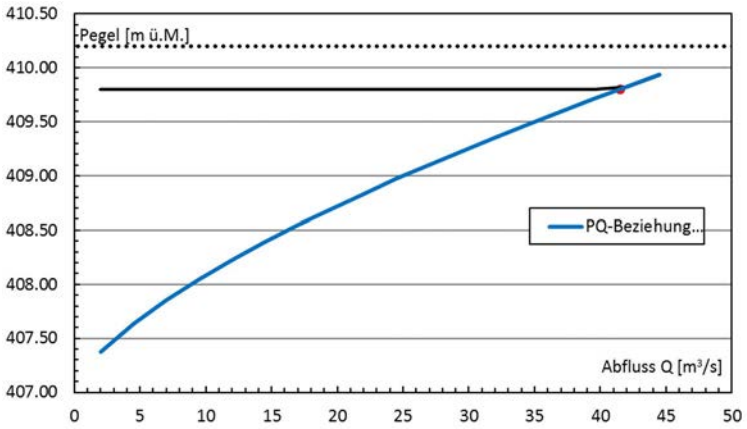


Abbildung 7-30: Pegelabflussbeziehung bei komplett abgelegter Wehrklappe im Zulaufkanal

Die Wehrklappe wird einseitig über einen Servomotor mit ölhydraulischem Antrieb gesteuert. Das Hydraulikaggregat sowie der Steuerschrank der Wehrklappe werden in einem kleinen oberirdischen Gebäude neben dem Einlaufbauwerk installiert.

Aus Sicherheitsgründen sollten Wehre die ihnen auferlegte Funktion respektive in den meisten Fällen die Abfuhr der massgebenden Hochwasser unter allen Umständen gewährleisten. Hierzu dient, wie in anderen Bereichen auch angewendet, die sogenannte **n-1-Regel**. Dieses Kriterium hat zur Folge das die Abfuhr des Hochwassers bei Ausfall des grössten Wehrs über die verbliebenen Wehre gewährleistet werden muss. Im vorliegenden Fall hiesse das, dass im Minimum zwei Wehre gleicher Grösse jeweils bemessen auf den Dimensionierungsabfluss erstellt werden müssten. Unter den vorliegenden Platzverhältnissen ist die Anordnung eines zweiten Wehrfeldes mit gleicher Abflusskapazität nicht möglich. Stattdessen wird die Steuerung des Wehrs zusätzlich mit einer Funktionalität ergänzt, welche bei hohem Wasserspiegel die Wehrklappe absenkt ohne das hierfür bspw. Strom notwendig ist.

Um ein Überströmen bei allfälligem Wellenschlag zu verhindern wurden die Seitenwände des Zulaufkanals rund 1.0 m über Terrainoberkante hochgezogen. Im Anschluss der Wehrklappe wird die Strömung im Zulaufkanal durch die Variation aus Querschnitt und Neigung stetig beschleunigt und in den geschlossenen Stollenquerschnitt überführt. Jede Querschnittsveränderung bei schiessendem Abfluss verursacht Stosswellen. Die Gestaltung des Einlaufbereichs wurde unter Einbezug baulicher Aspekte dahingehend ausgebildet. Klare einfach zu schalende Kanalgeometrien wurden gewählt.

7.3.2.3 Entlastungsstollen

Anschliessend an den offen geführten Zulaufkanal folgt im Abschnitt Stm 48 – 60 der Entlastungsstollen im Tagbau. Hier wird der Stollen mit Erdmaterial überschüttet ausgeführt und das Terrain wird damit wiederhergestellt. Der Querschnitt weist am Portal eine lichte Höhe von 4.3 m auf, um der beschleunigten Strömung und damit dem sinkenden Wasserspiegel genügend Raum zu geben und zudem die Belüftung vom oberen Stollenportal zu gewährleisten. Die lichte Höhe nimmt bis zu Stm 60 linear ab, an dieser Stelle beträgt die lichte Höhe 2.8 m und der Wechsel zum Untertagbau findet statt.

Zwischen Stm 60 und 180 erfolgt der Stollen im bergmännischen Vortrieb. Über den gesamten Abschnitt weist der Stollen dasselbe Normalprofil auf mit einer lichten Breite sowie einer lichten Höhe von 2.8 m (Abbildung 7-31).

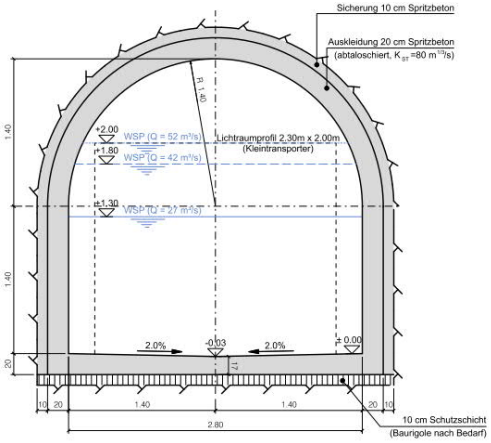


Abbildung 7-31: Normalprofil des bergmännisch erstellten Entlastungsstollens

Aus den Dimensionierungsberechnungen resultiert ein Profil mit 2.8 m Sohlenbreite, wobei das Profil in Abhängigkeit des Erstellungsvorgangs variiert: Im bergmännischen Vortrieb wird das in Abbildung 7-31 dargestellte Hufeisenprofil, und im Tagbau ein Rechteckprofil (2.8 m * 2.8 m) erstellt. Um die Abflusskapazität zu gewährleisten, ist eine glatte Oberfläche der Sohle sowie der Wände erforderlich. Durch abtaloschieren ist ein Rauigkeitsbeiwert von k_{st} = 80 $m^{1/3}/s$ zu erreichen.

Über die gesamte Strecke des Entlastungsstollens und unabhängig von der Profilgeometrie wird die Sohle beidseitig mit einem Quergefälle von 2 % ausgebildet. Dadurch liegt die Sohle in der Mitte 3 cm tiefer als am Sohlenrand. Damit wird die Sammlung kleiner Abflüsse konzentriert.

Die Ausbildung der Stollensohle ist im Zusammenhang mit etwaiger Beaufschlagung durch Sediment, der Belastungsdauer und des auftretenden Korns entsprechend zu verstärken. In der vorliegenden Situation ist dies aufgrund der Kürze der Hochwasserereignisse und des weniger harten und scharfkantigen Sediments nicht mit speziellen Massnahmen notwendig.

7.3.2.4 Brücke Bahnstrasse und Lüftungsschächte

Innerhalb der gekrümmten Strecke unterhalb der Bahnstrasse wird der Fliessquerschnitt kontinuierlich von 2.8 m auf 4.0 m verbreitert. Lüftungsschächte befinden sich vor und nach der gekrümmten Strecke um eine genügende Belüftung zu ermöglichen und das Risiko von auftretenden Stosswellen zu reduzieren. Die Schächte werden mit Gitterrostabdeckungen abgeschlossen.

7.3.2.5 Gedeckter Freispiegelkanal

Zwischen Stm 265 und 380 wird ein gedeckter Kanal mit konstanter lichter Breite von 4.0 m ausgebildet. Aufgrund der grösseren Breite wird die Lage des Wasserspiegels abgesenkt. Deshalb kann die lichte Höhe auf 2.4 m reduziert werden und eine bessere Einbindung ins Terrain wird ermöglicht. Ab ca. Stm 300 liegt die Kanaldecke oberhalb des bestehenden Terrains. Für die bessere Einbindung in die Umgebung wird deshalb der Kanal zwischen Stm 280 und 380 mit einer 60 cm mächtigen künstlichen, bewirtschaftbaren Aufschüttung (Pflugtiefe) aus Oberboden überdeckt.

7.3.2.6 Tosbecken

Das Tosbecken liegt unterhalb der 10 m langen offenen Kanalführung zwischen den Stm 390 und 420. Das Tosbecken ist 5 m breit, weist ein Längsgefälle von 0 % auf und bildet der Tiefpunkt der Linienführung. Abbildung 7-32 zeigt die Situation.

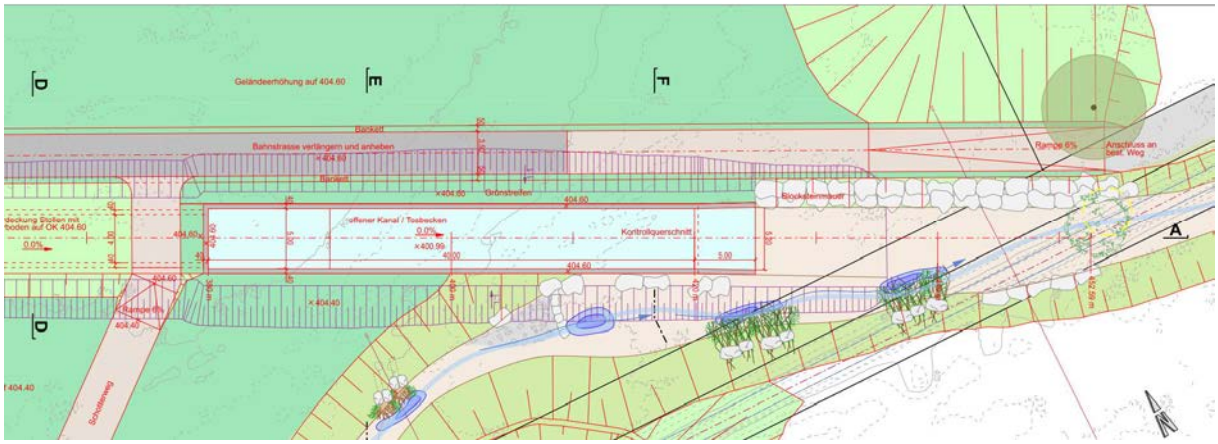


Abbildung 7-32: Situation Tosbecken Entlastungsstollen mit Anschluss an Hinterburgbach

Im Tosbecken findet die Umwandlung des schiessenden Abflusses vom Entlastungsstollen in den strömenden Abflusszustand, welcher an der Mündung zum Hinterburgbach benötigt wird, statt. Dies geschieht in Form eines Wechselsprungs, ein abrupter Fliesswechsel mit grosser hydrodynamischer Belastung, sehr hohem Lufteintrag und deutlichem Wasserspiegelanstieg. Kinetische Energie wird in Wärme- und Schallenergie umgewandelt.

Das Tosbecken wird daher offen geführt, wodurch genügend Luft zum Wechselsprung gelangt und ein etwaiges Zuschlagen des Entlastungsstollens ausgeschlossen werden kann. Die Länge des Tosbeckens wurde unter Betrachtung verschiedener Abflüsse und der damit verbundenen verschiedenen Lagen des Wechselsprungs bestimmt. Am Ende des Tosbeckens ist eine Endschwelle von ca. 60 cm Höhe angeordnet, wodurch der Wechselsprung fixiert wird und nicht ausgetragen werden soll. Diese Schwelle ist nicht nur bei Maximalabfluss von hoher Bedeutung, sondern auch zu Beginn und da das gestaute Wasser als Polster dient. Die Eingangsfroudezahlen liegen bei ungefähr 2, sodass ein freier Wechselsprung ohne Grundwalze vorliegt. Mit steigendem Abfluss stellt sich der Wechselsprung näher an der Endschwelle ein. Hier ist es für die kommende Sohlsicherung sehr wichtig, dass kein schiessender Abfluss bzw. Abfluss im Übergangsbereich mehr besteht.

Eine freie Entwässerung des Tosbeckens ist nicht vorgesehen, die Gefälls- und Platzverhältnisse lassen dies nicht zu. Ein etwaiger Sedimenteintrag vom Sammler Schlossbrugg in den Entlastungsstollen könnte zu Ablagerungen im Tosbecken führen. Diese Ablagerungen sind im Rahmen des Unterhalts zu entfernen.

7.3.2.7 Bauverfahren

Einlaufbauwerk und Entlastungsstollen "Tagbau Schlossbrugg"

Für die Baugrubenerstellung muss ein Aushub von ca. 3 m bis 7.5 m Tiefe (entlang der Achse) erfolgen. Gegeben ist ein schleifender Hanganschnitt. Die obere Schicht besteht aus Lockergestein mit Schichthöhen zwischen 2 m und 5 m. Diese Schichten bestehen neben Bachschutt aus künstlicher Auffüllung und Rutschmasse. Der unterliegende Fels ist teilweise verwittert und/oder verrutscht.

Das Einlaufbauwerk und der Zulaufkanal liegen im Lockergestein. Die maximal erforderliche Aushubtiefe beträgt 5 m. Die Tagbaustrecke beginnt entsprechend mit einem Aushub von 5 m Lockergestein, anschliessend steigt der Felshorizont und am unteren Ende des Tagbaustollens muss eine ca. 2 m hohe Lockergesteinsschicht und 5.5 m Fels ausgehoben werden.

Die Baugrube im Bereich des Einlaufbauwerkes wird geböscht. Für den Baugrubenabschluss sind Rühlwände vorgesehen, deren Träger werden vorgängig in den Fels mittels Bohrung eingebunden. Ab ca. Stm 35 bis 60 wird die Baugrube mit einer durch Beton ausgefachten Rühlwand abgeschlossen. Weiter wird aufgrund der vorherrschenden Rutschmasse ein mit Ankern oder Spriessen einfach abgestützter, verformungsarmer Verbau für die Sicherstellung der Hangstabilität ausgeführt. Die Sicherung im Bereich der Portalwand ist mit Bohrpfähle mit Betonausfachung geplant. Die Baugrube wird im oberen Teil (oberhalb des Grundwasserspiegels) geböscht, so dass die Länge der Rühl- und Bohrpfähle reduziert werden kann. Der Baugrubenverbau dient als verlorene Schalung.

Entlastungsstollen "Untertagbau"

Der Entlastungsstollen wird zwischen Stm 60 und 180 im bergmännischen Vortrieb (Sprengvortrieb) erstellt. Das ausgebrochene Hufeisenprofil wird mit einlagig angeordneten Bewehrungsnetzen K335 und 10 cm Spritzbeton gesichert (Zusammenfassung der statischen Berechnungen in Anhang A.1). Bei ungewöhnlichen Kluft-Ausbisslinien erfolgt die Sofortsicherung von potentiellen Bruchkörpern mit Ankern. Die Anker sind nicht für die dauerhafte Sicherung ausgelegt und das Gewölbe ist für den Endzustand mit weiteren 20 cm Spritzbeton zu verstärken (Abbildung 7-31). Die verstärkte Spritzbetonschale muss dauerhaft einen allfälligen Wasser- und Quelldruck aufnehmen. Der Auskleidungsspritzbeton muss zusätzlich taloschiert werden, damit eine genügend glatte Oberfläche (k_{str} = 80 $m^{1/3}/s$) erreicht werden kann.

Entlastungsstollen "Tagbau Gibel" bis Auslaufbauwerk

Ab Stm 180 wird der Stollen im Tagbau erstellt. Die zu erstellende Baugrube ist zwischen 12 m (Stm 180) und 4.5 m (Stm 240) tief. Die Baugrube liegt zu grossem Teil in Delta- und Bachablagerungen, welche stark durchlässig sind. Aufgrund der hohen Grundwasserspiegellage (bis 8 m über Baugrubensohle) und des anfallenden Hangwassers wird ein grosser Wasseranfall erwartet, welcher innerhalb der Baugrube begrenzt werden muss. Deshalb ist ein dichter Baugrubenverbau mittels durch Beton ausgefachter Bohrpfahlwand (Stm 180-200) und anschliessend eine ausgefachte Rühlwand vorgesehen, wobei im oberen Teil (oberhalb des Wasserspiegels) die Baugrube geböscht wird, um die erforderliche Länge der Pfähle bzw. Träger zu reduzieren. Die Erstellung der Baugrube mittels Spundwänden ist aufgrund des anstehenden Felshorizontes nicht möglich.

Zwischen Bahnstrasse und Stm 340 ist ebenfalls eine ausgefachte Rühlwand vorgesehen. Anschliessend bis zum Auslauf in den Hinterburgbach ist eine Baugrube von ca. 3 bis 4.5 m Tiefe erforderlich. Die Sohle des Lüftungsschachts, des gedeckten Kanals sowie des Tosbeckens liegen im Bereich des gemessenen Grundwasserspiegels. Des Weiteren kommt der gedeckte Kanal sehr wahrscheinlich vollständig in den schwach bis nicht durchlässigen Verlandungs- und Überschwemmungssedimenten zu liegen. Das Grundwasser zirkuliert hauptsächlich in den darunter anstehenden Delta- und Bachablagerungen und ist in diesem Projektbereich sehr wahrscheinlich subartesisch gespannt. Der Grundwasserspiegel (bzw. der Druckspiegel) befindet sich demzufolge irgendwo zwischen Sohle und Firste des Kanals. Die Stabilität der Baugrubensohle ist insbesondere dann sehr kritisch zu beurteilen, falls der Übergang

zu den gut durchlässigen Delta- und Bachablagerungen in geringer Tiefe unter der Baugrubensohle liegt. Dann droht der dünne ‚Deckel' aus vergleichsweise praktisch undurchlässigen Verlandungs- und Überschwemmungssedimenten in der Baugrubensohle aufzubrechen als Folge des auf der Unterseite des ‚Deckels' wirkenden Wasserdrucks. Dies erfordert in diesem Projektbereich die vorgängige Verringerung des Wasserdrucks entlang der Achse des Kanals mit einer Grundwasserabsenkung. Um die grossräumige Absenkung des Grundwasserspiegels und damit verbunden die grossräumigen Setzungen des Untergrundes bzw. die möglichen Schäden an Nachbarbauten zu verhindern, wird die Baugrube zwischen Bahnstrasse und Auslauf in den Hinterburgbach gespundet. Vom Geologen wird empfohlen, für den gedeckten Kanal östlich der Bahnstrasse (und das Auslaufbauwerk), zusätzliche Rammkernsondierungen mit anschliessendem Piezometereinbau auszuführen, um die Untergrenze wie auch die Festigkeit und Verformbarkeit der Verlandungs- und Überschwemmungssedimente sowie den Grundwasserspiegel genauer zu ermitteln und damit die erforderlichen Baumassnahmen besser definieren zu können.

Für sämtliche Betonierarbeiten ist eine geeignete Schalung zu verwenden, so dass eine glatte Oberfläche erreicht wird, welche einer Rauhigkeit von k_{str} = 80 $m^{1/3}/s$ entspricht.

7.3.3 Retentionsräume mit Hinterburg-, Buchholzbach und Äächeli

Die geplante Situation im umliegenden Gebiet des Hinterburg-, Buechholzbaches und Äächelis (1'395 – 650 m) ist in Abbildung 7-33 ersichtlich. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Abschnitte beschrieben. Die Abschnittsunterteilung erfolgt basierend auf den Gewässercharakteristiken, die Abfolge der Beschreibungen orientiert sich an der Fliessrichtung.

Der Hinterburgbach, der Buchholzbach und das Äächeli werden ebenfalls im Rahmen des Hochwasserschutzprojektes verbreitert und ihre Böschungen möglichst flach gestaltet. An den Böschungen werden heimische und standortgerechte Ökotypen, wie z.B. Blumenwiesen oder Krautsaum angelegt, um die erforderliche Beschattung des Gewässers zu gewährleisten. An den Ufern des Niederwassergerinnes werden Hochstaudenflure angebracht. Die Planung von Bestand, Rodung und Pflanzung ist Auftrag der Brunner Landschaftsarchitekten GmbH.

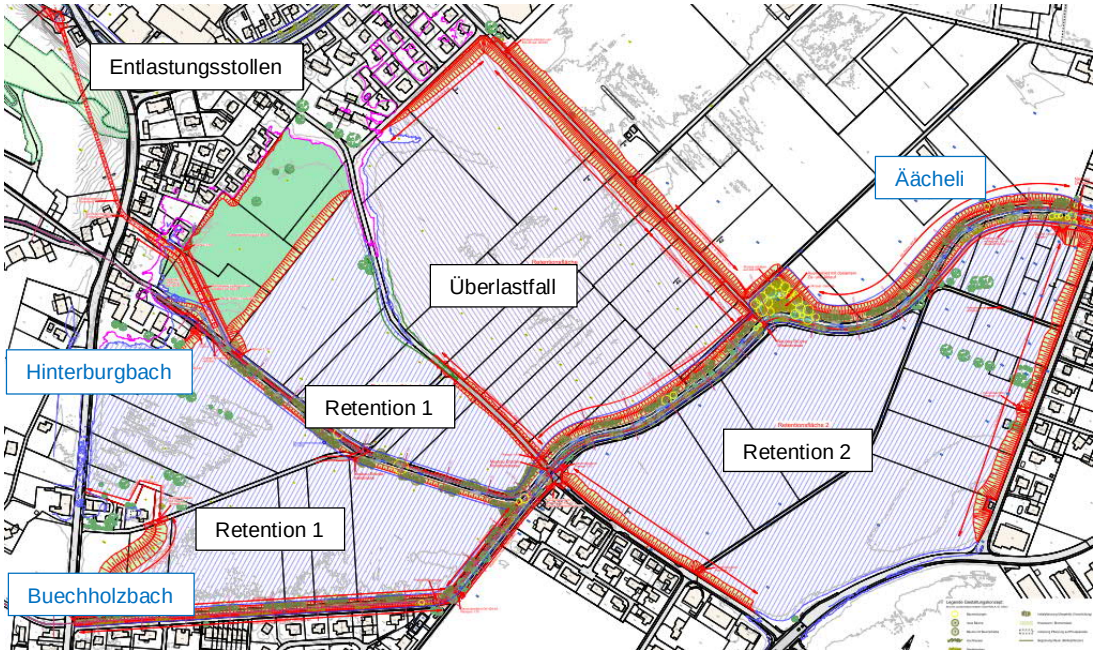


Abbildung 7-33: Situation der geplanten Massnahmen im Bereich Kloteren

7.3.3.1 Buechholzbach

Der Abschnitt des Buechholzbaches, welcher innerhalb des Projektperimeters liegt, liegt zwischen der bestehenden Buchholzstrasse und Siedlungsgebiet (rechtes Ufer) sowie Landwirtschaftsfläche (linkes Ufer). Die Sohle wird von 1 m auf 1.5 m verbreitert. Die Böschungen werden mit Neigungen 2:3 (rechts, Siedlung) und 1:2 (links, Wies-/Ackerland) gestaltet. Die Sohlneigung liegt bei ca. 0.14 %. Im Vergleich zum Bestand verschiebt sich die Bachsohle in Richtung Landwirtschaftsfläche, und die Böschungen werden flacher ausgebildet.

Das rechte Ufer wird mit Dämmen auf die Kote 404.40 m ü. M. für die Gewährleistung des Hochwasserschutzes der angrenzenden Siedlung erhöht. Die luftseitige Böschung wird mit der Neigung 1:2 ausgebildet (Abbildung 7-35). Direkt unterhalb der Bahnstrasse wird zum Schutz des allein stehenden Hauses (Parzelle Nr. 44) auf der linken Uferseite eine Mauer, kombiniert mit einer Böschung (2:3), realisiert. Die Oberkante liegt ebenfalls bei 404.40 m ü. M. Als Schutzmassnahme für das Gebiet oberhalb der Bahnstrasse (Gebiet Mösli) wird am unteren Ende des Durchlasses Bahnstrasse eine Rückstauklappe installiert. Diese soll den Rückstau in das oberhalb liegende Gebiet Mösli verhindern, welcher infolge des Auf- und Rückstaus innerhalb der Retentionsfläche 1 und des Buechholzbaches entstehen könnte.

Abbildung 7-34: Gerinnegestaltung des Buechholzbaches im Abschnitt 600 – 400 m

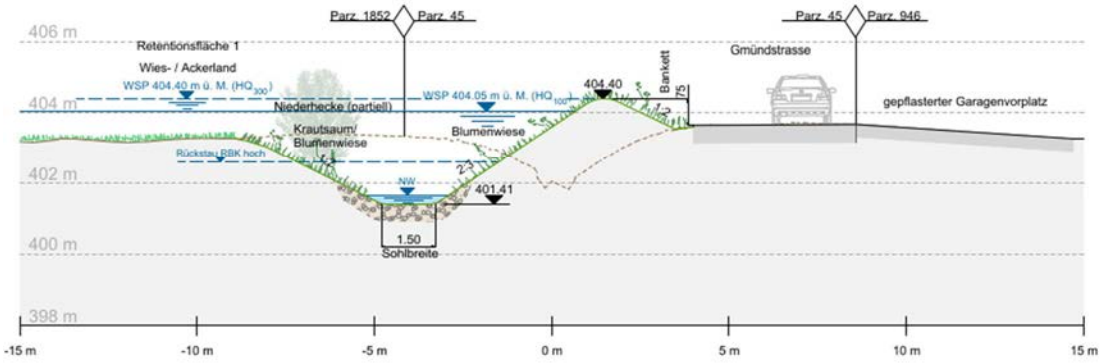


Abbildung 7-35: Querprofil des Buechholzbaches bei 500 m

Aufgrund des geringen Abflusses bei Trockenwetter, der geringen Sohlneigung und der geringen Sohlbreite sind nach heutigem Planungsstand keine Sohlstrukturen eingeplant.

7.3.3.2 Hinterburgbach mit Auslauf des Entlastungsstollens

Der innerhalb des Projektperimeter liegende Abschnitt des Hinterburgbaches verläuft durch landwirtschaftlich bewirtschaftete Flächen. Der Fliessquerschnitt ist beidseitig geböscht und weist zwischen dem Auslauf des Entlastungsstollens und der Einmündung ins Äächeli eine Sohlneigung von 0.18 – 0.19 % auf. Zwischen der Eindolung und dem Auslauf des Entlastungsstollens wird die Sohlneigung auf 1.4 % erhöht. Die Absenkung der Sohle auf Höhe des Entlastungsstollens war eine notwendige Massnahme, um die gewünschte Einpassung des Entlastungsstollens ins Terrain zu erzielen. Die Sohlbreite zwischen Eindolung und Entlastungsstollen liegt im Bereich von 2 – 7 m, unterhalb ist die Sohle grösstenteils ca. 6 m breit. Im Mündungsbereich des Entlastungsstollens in den Hinterburgbach ist die Sohle ca. 10 m breit. Die Böschungen werden mit den Neigungen 1:2 (rechts) und 2:3 (links) gestaltet (Abbildung 7-38). Die Böschungsoberkanten liegen unterhalb der Kote 404.40 m ü. M., so dass der Bach bei Hochwasser ausufert und die Retentionsfläche 1 für den Rückhalt aktiviert wird.

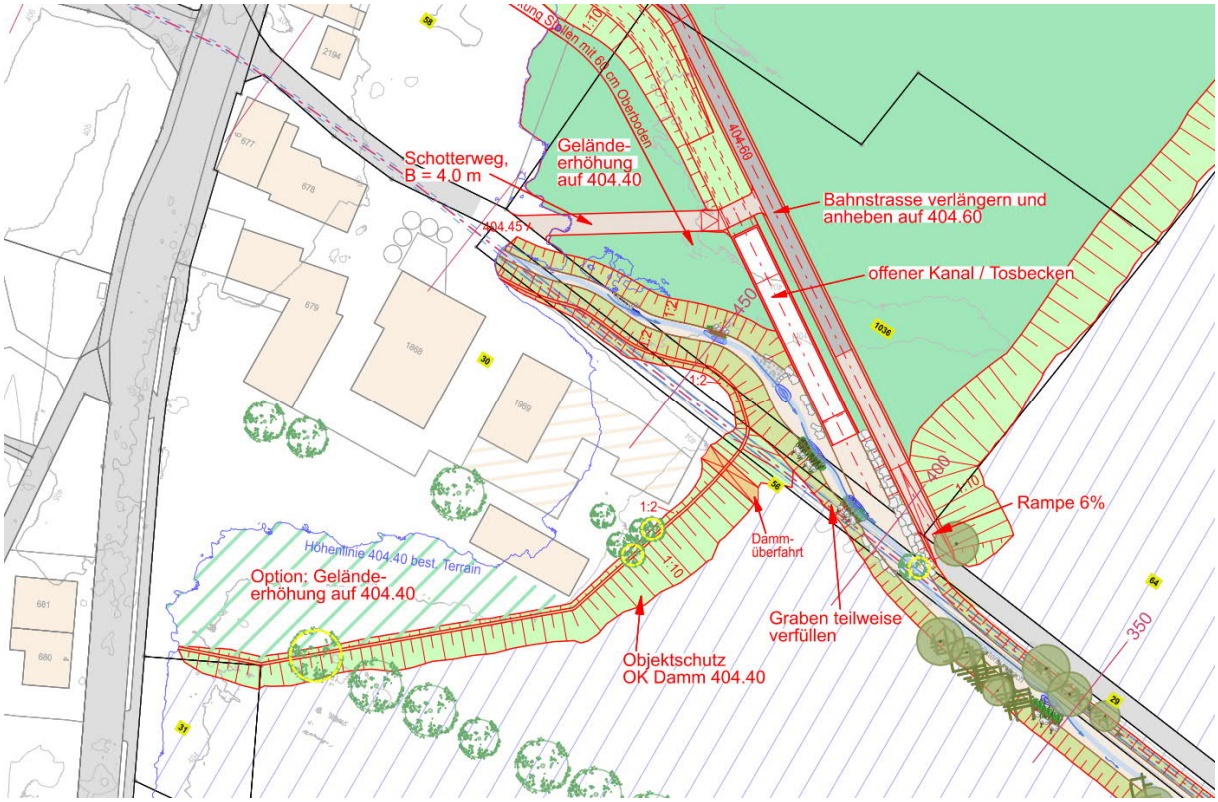


Abbildung 7-36: Gerinnegestaltung des Hinterburgbaches (ca. 500 – 350 m) mit Auslauf des Entlastungsstollens

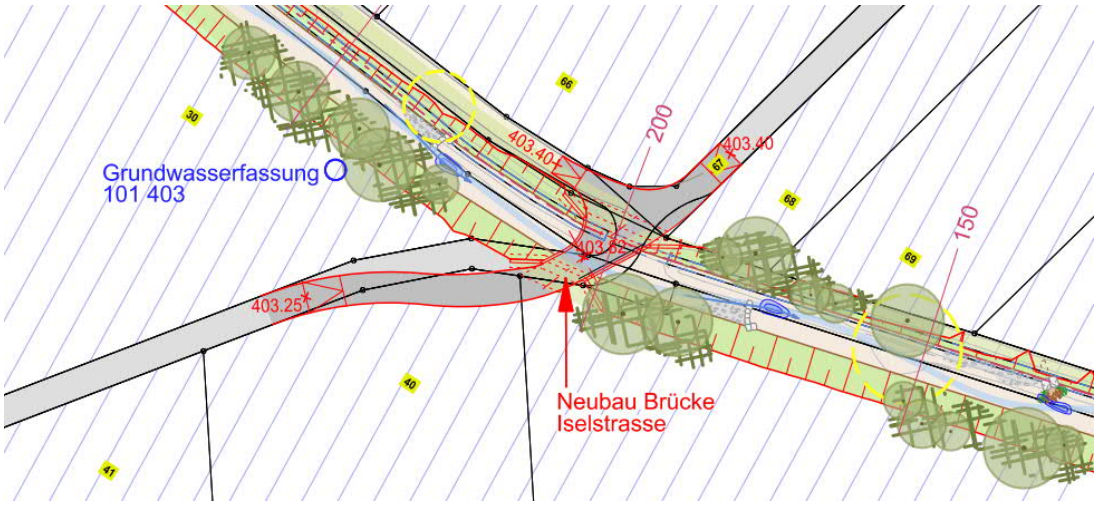


Abbildung 7-37: Gerinnegestaltung des Hinterburgbaches im Abschnitt 250 – 100 m

Wie in Abbildung 7-36 ersichtlich, wird die Linienführung zwischen der Eindolung und dem Auslauf des Entlastungsstollens angepasst. Dadurch wird die Wassermenge aus dem Entlastungsstollen in günstigeren Winkel zum Bachbett eingeleitet. Das linke Ufer direkt nach dem Auslauf wird mit Naturblocksteinen stabilisiert, während die rechte Seite mit lebenden Abweisern geschützt wird. Für die Erhöhung der Strömungsvielfalt sowie die Indizierung einer Breiten- und Tiefenvariation der Sohle und Bildung einer Niederwasserrinne sind diverse Sohlstrukturen eingeplant. Darunter

befinden sich folgende Strukturelemente: Wurzelstämme, Strömungstrichter, Lenkbuhnen, Kiesbänke, unterströmte Schlüsselhölzer mit Wurzelstamm, lebende Abweiser und einzelne Störsteine.

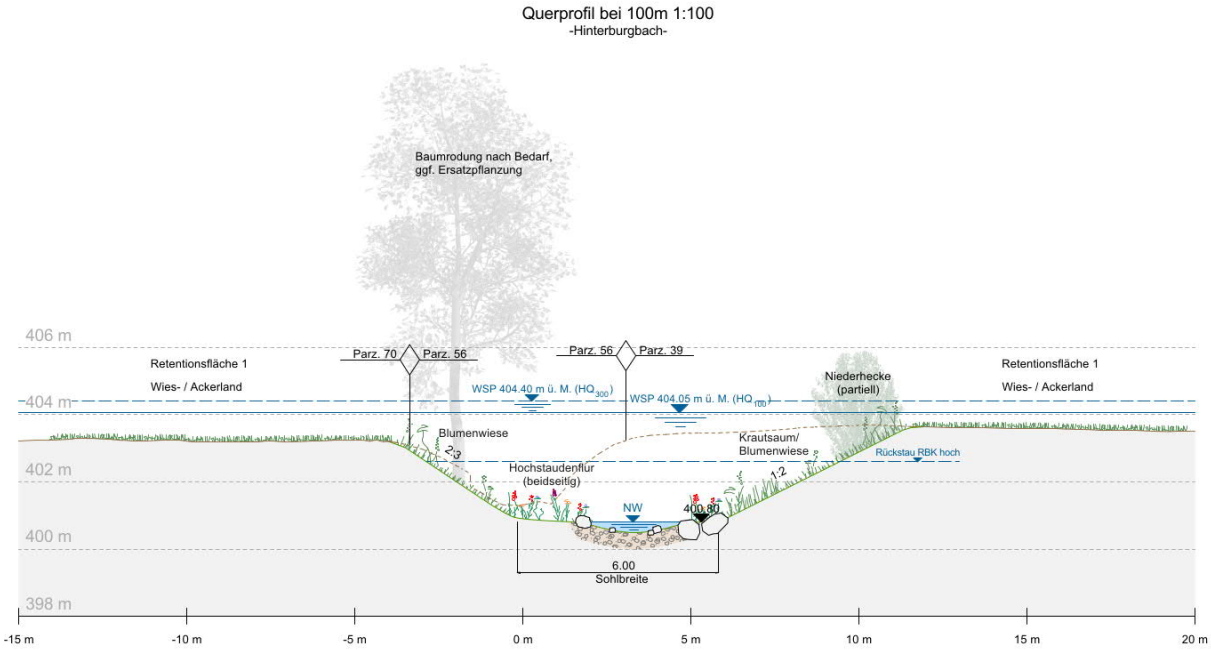


Abbildung 7-38: Querprofil des Hinterburgbaches bei 100 m

Der Hinterburgbach wird von der Iselstrasse überquert (ca. 200 m, Abbildung 7-37). Die bestehende Brücke wird abgebrochen und durch eine neue Brücke ersetzt. Diese Brücke wird innerhalb des Brückenprojektes erarbeitet und dokumentiert [55].

Von den Hochwasserschutzmassnahmen sind in diesem Abschnitt die Bahnstrasse sowie die Iselstrasse tangiert. Die Bahnstrasse wird teilwseise abgebrochen und entlang des Entlastungsstollens ersetzt und umgeleitet. Die Linienführung Iselstrasse wird als Folge des Brückenneubaus Iselstrasse angepasst. Diese Änderungen werden innerhalb des Strassenprojektes erarbeitet und dokumentiert [55].

7.3.3.3 Äächeli, 1'400 – 650 m

Der Abschnitt des Ächelis verläuft durch Landwirtschaftsfläche. Entlang des rechten Ufers verlaufen die Rampe Römerstrasse, der verbreiterte Distelweg sowie die verlegte Aehrenstrasse. Die Sohle wird von 3.00 – 4.00 m auf ca. 8 m verbreitert und die Sohlneigung liegt bei ca. 0.07 %. Die Böschungen des rechten Ufers werden zu grossen Teilen nicht verändert, bei Anpassungen werden diese mit einer Neigung von 2:3 ausgebildet. Am linken Ufer werden Dämme angeordnet mit Neigungen 1:2 (Bachseite) und 1:10 (Luftseite). Dabei unterscheiden sich die Dämme zwischen Mündung und Wisenstrasse von denjenigen zwischen Wisenstrasse und Drosselbauwerk. Im erstgenannten Abschnitt liegt die Oberkante bei 404.05 m ü. M. (Staukote für HQ_{100}) und die Luftseite (Retentionsfläche Überlastfall) wird überströmungssicher ausgebildet. Im anderen Abschnitt wird die Oberkante auf die Kote 404.40 m ü. M. angehoben. Diese werden nicht überströmungssicher ausgebildet.

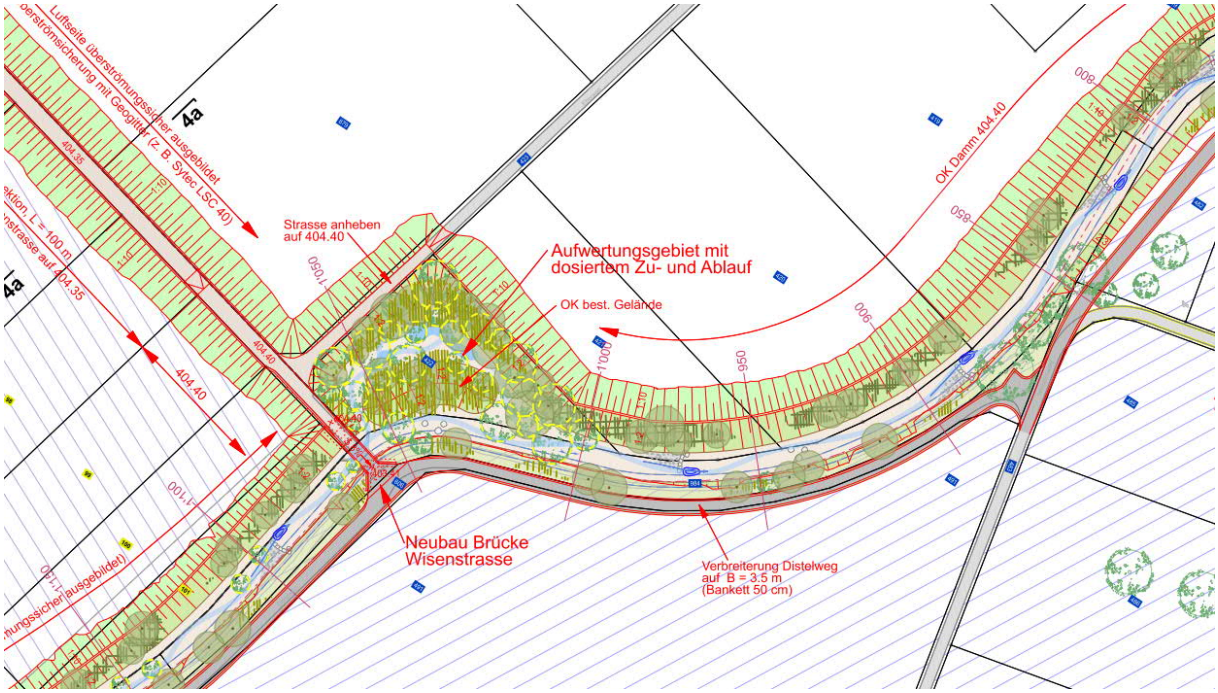


Abbildung 7-39: Gerinnegestaltung des Äächelis im Abschnitt 1'200 – 950 m

Im Gerinne werden vorwiegend Lenkbuhnen und Kiesbänke und vereinzelt Störsteine angeordnet (Abbildung 7-39). In der Gewässeraussenkurve bei Stm 1'050 ist eine flächige, ökologische Aufwertungsmassnahme vorgesehen. Durch das Gebiet wird ein zweiter Gewässerarm geführt, der bei höherem Wasserspiegel zu temporären Überflutungen und zur Förderung einer dynamischen Gewässerentwicklung führen soll. Ziel ist dabei die Förderung eines auenähnlichen Lebensraums mit wechselfeuchten Standortbedingungen (Abbildung 7-40).

Das Äächeli wird in diesem Abschnitt von zwei Brücken, Kloteren- und Wisenstrasse, überquert. Beide Brücken werden innerhalb des Projektes Hochwasserschutz Littenbach – Äächeli ersetzt. Diese Brücken werden innerhalb des Brückenprojektes (Dossier 4) erarbeitet und dokumentiert.

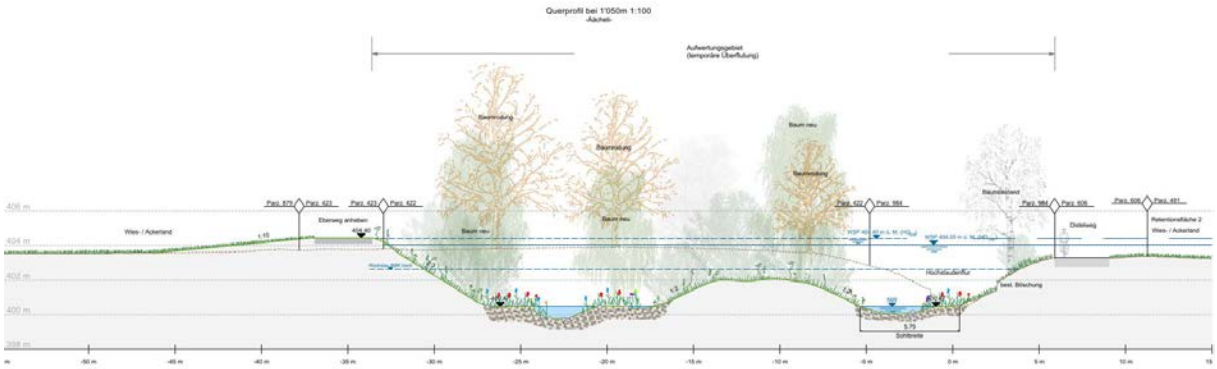


Abbildung 7-40: Querprofil des Äächelis im Bereich des Aufwertungsgebietes (1'050 m)

7.3.3.4 Retentionsräume

Die Retentionsräume (Abbildung 7-33) befinden sich in den Gebieten Untere Schlatt, Kloteren, Wisenbünteli, Wisen, Emseren und Hintere Emseren. Die Gesamtfläche wird in drei Teile aufgeteilt: Retentionsflächen 1, 2 und Überlastfall. Die hydraulische Untersuchung und Funktionsweise wird in Kapitel 6.1.3.3 zusammengefasst. Die ausführliche Dokumentation ist in Anhang B.4 beigelegt.

Entlang der Grenze der Retentionsbecken zum umliegenden Gebiet werden, wo notwendig, Terrainanpassungen vorgenommen, Dämme erstellt und Strassen angehoben. Die Dämme werden innerhalb der Landwirtschaftsflächen mit Neigungen 1:10 ausgebildet. Durch die flachen Neigungen sollen die Dämme bestmöglich ins Terrain eingebunden werden und das Landschaftsbild nur geringfügig beeinträchtigt werden. Die Dammkronen liegen im Allgemeinen auf der Kote 404.40 m ü. M. Der Damm zwischen den Retentionsflächen (Äächeli, 1'350 – 1'060 m) weist die Kote 404.05 m ü. M. auf, und wird im Überlastfall (> HQ_{100}) überströmt. Die Wisenstrasse resp. der Damm wird im östlichen Abschnitt (zwischen Mittlerer Wisenstrasse und Eberweg) auf 404.35 m ü. M. abgesenkt und die Luftseite überströmungssicher ausgebildet. Dies ist eine Massnahme, welche in Kraft tritt, wenn das System überlastet ist. Mehr dazu in Kapitel 9. Die Sicherstellung der Höhenlage der Dämme ringsum die Retentionsflächen und im Besonderen die Ausbildung der Überströmsektion ist beim Bau und beim Unterhaltskonzept zu beachten. Berechnungen zu den Dämmen und Mauern wurden innerhalb des Kapitels 7.3 zusammengefasst.

In Zusammenhang mit der Erstellung der Retentionsflächen sollen Bodenverbesserungsmassnahmen ergriffen werden. Diese Massnahmen sowie Massnahmen zur Entwässerung der Becken nach einem Hochwasserereignis werden innerhalb des Meliorationsprojektes der Klaus Büchel Anstalt (Dossier 5) erarbeitet.

7.3.3.5 Drosselbauwerk Emseren

Das Drosselbauwerk Emseren befindet sich am unteren Rand der Retentionsräume und sorgt zum einen für die Drosselung des Abflusses im zweiten Abschnitt des Äächelis mit begrenzter Ausbaukapazität und zum anderen für die Beaufschlagung der Retentionsräume.

Eine Kombination mit Brücke Emserenstrasse wurde nicht weiter untersucht, da für die Zugänglichkeit und Überwachung nicht genügend Platz vorhanden wäre.

Die Anlage ist reguliert. Das bedeutet, dass die Funktion der Steuerung jederzeit gewährleistet sein muss. Jedoch bedingen die geringen Höhenunterschiede in der Talebene eine feine Steuerung des Abflusses bzw. des Wasserspiegels. Es liegt in dem Sinne eine sehr sensitive Situation vor.

Das Drosselbauwerk ist eine wasserbauliche Anlage. Es wurde ein Wehr mit unterströmten Schützen, fester Sohle und Tosbecken projektiert. Abbildung 7-41 zeigt eine Perspektive davon aus dem 3D-Modell.

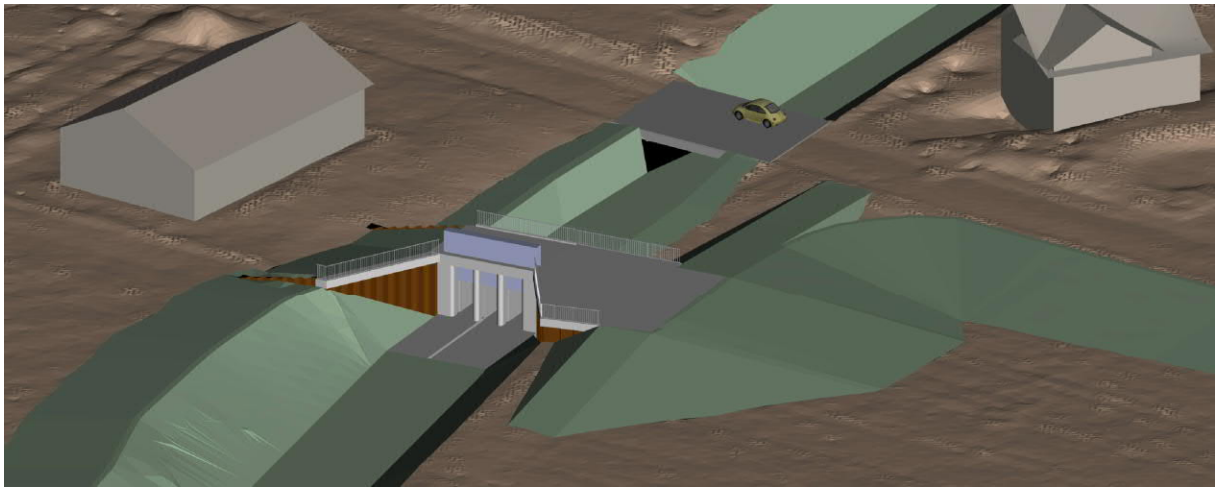


Abbildung 7-41: 3D-CAD / Visualisierung Drosselbauwerk Perspektive von Süden, Weiterentwicklung im Bereich der Mauern des Tosbecken sind in diese Visualisierung noch nicht eingeflossen

Es sind drei Wehröffnungen mit je 1.5 m Breite vorgesehen. Die Öffnungen können mit den Schützen verschlossen werden. Zur Erzeugung der Drosselung werden die Schützen in die Strömung gefahren und es liegt kein Freispiegelabfluss mehr vor. Ein Tosbecken mit Endschwelle hält den Wechselsprung am Drosselbauwerk. Die Energieumwandlung wird durch die rauhe Blocksatz-Sohle und die Aufweitung verstärkt. Im Hochwasser- und auch in den Retentionsszenarien ist das Schütz vom RBK her eingestaut, es liegt ein unvollkommener Ausfluss vor. Für die Tosbeckenbemessung ist jedoch der Lastfall RBK "tief" massgebend.

Aus Sicherheitsgründen muss die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Schützes durch ein redundantes Schütz abgedeckt werden (n-1 Regel).

Auf die Anordnung von Dammbalken wird bewusst verzichtet. Es wird davon ausgegangen, dass etwaige Revisionsarbeiten aufgrund des geringen, normalen Abflusses möglich sind.

Im Normalfall soll das Drosselbauwerk weder in der Landschaft noch in der Längsvernetzung des Äächelis auffallen. Hierzu wurde eine Anlage entwickelt, welche auf Aufbauten verzichtet. Die geplanten Schützen sind mit einer steigenden Spindel ausgestattet und sind im Dialog mit dem Stahlwasserbauer zu entwickeln. Damit sollte es möglich sein bei gezogenen Schützen keine emporragenden Armaturen zu haben.

Im mittleren Wehrfeld ist eine Niederwasserrinne vorgesehen. Auch in der Endschwelle des Tosbeckens ist eine Art Schlitz eingebaut. Damit sollte die Längsvernetzung bei Niederwasser, speziell die Fischwanderung gewährleistet sein.

7.3.3.6 Äächeli, 650 – 40 m

Der untere Abschnitt des Äächelis fliesst durch das Siedlungs- und Industriegebiet von Au. Die geplante Sohlneigung liegt bei ca. 0.07 % und die Sohle bleibt in der ursprünglichen Breite von 4.00 m bestehen. Die Böschung werden beidseitig mit den Neigungen 2:3 ausgebildet, wodurch der Fliessquerschnitt vergrössert und das Bachgerinne auch ausserhalb der heutigen Bachparzelle zu liegen kommt.

Die Strömungsvielfalt wird durch die Anordnung von Lenkbuhnen, Kiesbänken und Störsteinen erhöht (Abbildung 7-42). Mit diesen Massnahmen soll die Bildung einer Niederwasserrinne induziert werden.

Das Äächeli wird in diesem Abschnitt von den Brücken Emseren-, Haupt- und Werkstrasse überquert. Die Brücken Emseren- und Werkstrasse werden abgebrochen und ersetzt, die Brücke Hauptstrasse wird im Sohlbereich dem Projektierungsstand angepasst, wobei die eigentliche Brückenkonstruktion bestehen bleibt. Des Weiteren wird der Durchlass SBB, welcher im heutigen Zustand ein "Nadelöhr" ist, erneuert. Diese Brücken werden innerhalb der Brückenprojekte erarbeitet und dokumentiert ([55], [57], [58]).

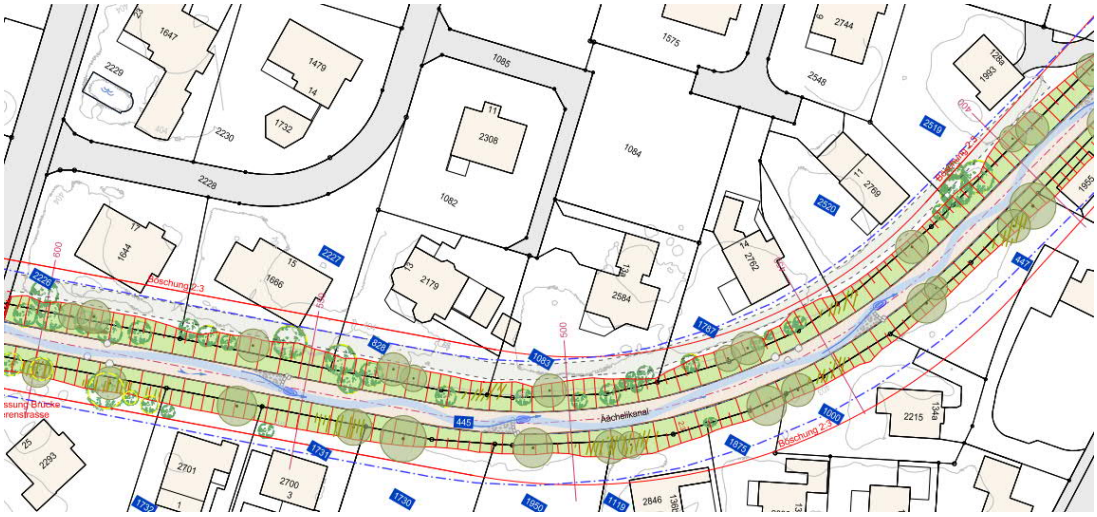


Abbildung 7-42: Gerinnegestaltung des Äächelis im Abschnitt 600 – 400 m

7.3.4 Gewässerausbauten Allgemein

Mauern und Dämme bzw. Erhöhungen von Strassen werden auch - wo nötig - zur Erreichung des erforderlichen Freibords verwendet. Diese Höhe ist jeweils in den Teilstreckenplänen angegeben.

7.3.4.1 Stützmauern

Die bauliche Massnahmenplanung am Littenbach sieht - wo immer möglich - eine Gerinneaufweitung vor. Aufgrund der örtlichen Platzverhältnisse und der hydraulischen Anforderungen sind an diversen Stellen Stützmauern als Ufersicherung unumgänglich. Dies betrifft insbesondere den Abschnitt des Littenbaches innerhalb des Siedlungsgebietes von Au SG (1'100 m bis 32 m). Die Dimensionierung der Stützmauer wurde für zwei Stellen durchgeführt. Die grösste Mauerhöhe ist im unteren Abschnitt des Littenbachs mit gut 7 m Höhe von der Gründungssohle. Als massgebender Stelle wurde bei 150 m (vgl. Abbildung 7-43) die statische Bemessung durchgeführt. Stellvertretend für geringere Mauerhöhen wurde die Stützmauer bei 600 m

mit gut 5.5 m verwendet. Die Berechnungen erfolgten mit der Software Larix-7 (Cubus AG). Die statischen Berechnungen werden in Anhang A.2 zusammengefasst.

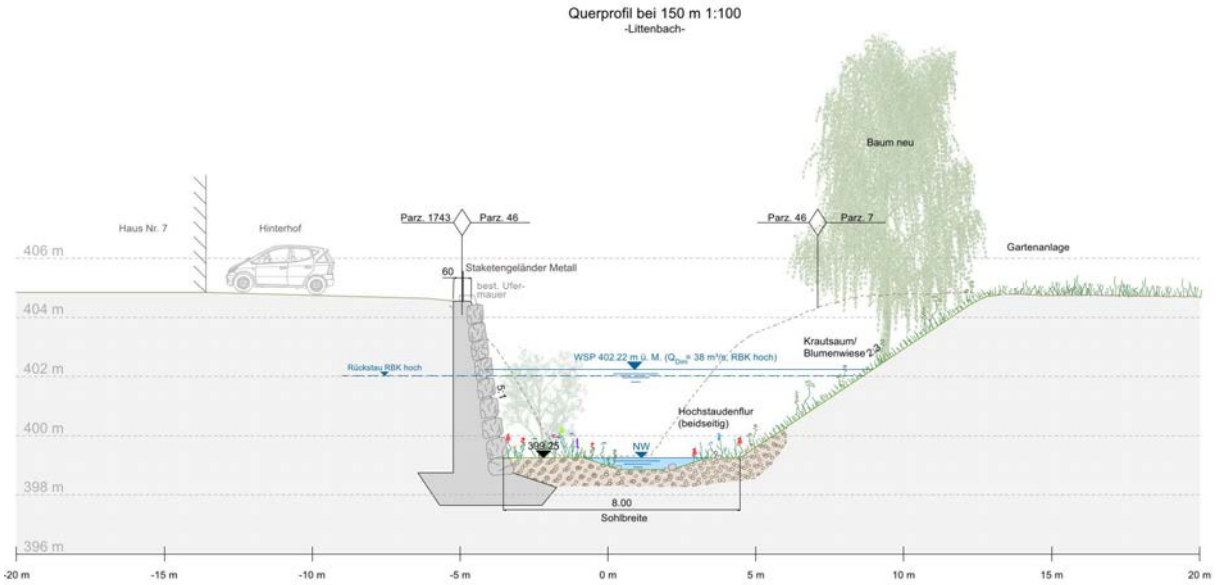


Abbildung 7-43: Massgebendes Querprofil (km 0.150)

Gemäss den hydrogeologischen Untersuchungen im Rahmen der Erhebung des Ausgangszustands [50] liegt der Grundwasserspiegel im unteren Abschnitt des Littenbachs bei rund 400.2 m ü. M. und damit ca. 1 m über der Bachsohle. Es ist davon auszugehen, dass der Grundwasserspiegel sich trichterförmig auf das Niveau der Bachsohle angleicht. Die Gründung der Stützmauer ist ca. 1-1.5 m unter der Bachsohle geplant und befindet sich somit im Grundwasser. Für den Bau der Stützmauer sind daher beidseitig Spundwände vorgesehen, welche gegenseitig ausgesteift sind. Aussteifungen respektive Anker sind nicht vorgesehen. Mit dieser Lösung kann in den beengten Platzverhältnissen mit angrenzender Bebauung ein vertikaler Baugrubenabschluss realisiert und die Baugrube kann frei von Grund- und Bachwasser (Wasserhaltung geplant) gehalten werden. Für den Bau sind Abschnittslängen von 50 m vorgesehen. Je nach Örtlichkeit werden abweichende Abschnittslängen realisiert.

Aufgrund der verschiedenen Situationen entlang der Stützmauer des Littenbachs in punkto angrenzende Bebauung, Grundwasserspiegel, den allgemeinen Platzverhältnissen und der Zugänglichkeit wurden Überlegungen zu sind alternativen Baugrubenabschlüssen in Anhang A.3 dokumentiert.

7.3.4.2 Erddämme

Innerhalb des Gebietes der geplanten Retentionsflächen werden Erddämme mit Neigungen 1:2 (Seite Gewässer) und 1:10 (Seite Landwirtschaftsfläche) ausgebildet (Abbildung 7-44). Diese sind entlang des Äächelis im Abschnitt zwischen Klotenerstrasse und Drosselbauwerk (ca. 1'350 – 650 m) geplant. Des Weiteren sind Dämme entlang der Strassen resp. zwischen Retentionsfläche und Verbauungen mit Neigungen 1:2 (Seite Strasse/Verbauung) und 1:10 (Seite Landwirtschaftsfläche) projektiert. Diese befinden sich entlang der Grenze der Gesamtretentionsfläche, mit Ausnahme von Stellen, an welchen das bestehende Terrain bereits die erforderliche Oberkante aufweist. Die flache Neigung auf Seite der Landwirtschaftsfläche wurde gewählt, um die Bewirtschaftung weiterhin zu gewährleisten.

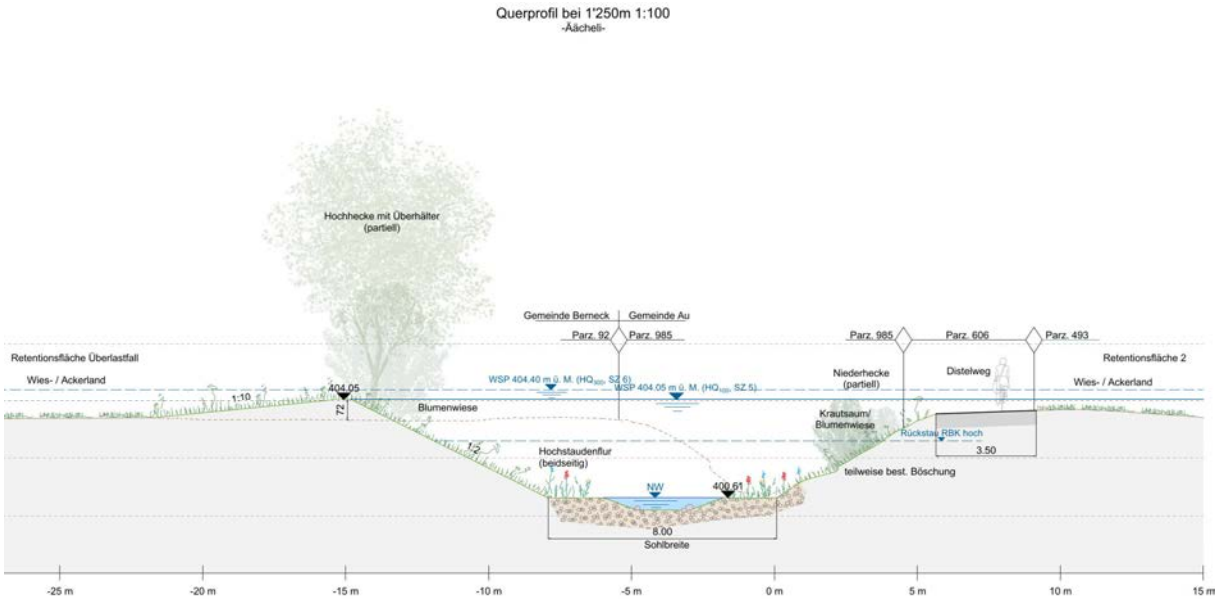


Abbildung 7-44: Gestaltung des Erddammes am Beispiel des Äächelis, Querprofil 1’250 m

Die Überprüfung der Dammstabilität erfolgte am typischen Dammquerschnitt zwischen Retentionsbecken und Äächeli unter Annahme eines homogenen Dammkörpers. Die Resultate der Berechnungen sind in Anhang A.3 zusammengefasst. Aufgrund der fehlenden Angaben betreffend Bodendurchlässigkeit wurden die Berechnung der Sickerlinie und der Dammstabilität unter Variation der Durchlässigkeitsbeiwerte durchgeführt.

Aufgrund der Resultate wird der Dammbau mit Schüttmaterial der Durchlässigkeit $5 \cdot 10^{-7} \leq k \leq 5 \cdot 10^{-5}$, oder der Einbau eines zusätzlichen Kerns empfohlen. Innerhalb des Projektperimeters liegt feinkörniger Boden, darunter auch Ton, vor. Die feinkörnigen Anteile des anfallenden Aushubs können voraussichtlich für die Erstellung des Kerns verwendet werden.

Grundsätzlich sie die Dämme luftseitig mit einer sehr flachen Neigung von 1:10 ausgebildet und werden als bewachsen angenommen (vgl. Abbildung 7-44). Kommt es zu einer Überströmung bei Hochwasser >HQ_{100} von den Retentionsflächen 1+2 in die Retentionsfläche Überlastfall stellen sich aufgrund der grossen Überfalllänge entlang der Kloterenstrasse und des Äächelis 1’350-1'150 nur kleine Überfallhöhen ein. Die hydrodynamische Belastung der Sohle kann daher als gering eingeschätzt werden und es wird nicht von einer Erosion ausgegangen. Treten Hochwasser > HQ_{300} auf, soll kontrolliert an der Überfallsektion an der Wisenstrasse auf einer Länge von 100 m konzentriert entlastet werden. Die Luftseite ist mit einem Geogitter (z.B. Sytec LSC 40) überströmungssicher ausgebildet. Treten noch grössere Hochwasser auf, wird über die gesamte, gleich hohe Dammkrone der Retentionsflächen gleichzeitig entlastet. Hier sind ebenfalls die Überfallhöhen aufgrund der grossen Überfalllänge sehr gering.

Für eine abschliessende Untersuchung der Dammstabilität ist die Kenntnis über die Durchlässigkeitsbeiwerte des Untergrundes sowie des Dammkörpers zu bestimmen und die Berechnungen zu verifizieren. Diese Überprüfung wird in der nächsten Projektphase erfolgen. Entlang der Emserenstrasse ist die luftseitige Böschung mit 1:2 geplant. Je nach Beaufschlagungsintensität sind spezielle Bepflanzungen oder Böschungssicherungen vorzusehen. Ob und wie stark diese im EHQ-Fall beaufschlagt wird, muss im Projektverlauf geprüft werden.

7.3.4.3 Elemente Sohlstrukturierung und Ufersicherung

Mit den gewählten Massnahmen werden einerseits das Fliessverhalten und die Geschiebeumlagerung beeinflusst und die Bildung einer Niederwasserrinne induziert. Andererseits bieten die Massnahmen Lebensraum für Fische und für natürlicherweise vorkommende Flora und Fauna. Für ein harmonisches Erscheinungsbild wurden dieselben Revitalisierungsmassnahmen innerhalb des gesamten Projekt-perimeters verwendet. Diese Massnahmen und ihre Auswirkungen auf das Gewässer werden im Folgende kurz beschrieben.

Lenkbuhnen

Lenkbuhnen bestehen aus bogenförmig aneinandergereihten Blocksteinen, welche in die Gewässersohle eingebaut sind. Sie werden im Böschungsfuss eingebunden und haben eine Länge von ca. 2/3 der Sohlenbreite. Die Einbindung der Blocksteine in der Sohle findet auf verschiedenen Niveaus statt, so dass ein geneigter Buhnenrücken entsteht. Der höchste Punkt einer Lenkbuhne befindet sich am Böschungsfuss und der niedrigste ist am anderen Buhnenende innerhalb des Gerinnes zu finden. Ihre geneigte Anordnung führt dazu, dass die Buhnen bereits bei Niederwasser- und Mittelwasserabfluss teilweise überströmt werden (siehe Abbildung 7-45, links). Die Anordnung von Lenkbuhnen erhöht die Strömungs- und Strukturvielfalt des Gerinnes und führt zu lokalen Verengungen des Fliessquerschnitts. Dies wiederum bewirkt erhöhte Fliessgeschwindigkeiten und somit eine Steigerung der Geschiebetransportkapazität. Ausserdem entstehen unterhalb des Bauwerks Sekundärströmungen, welche die laterale Umlagerung von Geschiebe begünstigen und zu Kolkbildung führen. Kolke bieten Fischen wiederum einen zusätzlichen Lebensraum. Inklinante Buhnen werden auch zu Uferschutzzwecken eingesetzt, da sie die Strömung von den Ufern weglenken (siehe Abbildung 7-45, rechts).

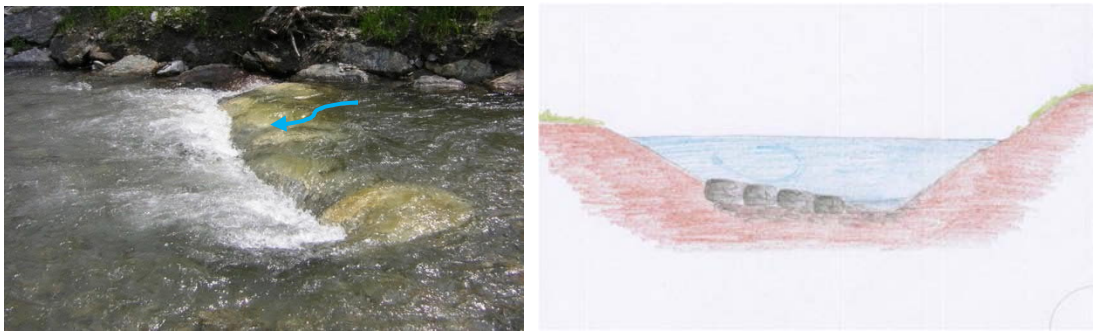


Abbildung 7-45: Beispiel einer realisierten Lenkbuhne (links), schematische Darstellung einer inklinanten Lenkbuhne im Querschnitt (rechts)

Strömungstrichter

Strömungstrichter bestehen aus zwei Lenkbuhnen, welche an direkt gegenüberliegenden Uferseiten angebracht werden. Sie führen zu einem mittig im Gewässerquerschnitt konzentrierten Abfluss (siehe Abbildung 7-46, links). Vorteile von Strömungstrichtern aus inklinanten Lenkbuhnen sind die Uferentlastung sowie die Erhöhung der Strukturvielfalt unterhalb des Bauwerks. Als Folge der konzentrierten Energie in Gerinnemitte und der auftretenden Sekundärströmungen kommt es zur Kolkbildung (siehe Abbildung 7-46, rechts). Wo möglich werden unterhalb des Trichters zusätzlich Wurzelstämme angeordnet, um mehr natürlichen Lebensraum Flora und Fauna zu kreieren. Ausserdem dienen die Strömungstrichter dazu, die Sohle oberhalb des Bauwerks zu fixieren und vor Erosion zu schützen. Geringe Höhenunterschiede können durch diese Konstruktion realisiert werden.

Abbildung 7-46: Beidseitig angeordnete inklinante Lenkbuhnen als Strömungstrichter. Beispiel eines realisierten Strömungstrichters (links), schematische Darstellung im Querschnitt (rechts)

Lebende Abweiser

Zur Erstellung von lebenden Abweisern werden schichtweise Totholz und ausschlagfähige Weidenzweige sowie bewurzelte Gehölze tief ins Ufer eingebunden (siehe Abbildung 7-47, rechts). Die Zwischenräume werden mit Aushubmaterial gefüllt. Das Totholz bietet Schutz für das ausschlagfähige Material, sodass dieses wachsen und dauerhafte Strukturen bilden kann. Die lebenden Abweiser bieten ebenfalls Schutzraum für Lebewesen und dienen auch der Böschungssicherung, weshalb sie generell in ehre geringer räumlicher Dichte angeordnet werden. Bei stärkerer Uferbelastung können die lebenden Abweiser mit einer Böschungsfusssicherung aus lockeren Blocksteinen gefüllt mit Astmaterial kombiniert werden.

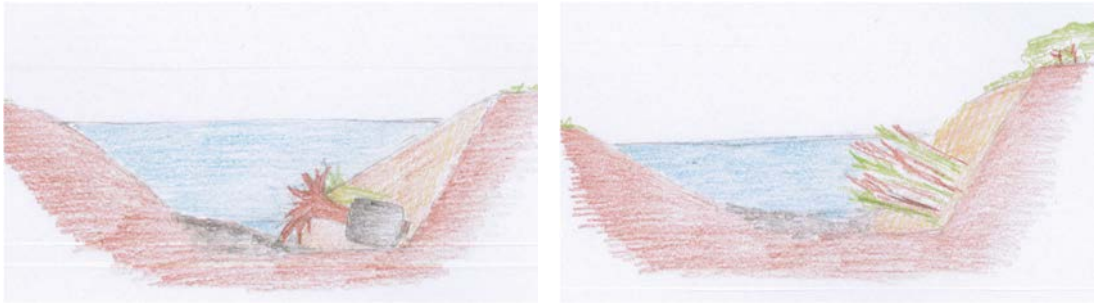


Abbildung 7-47: Schematische Darstellung von Ufergestaltungen: Wurzelstamm (links), lebende Abweiser (rechts)

Wurzelstämme

Wurzelstämme sind Baumwurzeln mit einem Wurzeltellerdurchmesser von mind. 1.5 m und einem Stammansatz von ca. 1.5 m, welche im Ufer verankert werden. Sie schützen das Ufer, wirken strömungslenkend und begünstigen die Bildung von Sohlstrukturen (siehe Abbildung 7-47, links). Unterhalb der Wurzelstämme bilden sich Kolk und eine abgeschwächte Strömung, wodurch von Fischen bevorzugte Schutzräume entstehen. Um diese Funktionen zu gewährleisten, müssen die Wurzelstämme im Bereich der Nieder- und Mittelwasserrinnen angeordnet werden. Die Befestigung erfolgt über die Verankerung der Stöcke im Ufer und der zusätzlichen Fixierung mittels Blocksteinen. Der Stammansatz und die Steine werden mit Aushubmaterial, welches auch eingelegtes Totholz beinhaltet, und lebenden Gehölzen überdeckt.

Schlüsselhölzer

Als Schlüsselhölzer bezeichnet man im Gewässer eingebautes Totholz, welches einen Stammdurchmesser von mind. 50 cm und eine Stammlänge von mind. 10 m hat. Zur Befestigung können Stahlseilfixierungen an bestehenden Uferstrukturen (z.B. vorhandene Wurzelstämme, siehe Abbildung 7-48) oder zusätzlich eingebauten Blocksteinen verwendet werden. Schlüsselhölzer sind eine Voraussetzung für die Bildung von grösseren dauerhaften Totholzstrukturen, welche durch ihre einengende Wirkung die eigendynamische Sohlstrukturierung fördern. Sie begünstigen eine natürliche Kolkbildung sowie die Entstehung von Kiesbänken und verbessern die ökologische Lebensraumqualität. Schlüsselhölzer können auch eine strömungslenkende Wirkung haben [7].

Abbildung 7-48: Schematische Darstellung einer Kiesbank im Querschnitt (links) und Bild eines buhnenartig eingebauten Schlüsselholzes im Scherlibach BE (rechts)

Kiesbänke

Kiesschüttungen dienen der Bachsohlengestaltung und der Formung der Niederwasserrinne (siehe Abbildung 7-48). Sie verhalten sich dynamisch und verändern sich in Abhängigkeit der Abflussmengen. Bei grösserem Abfluss stellen sie einen zusätzlichen Geschiebeeintrag dar, bei Niederwasser kommt es hingegen zu weiteren Ablagerungen. Bei ruhigen Verhältnissen funghieren die Kiesbänke als zusätzliches Habitat für Flora und Fauna und können durch allfälligen Pflanzenbewuchs stabilisiert werden.

Störsteine

Einzelne oder in Gruppen positionierte Flusssteine mit einem Durchmesser von bis zu 1.5 m, welch ein präparierte Mulden in der Gewässersohle verlegt werden, bezeichnet man als Störsteine (siehe Abbildung 7-49). Vorzugsweise werden Gesteine aus der Region des Gewässers verbaut, wobei in diesem Projekt der Grösse der Steine besonderes Augenmerk gilt, da diese jeweils auf die Gewässergrösse und dessen Schleppkraft abgestimmt werden muss. Störsteine begünstigen die abwechslungsreiche und eigendynamische Ufergestaltung sowie die Sauerstoffanreicherung im Gewässer. Ebenfalls dienen sie als gezielt einsetzbare Strömungsablenker und Totholzfänger.

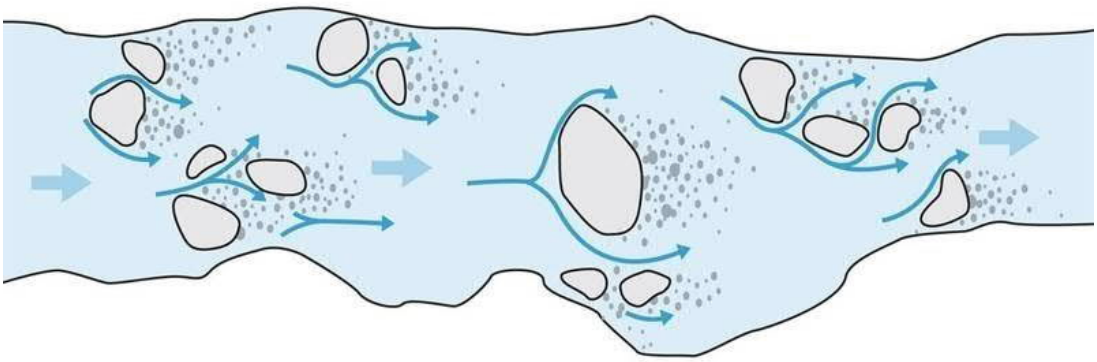


Abbildung 7-49: Schematische Darstellung von eingebauten Störsteinen (https://www.petri-heil.ch/bitte-stoeren, 22.11.2019)

7.4 Gestaltung und Begrünung

7.4.1 Ufergestaltung

Zur Reduktion von Bauwerken im Gewässerraum wurden im Rahmen der vorliegenden Planung verschiedene Varianten und Massnahmen geprüft. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der hydraulischen Anforderungen ist ein vollständiger Verzicht auf Ufermauern nicht möglich. Die vorgesehenen Ausgestaltungen von Littenbach und Äächeli lassen sich diesbezüglich in unterschiedliche Teilbereiche gliedern:

- Beidseitige Ufermauern (bei beengten Platzverhältnissen im bebauten Gebiet): Littenbach: ca. Stm 840 - 1025; Äächeli: Drosselbauwerk Emseren.
- Einseitige Ufermauern: Littenbach: ca. Stm 40 - 840 und Stm 1025 - 1100.
- Beidseitige Uferböschungen (restliche Abschnitte Littenbach und Äächeli, gesamte Gerinne von Hinterburg- und Buechholzbach).

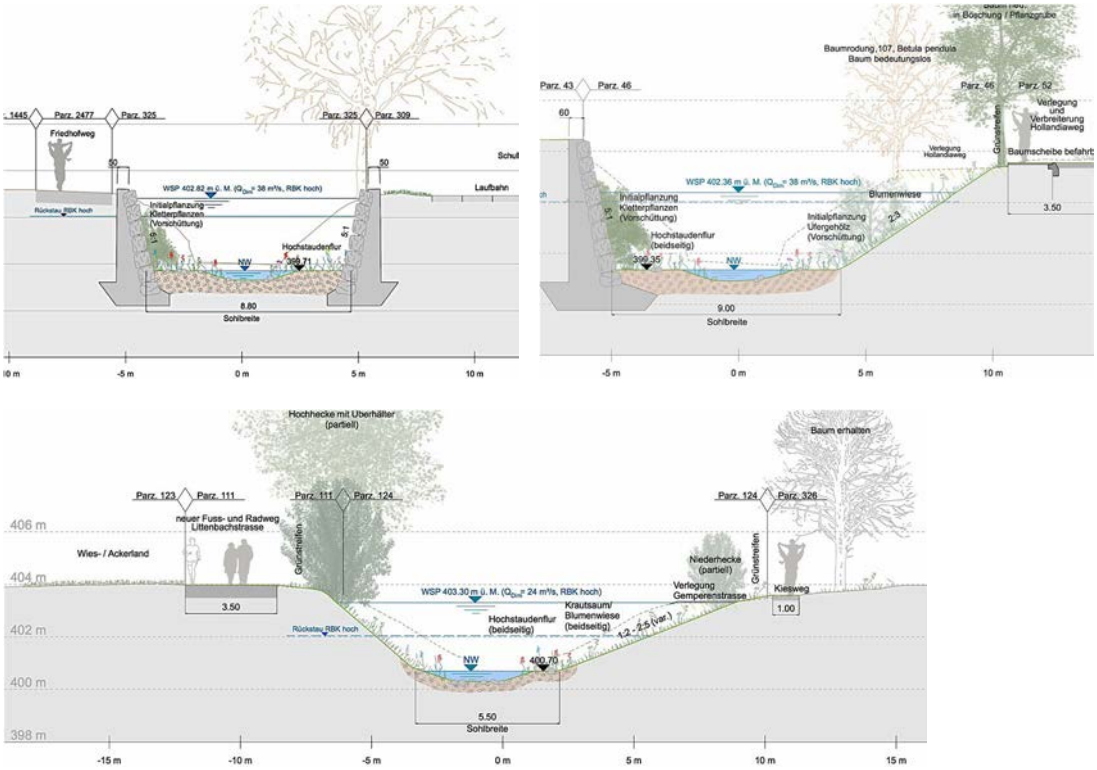


Abbildung 7-50: Querprofil Littenbach mit beidseitiger Ufermauer (oben links), einseitiger Ufermauer (oben rechts) und beidseitiger Uferböschung (unten).

7.4.2 Ufermauern und Geländemodellierungen

Die erforderlichen Ufermauern werden als hinterbetonierte Natursteinmauerwerke ausgebildet. Damit die Mauern nicht zu massiv erscheinen, ist die Verwendung von klein- bis mittelformatigen Steinen vorgesehen (Alpenkalk oder ähnlich).

Abbildung 7-51: Beispiele Natursteinmauer

Die Mauerfugen sollten mindestens auf ein Drittel der Steintiefe unverfugt ausgeführt werden, in unregelmässigen Abständen sind innerhalb des Mauerwerks Pflanznischen zur Begrünung vorgesehen. Ergänzend sind zur gestalterischen Einbindung der Mauern im Gerinne Vorschüttungen geplant, auf denen Initialpflanzungen durchgeführt werden können (Mauerberankung mit Kletterpflanzen, Pioniersträucher / -stauden, etc.).

Die für den Hochwasserschutz erforderlichen Geländeerhöhungen resp. Dämme werden nach Möglichkeit als sanft ausgebildete, flache Modellierungen (Neigung ca. 1:10) ausgeführt, so dass sie nicht als landschaftlicher Fremdkörper wahrgenommen werden.

7.4.3 Gerinne und Uferböschungen

Die hydraulisch bedingte Aufweitung der Gerinne bildet die Basis für eine vielfältige Sohlgestaltung und die Entwicklung von Lebensräumen für eine artenreiche Flora und Fauna. Die Sohlenausbildung erfolgt nach Möglichkeit auf dem anstehenden Untergrundmaterial. Die Massnamen zur Sohlstrukturierung und Förderung einer Niederwasserrinne sind in Kapitel 7.3.3 beschrieben. Entlang der Niederwasserrinne sowie auf den angrenzenden, temporär überfluteten Sohlbereichen ist die Entwicklung von Hochstaudengesellschaften wechselfeuchter Ausprägung vorgesehen (Initialansaaten / -pflanzungen mit heimischen Ökotypen).

Einzelne Bachaufweitungen (z.B. Littenbach Stm 810) unterbrechen die heute monotone Wirkung der Gerinne.

Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten weisen die neuen Uferböschungen ein Neigungsverhältnis von ca. 1:5 bis maximal 2:3 auf. Ziel ist eine möglichst naturnahe Terrainausbildung mit abwechslungsreichem Feinrelief. Sämtliche Uferböschungen werden als extensiv genutzte Blumenwiesen ausgebildet. Zur Förderung einer artenreichen Vegetation ist die Ansaat auf Unterboden (B-Horizont) bzw. auf einer nur geringen Oberbodenauflage (A-Horizont, maximal 3 bis 5 cm) vorgesehen.

Zur Begrünung soll ausschliesslich standortgerechtes, artenreiches Wildblumenwiesensaatgut (z.B. Nasssaat) oder die Methode der Schnittgutübertragung angewendet werden (regionale Herkunft). Dabei sind die unterschiedlichen Standortbedingungen

zu berücksichtigen (Exposition, Lichtverhältnisse, Bodenfeuchte, etc.). Zur Erhöhung der Strukturvielfalt ist im Bereich der Böschungen das Anlegen von Kleinstrukturen (Lesesteinbiotope, Asthaufen etc. vorgesehen.

7.4.4 Bäume und Ufergehölz

Die Aufweitung der Bachgerinne sowie die Verlegung von Strassen bedingen insbesondere im Bereich der bestehenden Baumreihen entlang des Littenbachs zahlreiche Baumrodungen. Dort, wo es die Platzverhältnisse ermöglichen, sind entsprechende Ersatzpflanzungen geplant. Im Bereich von Holandia- und Lindenweg schliesst die Uferböschung direkt an die Wege an. Um hier eine Baumpflanzung zu ermöglichen, wird wegseitig eine Baumgrube mit überfahrbarer Abdeckung erstellt (siehe Gestaltungsprofil Littenbach Stm 300). Bei der Schulanlage Au ist aufgrund der bestehenden Laufbahn ein Baumersatz nicht möglich.

Eine neue Baumreihe wird entlang der Littenbachstrasse, Abschnitt Auerstrasse bis Bahnstrasse, gesetzt. Zudem sind in den Uferböschungen entlang von Littenbach und Äächeli sowie beim Sedimentationsbecken und beim Naturpark Kobel zahlreiche Baumpflanzungen (heimische Laubgehölze) in unregelmässiger Anordnung vorgesehen.

Ergänzend zu den Einzelbäumen werden entlang der projektierten Fliessgewässer Nieder- und Hochhecken ausgebildet. Die Artenzusammensetzung richtet sich nach den jeweiligen Standortverhältnissen (Exposition, Boden, angrenzende Nutzung).

Genaue Angaben zu den vorgesehenen Rodungen und Ersatzpflanzungen sind dem UVB zu entnehmen.

7.5 Aquatische und terrestrische und Übergangsfunktionen

Generell werden die Schutz-, Wiederherstellungs- und Ausgleichmassnahmen innerhalb des Umweltverträglichkeitsberichtes von CSD Ingenieure AG beschrieben. Neben den oben genannten Strukturelementen, welche zur Aufwertung des Gewässers und damit zur Förderung der aquatischen Durchgängigkeit beitragen, wurden insbesondere an den Brücken Massnahmen ergriffen, um die Fischgängigkeit wie auch die terrestrische Durchgängigkeit zu verbessern.

7.5.1 Fischgängigkeit

Für die Fischgängigkeit wird über grosse Strecken die Bildung einer natürlichen Niederwasserrinne induziert. Unterhalb der Brückenquerschnitte wird die Sohle möglichst natürlich gestaltet und nicht verbaut. Innerhalb der bestehenden Brücken und Durchlässe wird die Sohle aufgebrochen und auf die Höhe der projektierten Sohle angepasst.

Die bestehenden Abstürze in den Durchlässen SBB, welche ein Hindernis für die Fische darstellt, werden durch den Bau einer kurzen Pendelrampe überwunden. Die Absturzhöhen pro Riegel werden auf 15 – 20 cm (Leitfischart Forelle [46]) reduziert, so dass die Fischgängigkeit auch bei Niederwasser im RBK ermöglicht wird (s. Abbildung 7-52). Weiter wird im Durchlass SBB am Littenbach die Betonsohle oberhalb des bestehenden Absturzes aufgeschnitten, um die Bildung einer Niederwasserrinne mit natürlicher Sohle und genügender Wassertiefe zu ermöglichen.

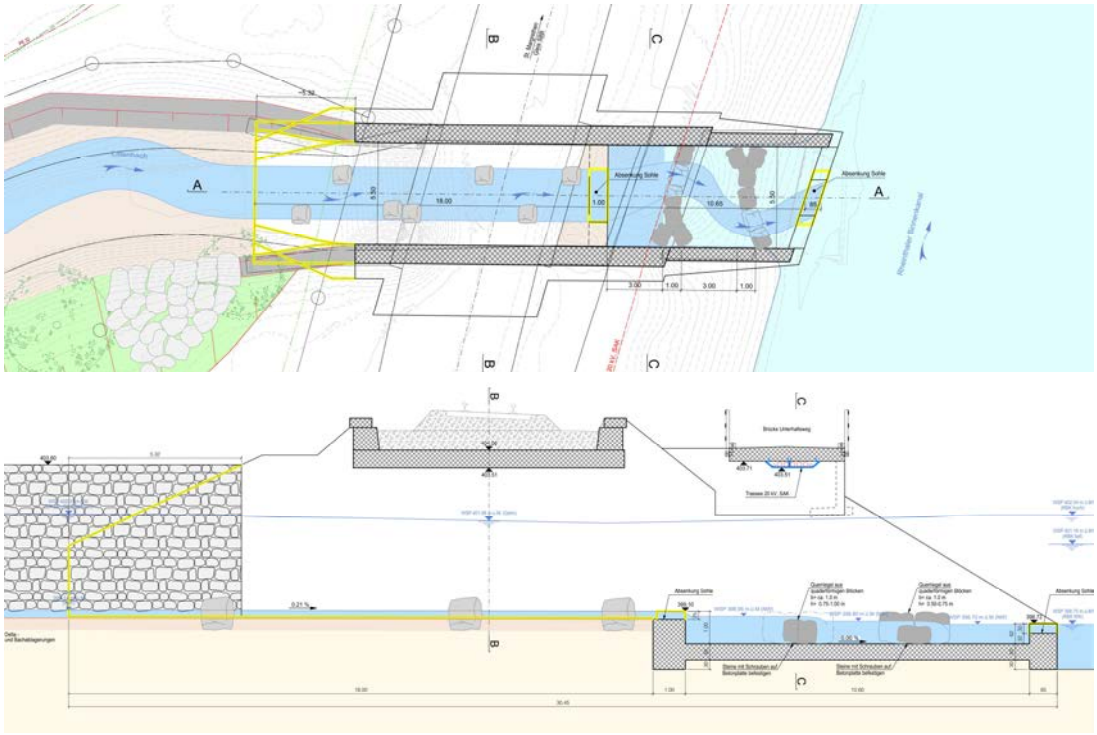


Abbildung 7-52: Sohlstrukturierung im Durchlass SBB, Littenbach

7.5.2 Terrestrische Durchgängigkeit

Grundsätzlich gilt es, die terrestrische Durchgängigkeit über die gesamte Länge aller Gerinneabschnitte zu gewährleisten. In den meisten Gewässern bilden die Brückenquerschnitte die kritischen Stellen in den Gewässern.

Da die Gerinnequerschnitte im unteren Abschnitt des Littenbachs mit einseitig angeordneten, teilweise auch mit beidseitig angeordneten Mauern, abgeschlossen wird, ist auch in diesen Strecken die Durchgängigkeit erschwert, resp. nur bei Niederwasser möglich. Aufgrund dieser Tatsache wurde für alle Gewässerabschnitte bestimmt, ob die terrestrische Durchgängigkeit möglich oder erschwert ist. Anhand dieser Betrachtung wurde anschliessend über die Sinnhaftigkeit der Bermenkonstruktion für die Ermöglichung der Durchgängigkeit entschieden.

In Tabelle 7-1 sind alle Brücken und Gerinneabschnitte des Littenbachs, Kübachs, Äächelis, Hinterburg- und Buechholzbaches aufgeführt, in welchen eine terrestrische Durchgängigkeit ermöglicht wird, bzw. erschwert möglich ist. Diejenigen Brücken, deren Felder rot markiert sind, können entweder aus hydraulischen Gründen oder aufgrund der im Ober- und/oder Oberwasser vorhandenen Mauern auf einer oder beiden Uferseiten keine Durchgängigkeitsmöglichkeit gewährleisten. Für Brücken mit grün oder orange markierten Felder sind Bermen geplant, um die terrestrische Durchgängigkeit zu gewährleisten. Die Bermen müssen so geplant werden, dass ein laufender Übergang von Berme auf die Uferböschung entsteht.

Bei Brückenquerschnitte, bei welchen erschwerte Durchgängigkeitsbedingungen unter- und/oder oberhalb der Brücke bestehen, werden kleinere Bermen vorgesehen um die Fundamente vor Erosion zu schützen. Diese werden während einem 1-jährlichen Hochwasser überschwemmt.

Tabelle 7-1: Konzeptionelle Untersuchung der terrestrischen Durchgängigkeit (grün: Durchgängigkeit möglich, rot: Durchgängigkeit erschwert/nicht möglich, orange: Durchgängigkeit teilweise möglich)

Gewässer				**Brücken**			
	Abschnitt [m]	Uferausbildung Linkes Ufer	Rechtes Ufer	Name	Abschnitt [m]	Massnahmen für terrestrische Durchgängigkeit sinnvoll	
Littenbach	2743-2700			Tramstrasse	2743-2700	nein	hydraulisch bedingt keine Querschnittsreduktion möglich
	2700-1103	Böschung	Böschung	Joh.-Dierauerstrasse	2515-2510		Vorgezogene Massnahme, keine weiteren Anpassungen
				Kropfackerstrasse	2300-2290		Vorgezogene Massnahme, keine weiteren Anpassungen
				Auerstrasse	1893-1880		Keine Massnahmen
				Kobelstrasse	1600-1595	ja	
				Kobelsteg	1205-1200	ja	Keine Bermen vorgesehen, da die Ausbildung Pfeiler und Böschung die
	1103-1100			Haslachsteg	1103-1100	teils	Durchgängigkeit entlang des rechten Ufers
	1100-1075	Blocksteinmauer	Böschung				
	1075-1025	Böschung	Blocksteinmauer				
	1025-835	Blocksteinmauer	Blocksteinmauer	Walzenhauserstrasse	1000-980	nein	Durchgängigkeit vor und nach Brücke erschwert
	835-790	Böschung	Blocksteinmauer				
	790-735	Blocksteinmauer	Böschung				
	735-715	Blocksteinmauer	Blocksteinmauer				
	715-665			Hauptstrasse	715-665	ja	Bermen werden erstellt, um Fundamente der bestehenden Brücke zu schützen

	665-445	Blocksteinmauer	Böschung				
	445-430			Bahnhofstrasse	445-430	ja	Bermen werden erstellt, um Fundamente der bestehenden Brücke zu schützen
	430-405	Blocksteinmauer	Blocksteinmauer				
	405-35	Blocksteinmauer	Böschung	Rheinstrasse	190-180	teils	Durchgängigkeit entlang des rechten Ufers
	35-12			SBB, Littenbach	35-12	nein	hydraulisch bedingt keine Querschnittsreduktion möglich
Kübach	Mündungs bereich	Böschung	Böschung	Littenbachweg	Mündungs bereich	ja	
Äächeli	1395.7-650	Böschung	Böschung	Kloterenstrasse	1364-1359	ja	
				Wisenstrasse	1062-1058	ja	
	650-617			Drosselbauwerk	650-617	nein	Tosbecken mit Blocksteinmauern, hydraulisch bedingt
	617-607			Emserenstrasse	617-607	ja	
	607-20	Böschung	Böschung	Hauptstrasse	343-327	ja	
				Werkstrasse	185-175	ja	
				SBB, Äächeli	20-0	nein	hydraulisch bedingt keine Querschnittsreduktion möglich
Hinterburg-bach	494-0	Böschung	Böschung	Iselstrasse	202-192	ja	
Buechholz-bach	575-0	Böschung	Böschung	Schlatt	175-155	ja	

7.6 Messung und Steuerung

Das Hochwasserschutzkonzept am Littenbach und Äächeli besitzt massgebende gesteuerte Systemkomponenten. Die Beaufschlagung des Entlastungsstollens wird durch die Wehrklappe reguliert und die Füllung der Retentionsräume respektive die Drosselung des Äächelis im unteren Abschnitt wird durch das Drosselbauwerk kontrolliert.

Für die erforderlichen Eingangsgrössen der Steuerung sind neben verschiedenen Parametern und Kennlinien vor allem aktuelle Messwerte notwendig. Hierzu sind Messungen des Wasserspiegels respektive die Bestimmung der aktuellen Abflüsse notwendig. Abbildung 7-53 zeigt den Projektperimeter mit den Pegelmessstellen. Aus den gemessenen Wasserspiegeln können die Abflüsse berechnet werden.

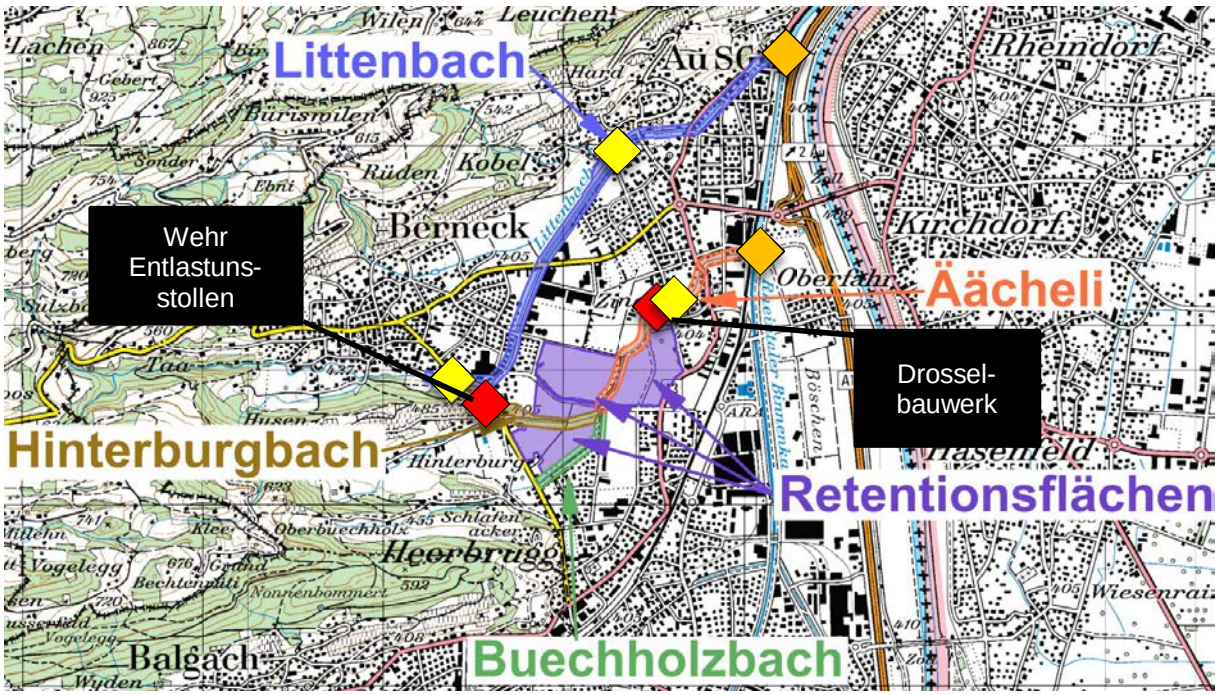


Abbildung 7-53: Übersichtsplan Wasserbau mit Mess- und Steuerstellen, best. Bachpegelmessung gelb, Messung WSP des RBK orange und Messung an wasserbaulichen Anlagen rot

Wie im Abschnitt 6.1.4 erläutert, hat der RBK einen massgebenden Einfluss auf die Wasserspiegel in Littenbach, Äächeli und teilweise sogar Buechholz- und Hinterburgbach. Dieser ist zwingend bei der Berechnung der Abflüsse aus den gemessenen Wasserspiegeln zu beachten. Die nächste BAFU Messstelle des RBK befindet sich in St. Margrethen. Die notwendigen WSP an der Mündung von Äächeli und Littenbach aus dieser Messung abzuleiten wird nicht empfohlen. Es sind hier Messstellen vorzusehen.

Grundsätzlich werden an den wasserbaulichen Anlagen (Entlastungsstollen und Drosselbauwerk) die Wasserspiegel gemessen und der Abfluss daraus sehr verlässlich bestimmt.

Da die Ganglinie des Hochwassers eine grosse Spitze bei gleichzeig sehr hohem Gradienten im Anstieg besitzt, sind um die Vorwarnzeit zu erhöhen Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet mit der Niederschlagsprognose in die Steuerung zu integrieren.

Alle Daten müssen an einer Stelle «zusammenlaufen», verwaltet und gespeichert werden. Die Auswertung der Daten muss in Echtzeit stattfinden um die Systemrelevanten Informationen an die einzelnen Steuerorgane weiterzuleiten bzw. deren Betrieb zu ermöglichen. Der Umgang mit Störungen ist festzulegen. Eine Information und Alarmierung des Pikettpersonals ist vorzusehen. Darüber hinaus müssen die Messdaten samt Auswertungen mobil verfügbar sein. Es müssen Anpassungen von Stellwerten der wasserbaulichen Anlagen durch berechtigte Mitarbeitern/Entscheidungsträgern via Fernsteuerung eingerichtet werden. Hierbei sind die Installationen respektive die Verbindung mindesten einfach redundant auszubilden. Alle Daten und insbesondere die Informationen zu etwaigen Störungen sind zu archivieren.

Es wird in einem separaten Dokument das Wehrreglement ausgearbeitet.

7.7 Materialbewirtschaftungskonzept und Materialbilanz

Der Gerinneausbau zur Gewährleistung des Hochwasserschutzes wird mittels deutlicher Vergrösserung des Querschnitts erreicht. Daraus folgt eine grosse Menge an überschüssigem Material der einzelnen Bodenschichten. Es wird angestrebt an den verschiedensten Orten, beispielweise beim Dammbau oder der Auffüllung von Mulden das Material wiederzuverwerten. Ziel ist es so wenig wie möglich zu entsorgen. Die Flächen- und Massenbilanz beschreibt den Anfall resp. Überschuss von Erdaushub, unterteilt nach Bodenhorizonten und Verwertbarkeit. Die Bilanz beruht auf den vorliegenden Informationen bezüglich Bodeneigenschaften und Umfang der geplanten Hochwasserschutzmassnahmen.

Das Hochwasserschutzprojekt wurde im 3D-CAD erstellt. Mit diesem Modell ist es möglich, nachdem in Absprache mit KBA die Lage der Horizonte A-C implementiert wurde, verschiedene Auszüge zu erstellen. Der Bodenabtrag kann aufgeschlüsselt für einzelne Abschnitte und jeweils nach Horizont ausgegeben werden. Der Auftrag konnte ebenfalls für jeden Abschnitt ausgegeben werden. Dabei aber nur als Ganzes, ohne eine Differenzierung nach Verwendung/Wiedereinbau der einzelnen Horizonte, wie er bspw. bei den Dämmen vorkommt.

Tabelle 7-2 zeigt die Massenbilanz über den gesamten Projektperimeter. Der gesamte Abtrag beträgt 122'900 m^3. Davon werden 63'600 m^3, etwas mehr als die Hälfte als Auftrag im Projekt wiederverwendet. Von der zweiten Hälfte 59'300 m^3, ist Material des A und B-Horizonts in der Summe 16'100 m^3 vorhanden und wird innerhalb der Retentionsflächen zur Auffüllung von Mulden zur Bodenverbesserung verwendet. Es ergibt sich schlussendlich ein Überschuss von 43'200 m^3, was rund einem Drittel der Gesamtmenge entspricht. Dieser Teil muss entsorgt werden und wird im Kostenvoranschlag eingerechnet.

Tabelle 7-2: Massenbilanz Erdaushub, Zusammenfassung (aus [48])

Horizonte	Kubaturen [m³ fest]				
	Abtrag	Auftrag	Bilanz	Anteil verwertbar	Anteil Entsorgung
A-Horizont	33’100	17’700	15’400	15’300	100
B-Horizont	27’300	22’900	4’400	800	3’600
C-Horizont	62’500	23’000	39’500	-	39’500
Total	**122’900**	**63’600**	**59’300**	**16’100**	**43’200**
Davon Bodenaushub	*60’400*	*40’600*	*19’800*	*16’100*	*3’700*
Davon Aushub material	*62’500*	*23’000*	*39’500*	-	*39’500*

Das Materialbewirtschaftungskonzept und die Materialbilanz wurde durch die Klaus Büchel Anstalt aufgestellt. Für weitere Informationen ist der Bericht «Situationsanalyse Boden, Bodenschutzkonzept» [48] der Klaus Büchel Anstalt zu konsultieren.

7.8 Unterhaltsmassnahmen

7.8.1 Ökologische Pflege- und Unterhaltsmassnahmen

Sowohl zur Gewährleistung des Hochwasserabflusses (Freihaltung des Querprofils) wie auch zur Förderung der ökologischen Vielfalt ist eine fachgerechte Pflege zwingend. Die Bäche sollen sich im Gewässerraum frei und dynamisch entwickeln können. Gewisse Ufererosionen sind dabei zu tolerieren, ein geringer Geschiebe- und Schwebstofftrieb ist erwünscht. Die Pflegearbeiten (insbesondere Gehölzschnitt) sind von einer ausgebildeten Fachperson auszuführen.

7.8.1.1 Allgemeine Unterhalts- und Pflegehinweise

- *Innerhalb des Gewässerraums darf keine Düngung erfolgen*
- *Niemals gesamte Flächen mähen / schneiden, Rückzugsbereiche für Tiere belassen (ca. 1/2 - 1/3 Fläche).*
- *Mahdzeitpunkt variieren und auf Blütezeit abstimmen (Versamung der Wildblumen fördern).*
- *Balkenmäher oder Sense verwenden (kein Einsatz von Schlegel- oder Saugmähern!).*
- *Mähgut nach dem Abtrocknen zusammennehmen und abtransportieren. Das Schnittgut darf nicht länger liegengelassen werden und ist innerhalb von 14 Tagen abzuführen (Vermeidung von Aufdüngung). Es darf nicht ins Gewässer gelangen und nicht verbrannt werden.*

7.8.1.2 Neophytenkontrolle

Entlang von Fliessgewässern ist die Ausbreitung von invasiven Neophyten begünstigt. Vor allem in der Anwuchsphase, so lange der Boden noch keine geschlossenen Vegetationsdecke vorweist, besteht ein erhöhtes Verbreitungsrisiko.

Daher ist die Neophytenkontrolle und die Einleitung fachgerechter Gegenmassnahmen insbesondere in den ersten Jahren nach dem Gewässerausbau sehr wichtig. Aber auch in der Folgezeit sind fortlaufende Neophytenkontrollen und bei Bedarf frühzeitig Massnahmen durchzuführen.

Die Gegenmassnahmen sind gezielt auf die auftretenden Neophytenarten abzustimmen.

7.8.1.3 Gerinne

Aufgrund der geringen Sohlgefälle ist bei Littenbach und Aächeli auch künftig mit Sedimentablagerungen und verstärkter Verkrautung des Gerinnes zu rechnen. Um dem Entgegenzuwirken ist ein periodisches Entkrauten der Sohle durch Ausmähen erforderlich. In der Niederwasserrinne ist die Ströumungsgeschwindigkeit zu fördern. Mit der geplanten abschnittsweisen Beschattung durch Gehölze, kann das Pflanzenwachstum im Gerinne eingeschränkt und eine zu starke Erwärmung des Gewässers verhindert werden.

Pflegeempfehlungen:

- *Entkrauten / Mähen der Bachsohle: nach Bedarf je nach Entwicklungszustand (Annahme: durchschnittlich ca. alle 2 Jahre).*
- *Ausführungszeitpunkt: September bis Oktober.*
- *Entkrauten abschnittsweise (Abschnittslänge ca. 100 m), 1⁄3 des Bestandes bzw. zumindest einzelne Restbestände pro Gewässerabschnitt stehen lassen.*
- *Entfernung von Sohlschlammablagerungen nach Bedarf.*
- *Kantonale Fachstellen und Fischerei über vorgesehene Massnahmen und Zeitpunkt informieren.*

7.8.1.4 Ufersaum und -böschungen

Bei der Uferpflege wird eine vielfältige Ufervegetation entlang der Gewässer angestrebt. Es ist eine abwechslungsreiche Verzahnung zwischen bestockten und offenen, direkt besonnten Flächen sowie einem natürlichen Übergang zwischen Uferböschung und dem eigentlichen Gerinne anzustreben.

Gerinnebegleitend und am Böschungsfuss soll die Entwicklung artenreicher Hochstaudengesellschaften (Krautsaum, keine Gehölze) gefördert werden. Bei Hochwasser werden Hochstauden vom Wasser an die Böschung gedrückt und die Abflusskapazität bleibt gewährleistet.

Pflegeempfehlungen:

- *Ufer- und Wildheckensaum (Hochstaudenflur, Krautsaum)): Schnitt ca. alle 2-4 Jahre, Ausführung frühestens ab September.*
- *Blumenwiesenböschungen: Schnitt jährlich 1 - bis 2-Mal, alternierend ausführen; Schnitt ab Mitte Juni und je nach Wachstum Mitte August bis Mitte September. An geeigneten stellen Altgrasstreifen stehen lassen. Schnittgut ca. zwei Tage abtrocknen lassen und anschliessend abführen.*
- *Saum und Böschungen abschnittsweise (Abschnittslänge ca. 100 m), 1⁄3 des Bestandes stehen lassen; Ufersaum unmittelbar am Wasser (Breite ca. 50 cm) als überhängende Vegetation stehen lassen.*
- *Schonender Maschineneinsatz, Sense und Balkenmäher bevorzugen.*

7.8.1.5 Ufergehölz

Die Uferbestockungen sind nach ökologischen Zielsetzungen zu pflegen. Die Form oder der Wuchs sind dabei untergeordnet. Äste sollen nur entfernt werden, wenn sie den Hochwasserabfluss stark beeinträchtigen.

Pflegeempfehlungen:

- *Unterwuchs die ersten beiden Jahre nach der Pflanzung ausmähen (ca. 2-3 Schnitte pro Jahr).*
- *Niederhecken: je nach Wuchsentwicklung ca. alle 3 bis 5 Jahre abschnittsweise zurückschneiden.*
- *Hochhecken: Durchforstungseingriff abschnittsweise ca. alle 5 bis 10 Jahre. Einzelne aufwachsende Bäume (Überhälter) fördern und erhalten.*

- *Gehölzpflege alternierend, abschnittsweise durchführen (nicht mehr als 1/3); Rückzugsbereiche für Tiere belassen.*
- *Ausführung während der Vegetationsruhe: November bis März.*
- *Schnellwüchsige Arten auslichten bzw. partiell auf Stock setzen (Weide, Erle, Hasel), beerentragende Bäume und Sträucher fördern*
- *Das Entfernen der unteren Äste (Aufasten) entlang der Gewässer ist nicht erwünscht. An Wegen und Strassen kann ein gezieltes Aufasten sinnvoll sein.*
- *Schnittgut zur Schaffung von Kleinstrukturen als Asthaufen anlegen (ausserhalb Hochwasserprofil).*

7.8.1.6 Strassen- / Hochstammbäume

Bei den Baumreihen ist in den ersten Jahren ein Erziehungsschnitt erforderlich (ca. 1 Mal pro Jahr). Zudem ist für eine ausreichende Bewässerung zu sorgen und die Verankerung ist zu kontrollieren.

In den Folgejahren ist kaum Pflege erforderlich. Bei Bedarf kann ein fachgerechter Rückschnitt unter Berücksichtigung des charakteristischen Wuchses durchgeführt werden. Im Bereich von Strassen ist das Freihalteprofil einzuhalten, gefährdende Äste sind zu entfernen.

7.8.1.7 Naturpark Kobel

Im Naturpark Kobel ist die dynamische Entwicklung der Kies- / Ruderalflächen und der Kleingewässer zu fördern und zu erhalten. Intensiv genutzte Bereiche können nach Bedarf gemäht werden. Die Flächen sollten regelmässig hinsichtlich unerwünschter Arten (invasive Neophyten) kontrolliert werden, vgl. oben.

Die Pflege der Saumgesellschaften und Blumenwiesen hat gemäss den obigen Vorgaben zu erfolgen.

Die Kleingewässer sind bei fortschreitender Verlandung oder nach grossflächigen Überflutungen wieder auszugraben bzw. an anderen Standorten neu zu erstellen.

Für die Kieswege und die Sitzgelegenheiten ist der übliche technische Unterhalt durchzuführen.

7.8.1.8 Sedimentationsbecken

Sofern erforderlich, sind die Ablagerungen und Anlandungen abschnittsweise abzutragen. Sand-, Kies- und Geröllufer sowie Inseln sind mindestens partiell als Lebensräume zu erhalten. Die Sedimantationsentnahme sollte nie vollflächig, sondern alternierend erfolgen. Dabei ist jeweils mindestens ein Drittel der Uferzonen zu erhalten.

7.8.1.9 Kleinstrukturen

Die Kleinstrukturen (Ast-, Lesesteinhaufen etc.) sind freizuschneiden und nach Bedarf zu erneuern bzw. zu ergänzen.

7.8.1.10 Erfolgskontrolle

Zur Beurteilung der durchgeführten Entwicklungsmassnahmen sowie zur Wirkungskontrolle von Pflege und Unterhalt wird die Durchführung einer Erfolgskontrolle (Monitoring) empfohlen. Die Pflegemassnahmen können dann bei Bedarf und in Abstimmung auf die ökologischen Zielsetzungen angepasst werden.

7.8.2 Technische Unterhaltsmassnahmen

Innerhalb der Planung der technischen Anlagen wurde die Zugänglichkeit für Unterhaltsmassnahmen berücksichtigt. Es sind für die folgenden technischen Anlagen Unterhaltskonzepte im Auflageprojekt zu erarbeiten:

- Einlaufbauwerk mit Wehrklappe
- Sedimentationsbecken mit Bypass
- Entlastungsstollen
- Auslaufbauwerk
- Drosselbauwerk
- Rückstauklappe
- Stützmauern
- Dämme
- Fischaufstiegshilfe Kobelbach, SBB Durchlässe Littenbach und Äächeli

7.8.3 Verhinderung Mobilisierung Schwemmholz und Schwemmgut

Die Mobilisierung von Schwemmholz und Schwemmgut im Projektperimeter, welches zusätzlich zum in den Projektperimeter eingetragen Material anfällt, muss beachtet werden. Beispielsweise ist für die Holzlagerung von Herrn Ritz (Berneck, Parzelle 30) eine allfällige Unterhaltsvereinbarung zur Lagerung von Holz in Gewässernähe abzumachen.

Die für die Revitalisierung im Gerinne selbst eingebauten Elemente sind so zu sichern, dass diese im Hochwasserfall nicht zu Verklausungen beitragen können.

Die Bäume und Sträucher, welche an und im Gerinne neu gepflanzt werden sind entsprechend zu sichern.

7.9 Werkleitungen

Die Werkleitungen wurden ermittelt und in den Bestandsplänen dargestellt. Diese Pläne werden durch die BPAG den einzelnen Werken zugestellt, damit diese die etwaigen Planungen abschätzen respektive beginnen können. Im vorliegenden Mandat sind keine Werkleitungsarbeiten enthalten. Diese werden in separaten Projekten durchgeführt.

8 Auswirkungen der Massnahmen

8.1 Siedlungen und Nutzungsflächen

Die Gewährleistung des Schutzes von Siedlungen und der landwirtschaftlichen Nutzflächen ist die Kernaufgabe des vorliegenden Projekts. In den Gemeinden Berneck und Au wird dieser durch die Umsetzung der umfassenden Massnahmen wesentlich erhöht.

Die Revitalisierung, innerhalb der Siedlungsräume nur begrenzt möglich, schafft einen deutlichen Mehrwert für die besiedelten Flächen. Zudem entsteht durch den naturnahen Ausbau der Gerinne im Retentionsraum und des Sedimentationsbeckens Klumpen ein grosses Naherholungsgebiet.

Durch die Umleitung des motorisierten Verkehrs über die bestehende Erschliessungsstrasse Industriegebiet Neufeld wird das Siedlungsgebiet Wees von Durchgangsverkehr befreit und die bestehende mangelhafte Einmündung in die Auerstrasse behoben.

Neben dem Schutz und der Strukturverbesserungen sind Auswirkungen auf die bestehenden Siedlungen und die Nutzflächen festzustellen. Der geplante Gerinneausbau, aber auch die Erstellung der Retentionsflächen haben einen grossen Platzbedarf zur Folge. Im Planungsprozess wurden unter Einbezug der Projektanstösser mehrere Iterationen durchgeführt, um den Eingriff in die bestehende Siedlungsstruktur so gut es geht gering zu halten und möglichst wenig Nutzflächen zu beanspruchen.

In den Landerwerbsplänen und im Beitragsplan werden die einzelnen Beanspruchungen aufgezeigt.

8.2 Natur und Landschaft

Die Landschaft zwischen Littenbach und Äächeli ist heute weitgehend „ausgeräumt“, strukturgebende Landschaftselemente sind abgesehen von wenigen Einzelgehölzen selten. Die Gewässer präsentieren sich heute überwiegend monoton-geradlinig und weisen einen geringen ökologischen Wert auf. Die vorgesehenen Massnahmen (Gewässeraufweitungen / -strukturen, Wiesenaufwertungen, Gehölzpflanzungen, etc.) führen hinsichtlich Ökologie, Längsvernetzung und Landschaftsbild zu einer erheblichen Aufwertung des Ist-Zustands.

Im Siedlungsgebiet prägen vor allem die Baumreihen die Gestalt des Littenbachs. Ein Grossteil dieser Bäume muss aufgrund der Gerinneaufweitungen gefällt werden. Die vorgesehenen Ersatzpflanzungen führen langfristig zu einem entsprechenden Ausgleich, allerdings ist eine mehrjährige Entwicklungsphase erforderlich, um einen vergleichbaren Zustand wiederherzustellen. Zudem sind durch die Neuerstellung der Ufermauern gewisse freiräumliche und ökologische Beeinträchtigungen (schlechtere Quervernetzung) zu erwarten. Mit den vorgesehenen Massnahmen, wie bspw. Bachzugänge in Form von Stufe in den Stützmauern und lokalen Aufweitungen können diese Auswirkungen deutlich reduziert werden.

Mit der Neuerstellung des Naturparks Kobel und der Offenlegung des Kobelbachs wird ein landschaftsökologischer Mehrwert geschaffen, der einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der ökologischen Vielfalt und zur Verbesserung der Vernetzung im Siedlungsraum leisten kann.

Genauere Angaben zu den landschaftsökologischen Auswirkungen sowie die Eingriffsbilanzierung sind dem UVB zu entnehmen.

8.3 Landwirtschaft

Das Gebiet Klumpen (westlich Littenbach) sowie die Flächen im Bereich der Retentionsflächen (Kloteren / Emseren / Wisen) sind als Fruchtfolgeflächen ausgeschieden und werden vielseitig landwirtschaftlich bewirtschaftet (acker- und futterbaulich). Die Auswirkungen des Hochwasserschutzprojekts auf die Fruchtfolgeflächen sind im UVB-Hauptuntersuchung (CSD Ingenieure AG) beschrieben. Die Details bezüglich Bodeneigenschaften, Nutzungseignung und Auswirkungen des Hochwasserschutzprojekts auf die Bodenfruchtbarkeit sind Inhalt des Berichts «Fachbereich Boden | Bodenkundliche Bestandsaufnahme und Bodenschutzkonzept» der Klaus Büchel Anstalt [48].

8.4 Gewässerökologie und Fischerei

Wird durch CSD Ingenieure AG bzw. FORNAT AG beschrieben.

8.5 Grundwasser

Auswirkungen des Projektes auf das Grundwasser wurden von der Dr. Bernasconi AG untersucht und in [50] festgehalten. Es werden unter anderem die nachfolgenden Aussagen gemacht, für weitere Informationen ist der Bericht [50] zu konsultieren.

»Permanent veränderte Grundwasserfliessverhältnisse oder Grundwasserspiegellagen werden im Endzustand nicht erwartet, da die Pegellagen im Gewässer und die hydraulischen Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser gegenüber heute nicht bleibend verändert werden. Wo die Bachsohle lokal neu im Bachschutt liegen wird, kann eine gegenüber heute grössere Durchlässigkeit der Bachsohle allerdings nicht gänzlich ausgeschlossen werden.» (Dr. Bernasconi AG, p. 21 [50])

Auf den Flächen innerhalb des Retentionsraumes findet im Hochwasserfall eine verstärkte Infiltration von Wasser in den Untergrund statt. Dadurch wird der Grundwasserspiegel beeinflusst [50]. Die Drainage im Bereich Kloteren ist in Dossier 5 «Meliorationsprojekt» behandelt.

Für den Bauzustand wurden ebenfalls durch die Dr. Bernasconi AG [50] die Risiken und kritischen Stellen erfasst, «Lokal und insbesondere entlang den Bachläufen werden für den Bauzustand kurzfristige Erhöhungen der Durchlässigkeit der Bachsohle erwartet. Diese sind aber nur dort als kritisch zu beurteilen, wo im Normalfall grössere Potenzialdifferenzen zwischen dem Grundwasserspiegel und dem Wasserpegel im Gerinne vorliegen und die Bautätigkeiten in der Tiefe bis in die besser durchlässigen Schichten des Bachschutts bzw. die Rheinschotter eingreifen.» (Dr. Bernasconi AG, p. 26 [50])

8.6 Waldwirtschaft

Der Projektperimeter umfasst keine Waldgebiete, sodass dieser Abschnitt aus der BAFU Handbuch Checkliste zu Revitalisierungen GSchG vorerst nicht behandelt wurde.

8.7 Siedlungswasserwirtschaft

Dieser Abschnitt stammt ebenfalls aus der BAFU Handbuch Checkliste zu Revitalisierungen GSchG und beinhaltet bspw. Wasserqualität, Trinkwasserversorgung, etc.

Wird evtl. durch CSD Ingenieure AG beschrieben und gegebenenfalls innerhalb des Brücken- und Strassenprojektes ergänzt.

9 Verbleibende Gefahren und Risiken

9.1 Gefahren- und Intensitätskarten

Gemäss aktueller Information durch Reto Walser Bänziger Partner AG, BHU werde die Gefahren- und Intensitätskarten nach der Vernehmlassung des vorliegenden Bauprojekts in einem separaten Projekt/Auftrag erstellt.

9.2 Überlastszenarien

Neben den Gerinneausbauten, sind der Entlastungsstollen und die Retentionsräume die massgebenden Hochwasserschutzelemente. Deren systembedingte Eigenschaften geben die Art und Weise der Überlastfähigkeit vor.

9.2.1 Retentionsflächen

Die Retentionsflächen 1+2 sind auf ein HQ_{100} (SZ5) ausgelegt. Ereignet sich ein grösseres Hochwasser, bis maximal HQ_{300} (SZ6), wird die Retentionsfläche Überlastfall beaufschlagt und in allen Retentionsflächen (1+2+Ü) kann der Wasserspiegel weiter ansteigen. Steigt der Wasserspiegel noch weiter an ist eine kontrollierte Ableitung über die in Abbildung 9-1 dargestellte Überfallsektion in Landwirtschaftsland sichergestellt. Damit werden die umliegenden bebauten Gebiete mit deutlich höherem Schadenpotential zunächst geschützt. Reicht die Kapazität der 100 m langen Überfallsektion nicht aus, wird gleichmässige über alle Dämme und Mauern welche als Berandung der Retentionsflächen dienen entlastet. Das System der Retentionsflächen wird daher als überlastfähig respektive gutmütig reagierend eingestuft. Ein schlagartiges Versagen tritt nicht auf.

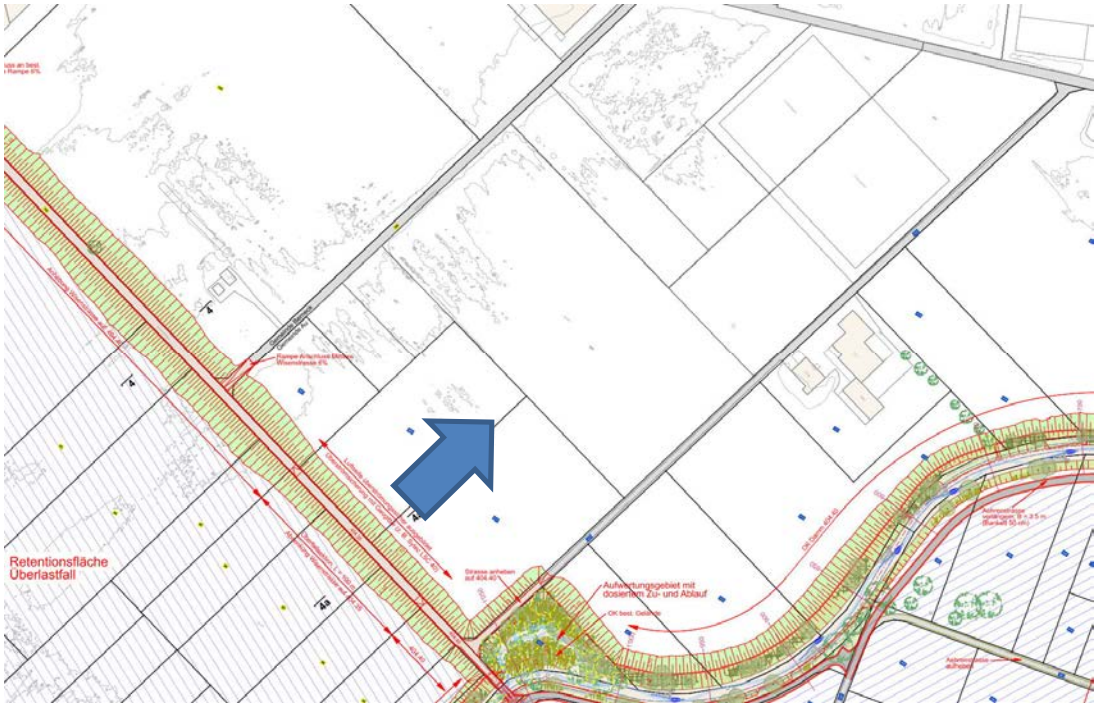


Abbildung 9-1: Überfallsektion Retentionsfläche Überlastfall

Im Rahmen der 2D numerischen Simulation wurde dieses Szenario im SZ7 geprüft. Die Dammkrone der Überfallsektion wurde 5 cm tiefer (404.35 m ü. M) festgelegt, um ein kontrolliertes Entlasten zu gewährleisten.

9.2.2 Versagen einzelner Hochwasserschutzelemente

Das Konzept des Hochwasserschutzes besteht im Wesentlichen aus dem Gerinneausbau am Littenbach und der Überleitung in die Retentionsflächen Kloteren.

Funktioniert die Trennung im Sammler Schlossbrugg nicht respektive kann weniger bis kein Abfluss in den Entlastungstollen geleitet werden, wird der Durchlass Tramstrasse und das ausgebaute Littenbachgerinne deutlich stärker beaufschlagt. Ein kleiner Teil kann innerhalb des Freibords abgeleitet werden. Schlägt der Durchlass Tramstrasse zu und es kommt oberhalb zu Ausuferungen. Betroffen sind zum Grossteil besiedelte Gebiete. Die Ausuferung erfolgt nicht schlagartig.

Wird jedoch mehr Abfluss als geplant (Dimensionierungsabfluss HQ_{100}=27 m^3/s und Überlastfall HQ_{300}=42 m^3/s) in den Entlastungsstollen geleitet bzw. kommt es zu einer Abflussbeaufschlagung grösser als im Schutzziel bzw. als Dimensionierungsgrösse festgelegt, kann der Stollen "zuschlagen". Das bedeutet, dass die Stosswellen die Stollendecke erreichen und eingeschlossene Luft den Abfluss behindert. Das bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Kapazität merklich abnimmt. In dieser Ausnahmesituation ist die Abfuhr eine EHQ-Abflusses denkbar. Jedoch wirken auf die Stollenwand signifikante Druckschwankungen, welche bei der Bemessung der Stollenauskleidung berücksichtigt sind. Kann also der grössere Abfluss im Überlastfall nicht durch die steigende Kapazität via Entlastungsstollen abgeführt werden, ändert sich die Trenncharakteristik im Sammler und mehr Abfluss wird in Richtung Littenbach abgeleitet. Durch die beschriebene Umlagerung bzw. Ableitung reagiert das System gutmütig, ein schlagartiges Versagen tritt nicht auf.

Das Drosselbauwerk, am unteren Ende der Retentionsflächen ist essentiell für deren Beaufschlagung und Funktionalität. Dieser wichtigen Funktion folgend sind die Anlagenteile redundant bzw. gemäss n-1 Regel ausgelegt. Das bedeutet, dass bei Versagen eines Schützes der Bemessungsabfluss über die beiden anderen Schützen abgeführt werden kann. Kommt es hingegen zu einer Verlegung durch Schwemmholz oder Treibgut ist die Drosselwirkung evtl. zu gross. Das führt zu einer früheren Beaufschlagung der Retentionsfläche Überlastfall und auch der Überfallsektion. Die kontrollierte Entlastung via Überlastsektion könnte damit deutlich mehr abführen, was zu einer früheren Überschwemmung und Übersaarung der Landwirtschaftsflächen und folgend auch der besiedelten Gebiete in Richtung Littenbach führt. Das passiert jedoch nicht schlagartig, sondern kontinuierlich.

Für die diskutierten Szenarien des Überlastfalls ist in Zusammenarbeit mit der Feuerwehr ein Notfallkonzept zu erarbeiten.

10 Bauprogramm

10.1 Grobbauprogramm

Im Zusammenhang mit der Erstellung des Kostenvoranschlags für das Dossiers Wasserbau ist ein detailliertes Bauprogramm entwickelt worden. Ein Überblick respektive das Grobbauprogramm, reduziert auf die wenigen Sammelvorgänge, ist in Abbildung 10-1 dargestellt. Das detaillierte Bauprogramm bildet dessen Basis und ist aufgrund der Anzahl an Vorgängen im Anhang D zu finden.

Die zeitlichen Abläufe der Teilprojekte Strassenbau und Brückenbau sind dabei noch nicht berücksichtigt. Im detaillierten Bauprogramm sind die Brücken in den Bachabschnitten bereits als Vorgang vorhanden. Deren Abhängigkeiten sind zu bestimmen.

Abbildung 10-1: Grobbauprogramm mit Sammelvorgängen

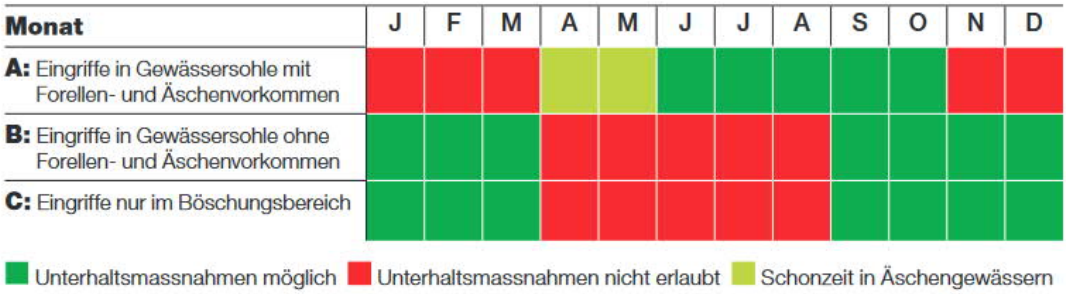


Abbildung 10-2: Eingriffs- und Schonzeiten für Unterhaltsmassnahmen in und am Gewässer [3]

Vor Beginn der Erstellung des Bauprogramms wurden Abklärungen bezüglich relevanten Fischschonzeiten und bekannten Hoch- bzw. Niederwasserphasen des RBKs gemacht. In Abbildung 10-2 sind die Eingriffs- und Schonzeiten für Unterhaltsmassnahmen (mit Ausnahme von Mäharbeiten an Böschungen und Neophytenbekämpfung) in und an Gewässern aufgezeigt. Von den relevanten Fischarten kommen im Projektperimeter primär Bach-, See- und Regenbogenforelle mit grosser Häufigkeit vor und die meisten Fische sind allgemein im Littenbach zu finden. Deshalb wurden die Fischschonzeiten der Forellenarten ins Bauprogramm miteinbezogen und sind dementsprechend im Verlauf der weiteren Projektierung zu berücksichtigen.

Die Fischschonzeit ist keine fixe Randbedingung. Es ist evtl. eine Lösung anzustreben, bei der das Gewässer ausgefischt wird und die grösseren Abschnitte innerhalb kurzer Zeit ausgeführt werden können. Eine Absprache mit dem ANJF ist notwendig.

Des Weiteren wurde basierend auf den aktuellen hydrologischen Daten des BAFU von der Messstation St. Margarethen (2139) am RBK analysiert, ob im RBK eine charakteristische Abflussjahresganglinie erkennbar ist. Anhand der Daten der letzten 20 Jahre konnten keine charakteristischen Niederwasser- oder Hochwasserperioden im Jahresverlauf festgestellt werden, weshalb diese im Bauprogramm nicht weiter

berücksichtigt werden. Da der Wasserspiegel in den Gewässern im Projektperimeter sehr stark vom Wasserspiegel im RBK und dem daraus folgenden Rückstau abhängt, muss die vom RBK ausgehende Hochwassergefahr während der Detailplanung der Bauphase aus Sicherheitsgründen zwingend berücksichtigt werden.

Für den Gerinneausbau wurde für eine allgemeine 50 m lange Bauetappe je eine Referenzzeitdauer für die Erstellung der Stützmauer, der Bach- und Böschungsgestaltung sowie der Sohlstrukturierung bestimmt. Basierend auf diesen Werten und der Abschnittsmetrierung konnte dann die benötigte Bauzeit pro Gerinneabschnitt bestimmt werden. Die Vorgangsverknüpfungen wurden so gewählt, dass drei Equipen gleichzeitig arbeiten, wobei je eine die Stützmauer, die Bach- und Böschungsgestaltung und die Sohlstrukturierung übernimmt. Es wurde angenommen, dass diese drei Teilaufgaben innerhalb desselben Abschnitts nacheinander erledigt werden. Des Weiteren wurde angenommen, dass die Stützmauerequipe nach Fertigstellung eines Abschnitts direkt mit dem Nächsten beginnt. Die erforderliche Zeit für Baumrodungen wurde nicht separat erfasst, sondern in der Bauzeit pro Gerinneabschnitt mitberücksichtigt.

Entsprechend dem Grobterminplan der Bänziger Partner AG wurde der Baubeginn provisorisch auf Anfangs Oktober 2023 angesetzt und eine sinnvolle Etappierung der Teilprojekte vorgenommen. Ein Schlüsselpunkt in der Erstellung des Bauprogramms stellt der Durchlass Tramstrasse direkt nach dem Geschiebesammler Schlossbrugg am Littenbach dar. Während der baulichen Anpassung des Durchlasses ist mit einer bedeutenden Verengung des Gerinnequerschnitts zu rechnen, was bedeutende negative Auswirkungen auf das Bauhochwasser mit sich zieht. Folglich müssen bis zum Beginn der Bauarbeiten am Durchlass Tramstrasse der Entlastungsstollen, der Gerinneausbau des Äächelis, das Drosselbauwerk und die Retentionsflächen inkl. sämtlichen Dämmen fertig gestellt sein. Dies ermöglicht während der Bauphase des Durchlasses Tramstrasse eine Umleitung etwaiger Hochwasser des Littenbachs durch den Entlastungsstollen in das EZG des Äächelis. Kleinere Abflüsse werden via Bauumleitung in Rohren weiterhin im Littenbach abgeführt. Diese zwingende Randbedingung wurde bei der Erstellung des Bauprogramms in Form von mehreren Vorgangsabhängigkeiten berücksichtigt.

Des Weiteren gilt es zu erwähnen, dass der kontinuierliche Gerinneausbau des Littenbachs alleine eine Bauzeit von über sieben Jahren beanspruchen würde, weshalb ein Entscheid für eine zweigeteilte parallele Erstellung gefasst wurde. Dementsprechend beginnen laut dem provisorischen Bauprogramm die Bauarbeiten an vier Stellen gleichzeitig und zwar dem unteren Voreinschnitt des Entlastungsstollens, am oberen Ende des Hinterburgbachs in Richtung flussabwärts und beim SBB-Durchlass sowie beim Sedimentationsbecken am Littenbach in Richtung flussaufwärts.

Die aktuelle ausgewiesene Gesamtbauzeit beträgt rund 4.5 Jahre.

Durch Parallelisierung bspw. der Arbeiten im Littenbach 0-990 liesse sich die Bauzeit noch um gut ein weiteres Jahr verkürzen. Jedoch steigt die Belastung durch bspw. Lärm- und Verkehrsemissionen deutlich an und wird daher nicht empfohlen.

Das Bauprogramm ist nicht auf Drittprojekte abgestimmt. Ebenso liegt den Planern aktuelle kein Verkehrskonzept respektive Aussagen zu Verkehrsaufkommen und möglichen Umleitungen vor.

10.2 Installationsflächen

Im Rahmen der Erstellung des Bauprogramms wurden auch geeignete Installationsflächen ermittelt und untersucht. Sämtliche potenziell geeigneten Flächen sind in Tabelle 10-1 aufgeführt und in Abbildung 10-3 und Abbildung 10-4 eingezeichnet.

Tabelle 10-1: Informationen zu den möglichen Installationsplätzen für die einzelnen Gewässerabschnitte des Littenbachs und Äächelis.

Abschnitt [m]	Parzellennummern	Fläche [m²]	Gemeinde	Nutzungszone
Littenbach				
0 - 180	1743,	990	Au	WG3
180 - 430	52, 1795 (Spielplatz)	1090	Au	Oe BA, WG3
	2102	600	Au	WG3
430 - 700	100 (nicht am Gew.)	950	Au	Oe BA
700 - 990	193	1250	Au	Oe BA
	307	840	Au	Oe BA
990 - 1595	1862	700	Au	W2b
	1861	980	Au	W2b
	1858	1400	Au	W2b
	113	3300	Berneck	L
1595 - 1890	1874	3900	Berneck	GI B
	123	2600	Berneck	L
1890 - 2295	1082	1100	Berneck	GI B
2295 - 2513	190	1850	Berneck	W2b, W3
2513 - 2700	62	4100	Berneck	Oe BA
	225	450	Berneck	ueG RF
Äächeli				
0 - 180	2356	3800	Au	GI A, GI B
180 - 610	447	440 / 880	Au	WG2
610 - 1060	476, 478, 1281, 1280	3900	Au	L
1060 - 1360	99, 100, 101	2650	Berneck	L
1360 - 1995	70	3000	Berneck	L
	737, 1036	3100	Berneck	L, ueG
	30	4500	Berneck	L
	8	1850	Berneck	L, ueG RF

Oe BA	Zone für öffentliche Bauten und Anlagen
W2b	Wohnzone W2b
WG2	Wohn- und Gewerbezone WG2
WG3	Wohn- und Gewerbezone WG3
GI A	Gewerbe- und Industriezone GI A
GI B	Gewerbe- und Industriezone GI B
L	Landwirtschaftszone
ueG	übriges Gemeindegebiet allgemein
ueG RF	übriges Gemeindegebiet Restfläche

Die konkrete Selektion der Installationsplätze erfolgt in Absprache mit dem Auftraggeber und dem Eigentümer im Auflageprojekt. Ein Hauptinstallationsplatz wird als nicht sinnvoll betrachtet, sondern es wird empfohlen pro Abschnitt Installationsflächen von mind. 1000 m^2 zur Verfügung zu stellen. Einzig in der Nähe des Voreinschnitts für den Entlastungsstollen und beim Sedimentationsbecken am Littenbach sind jeweils grössere Installationsflächen empfehlenswert.

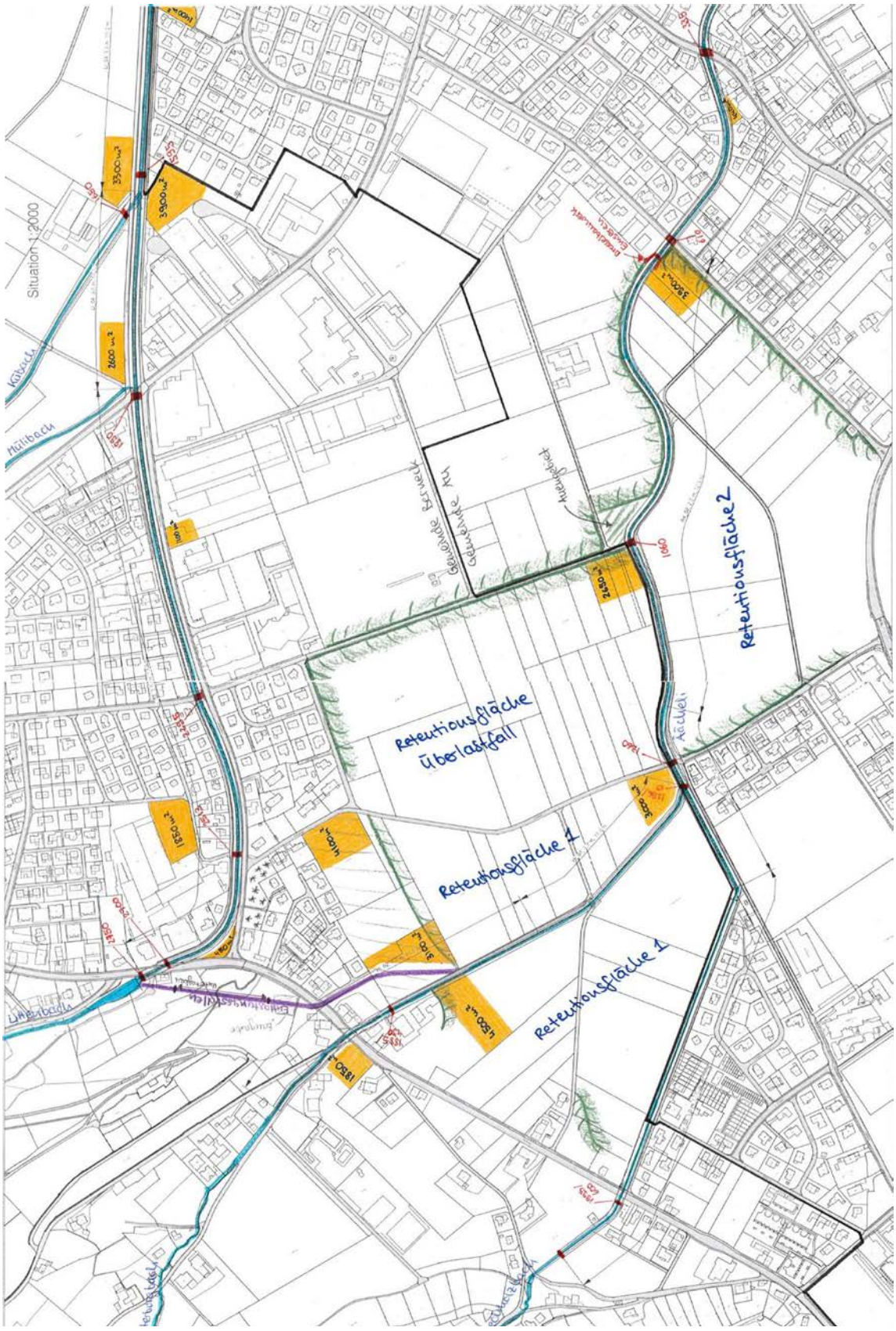


Abbildung 10-3: Situationsplan mit markierten potenziellen Installationsflächen (Teil 1)

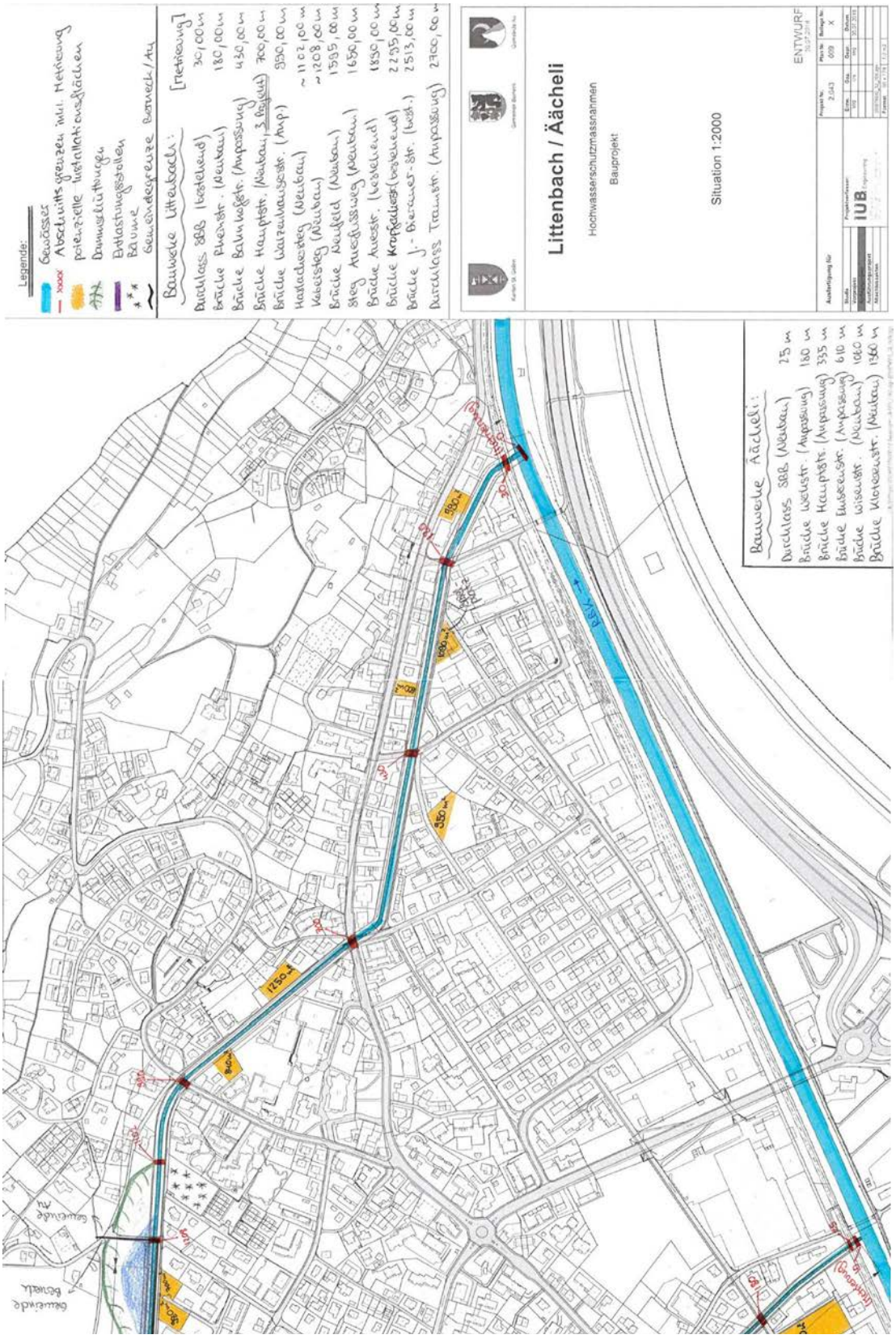


Abbildung 10-4: Situationsplan mit markierten potenziellen Installationsflächen (Teil 2)

11 Kostenvoranschlag

Preisbasis Dezember 2019 / Kostengenauigkeit +/- 10%

Der detaillierte KV ist in Dokument 01-002 ersichtlich.

Anhang A Massnahmenplanung

Anhang A.1 Entlastungsstollen: Statische Berechnungen

Anhang A.1.1 Grundlagen und Kennwerte

Die Felskennwerte stammen aus dem Bericht 11938-10 «Entlastungsstollen Rosenberg, Ergänzende Sondierungen» von Dr. von Moos, verfasst am 25. März 2019. Die ermittelten Werte sind in den nachfolgenden Tabellen aufgelistet. Es handelt sich um Minimal- und Maximalwerte, welche die wahrscheinliche Streuung der Baugrundeigenschaften innerhalb der betreffenden Schicht beschreiben.

Tabelle Anhang A-1: Kennwerte Lockergestein

Lockergestein	γ_e [kN/m^3]	ϕ' [°]	c' [1)] [kN/m^2]	M_E [MN/m^2]	M_E' [MN/m^2]
Hangschutt/-lehm, künstliche Aufschüttung	18 ÷ 20	28 ÷ 34	0	2 ÷ 10	–
Rutschmasse	17 ÷ 19	24 ÷ 30	0	1 ÷ 5	–
Bachschutt	19 ÷ 21	32 ÷ 38	0	25 ÷ 50	≥ 80
Verlandungs- und Überschwemmungssed. [2)]	17 ÷ 19	26 ÷ 32	0	2 ÷ 5	10 ÷ 20
Delta- und Bachablagerungen	19 ÷ 21	30 ÷ 36	0	15 ÷ 30	≥ 60
Moräne	20 ÷ 22	28 ÷ 34	0 (÷ 5)	15 ÷ 30	≥ 60
Verwitterter Fels	23 ÷ 25	25 ÷ 40	0 (÷ 20)	–	> 100

[1 kN/m^3 = 0.1 t/m^3] / [1 MPa = 1000 kN/m^2 = 100 t/m^2] / [1 N/mm^2 = 1 MN/m^2 = 10 kg/cm^2]

Legende:

γ_e = (Feucht-)Raumlast
φ' = effektiver Winkel der inneren Reibung
c' = effektive Kohäsion
M_E = Zusammendrückungsmodul, Erstbelastung
M_E' = Zusammendrückungsmodul, Wiederbelastung

1) In den Lockergesteinsschichten vorhandene Kohäsionsanteile des Bruchwiderstandes können durch Austrocknung, Durchnässung, mechanische Beanspruchung, grössere Deformationen erheblich reduziert werden oder sogar ganz verloren gehen. Eine Kohäsion darf nur zusammen mit ϕ'_{min} berücksichtigt werden.

2) Die Eigenschaften der Verlandungssedimente werden stark durch den Anteil und Zustand der organischen Substanz beeinflusst. Für reinen Torf wäre ein Raumgewicht von ca. γ = 10 ÷ 11 kN/m^3 und ein M_E-Wert von ca. 0.5 ÷ 1.0 MN/m^2 zu berücksichtigen.

Für die Kennwerte der Festgesteine sind zusätzlich zu den Maximal- und Minimalwerten die Laborresultate in Klammern aufgeführt.

Tabelle Anhang A-2: Kennwerte Festgestein

Festgestein, unverwittert	γ_e [kN/m^3]	ϕ' [°]	c' [1)] [kN/m^2]	σ_z [MN/m^2]	σ_d [MN/m^2]	E [GN/m^2]
a) Sandstein	25 ÷ 27 [25.0, 27.0]	–	–	5 ÷ 15 [4.8, 11.6]	50 ÷ 150 [66.9, 171.2]	10 ÷ 50 [24.3, 44.1]
b) Siltstein	25 ÷ 27 [26.5]	–	–	2.5 ÷ 10 [9.0]	25 ÷ 75 [53.9]	5 ÷ 25 [22.0]
c) Tonstein, Mergel	24 ÷ 26 [23.9]	–	–	0.5 ÷ 2.5 [0.5]	2.5 ÷ 25 [3.5]	1 ÷ 10 [1.3]
Trennflächen: in a + b	–	30 ÷ 45	10 ÷ 50	–	–	–
Trennflächen: in c Fels-	–	20 ÷ 35	10 ÷ 50	–	–	–
oberfläche: a, b + c	–	20 ÷ 30	5 ÷ 25	–	–	–

Legende:

γ_e = (Feucht-)Raumlast
φ' = effektiver Winkel der inneren Reibung
c' = effektive Kohäsion
σ_z = Spaltzugfestigkeit
σ_d = Zylinderdruckfestigkeit
E = Elastizitätsmodul

1) Die in Trennflächen / an der Felsoberfläche vorhandenen Kohäsionsanteile des Bruchwiderstandes können durch Austrocknung, Durchnässung, mechanische Beanspruchung und insbesondere durch grössere Deformationen erheblich reduziert werden oder sogar ganz verloren gehen. Eine Kohäsion darf für den Tonstein und Mergel nur zusammen mit ϕ'_{min} berücksichtigt werden.

Der Stollen liegt im Fels der unteren Süsswassermolasse. Im Untersuchungsperimeter handelt es sich vorderhand um die Speer-Schüttung, die vorwiegend aus Quarz- und Kalksandsteinbänken mit Zwischenlagen aus Mergel und Nagelfluh besteht. Anlässlich der ergänzenden Kernbohrungen wurde auf der Seite Gibel bei B1/18 überwiegend fein- und grobkörniger Sandstein und auf der Seite Schlossbrugg bei B2/18 eine Abfolge von feinkörnigem Sand- und Siltstein sowie Mergel erbohrt.

Abbildung Anhang A-1: Längenprofil

Der Stollen liegt auf der ganzen Untertagebaustrecke im Fels der unteren Süsswassermolasse welche aus einer Wechsellagerung aus Sandstein- und Mergelschichten besteht. Die Schichtstärken können wenige Dezimeter bis mehrere Meter betragen. Gemäss Auskunft von U. Jörin (30.04.2019) können die Kernbohrungen als Grund-

lage für die Abschätzung der Schichtabstände genutzt werden. Es kommen dementsprechend vorwiegend Sandsteinbänke (0.6 bis 2 m mächtig) vor. Nur untergeordnet sind Siltstein und Mergellagen vorhanden (0.1 bis 0.6 m Mächtigkeit).

Aufgrund der Sondierbohrungen B1/18 und B2/18 wird folgende Annahme getroffen:

Der Fels der unteren Süsswassermolasse besteht aus 80% Sandstein und je 10% Siltstein und Mergel.

Anhang A.1.2 Resultate

Der Stollen wird als Hufeisenprofil mit einer lichter Breite von 2.8 m und einer lichten Höhe von 2.8 m ausgeführt (Abbildung Anhang A-2). Im Modell beträgt die Breite sowie die Firsthöhe je 3.4 m. Mit diesen Abmessungen kann eine Ausbruchsicherung von bis zu d = 0.3 m abgebildet werden. Die Berechnungen der Stollenstatik erfolgten mit der Software Z-Soil v18.

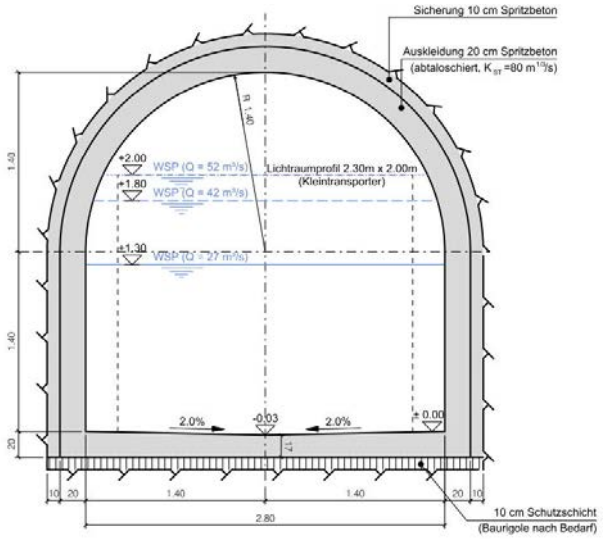


Abbildung Anhang A-2: Normalprofil des Entlastungsstollens im Untertagbau

Die Dimensionierung der Ausbruchsicherung erfolgte am Schnitt mit der maximalen Überdeckung (ca. Stm 153). Die Überprüfung der Ausbruchsicherung erfolgte unter Annahme einer Vorentlastung von 10 % resp. 30 %. Das Multilaminate Modell wurde mit Unterer Süsswassermolasse als Kontinuum und unter Beachtung der Schichtung (Abbildung Anhang A-3, links) erstellt. Für die Berechnungen wurden die untenstehenden Parameter verwendet:

- Spritzbetonschicht — d = 10 cm, E = 22 GPa
- Bewehrung — K335, einlagig
- Untere Süsswassermolasse
  - o Kontinuum mit guten Kennwerten — E = 11.5 GPa, φ' = 38°, c' = 4 MN/m^2, σ_Z = 2 MN/m^2
  - o Schwache Richtung mit schlechten Kennwerten — φ' = 20°, c' = 10 kN/m^2

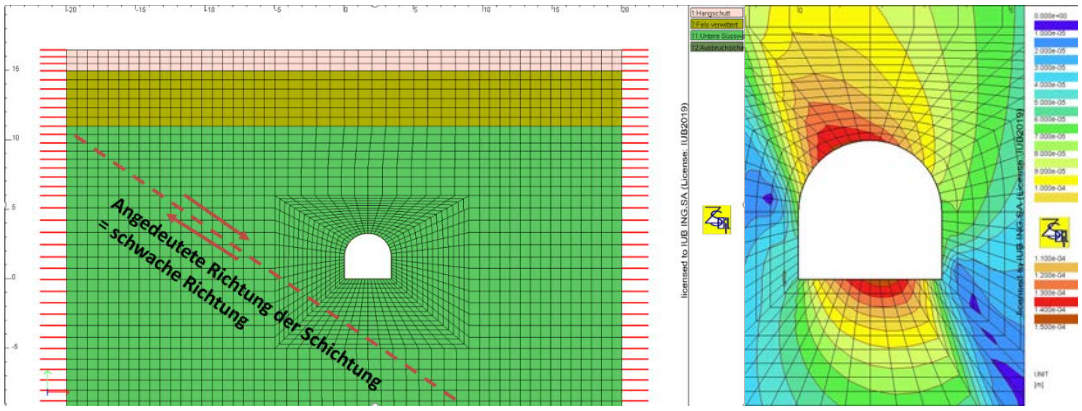


Abbildung Anhang A-3: Multilaminate Modell des Tunnelquerschnitts (links) und berechnete Verformungen für Ausbruchsicherung (rechts)

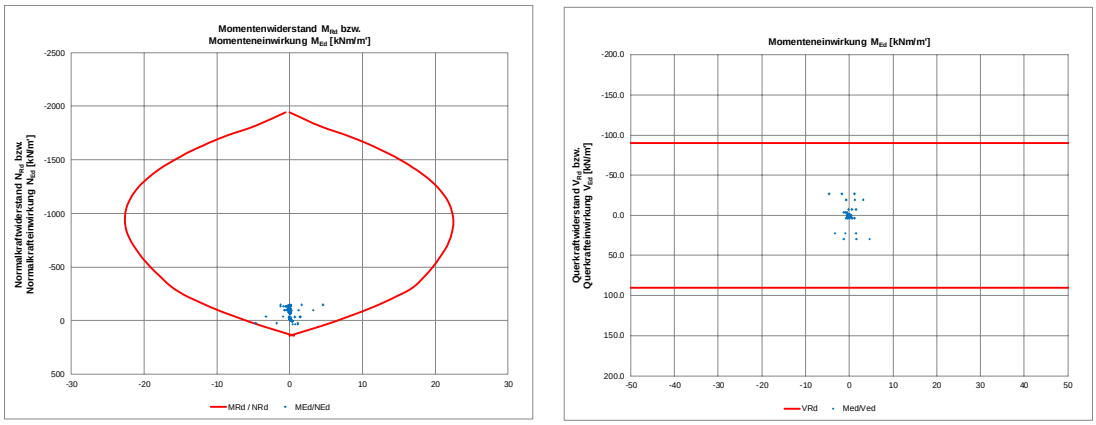


Abbildung Anhang A-4: Momenten-Normalkraft-Diagramm (links) und Momenten-Querkraft-Diagramm (rechts) für Ausbruchsicherung

Gemäss den Berechnungen resultieren für den betrachteten Querschnitt und einer Vorentlastung von 10 % vor Einbau der Ausbruchsicherung folgende Verformungen und Belastungen:

- Verformungen total < 0.2 mm
- Verformungen Spritzbetonschale < 0.15 mm
- Maximale Druckkraft 125 kN
- Maximales Biegemoment < 5 kNm
- Maximale Querkräfte < 25 kN, in der Betonschale ~ 0 kN

Mit der gewählten Ausbruchsicherung erfolgen geringe Verformungen. Die Ausbruchsicherung ist stark belastet, die Tragfähigkeit ist aber ausreichend (Abbildung Anhang A-4). Unter Betrachtung der Vorentlastung um 30 % treten Verformungen im ähnlich kleinen Bereich auf, die Belastung auf die Spritzbetonschale wird dadurch aber reduziert.

Anhang A.2 Stützmauern: Statische Berechnung

Die Dimensionierung der Stützmauern erfolgte an massgebender Stelle (150 m, Abbildung 7-43), wie auch für eine niedrigere Mauerhöhe. Für den zweit genannten Fall wurde stellvertretend der Querschnitt bei 600 m verwendet. Die Berechnungen erfolgten mit der Software Larix-7 (Cubus AG). Neben den Versagensmechanismen Kippen, Gleiten und hydraulischer Grundbruch wurden ebenfalls die maximale Verdrehung betrachtet. Die für die Berechnung verwendeten Parameter sind in Tabelle Anhang A-3 zusammengefasst.

Neben den Einwirkungen Eigenlast und Erddruck, wurden auch die Einwirkungen Wasserdruck und Nutzlast berücksichtigt. Die Bodenkennwerte sowie die Lage des Grundwasserspiegels wurden basierend auf der Baugrunduntersuchung von Dr. von Moos (2018) angesetzt. Die Berechnungen erfolgten einerseits unter Annahme der geplanten Querschnittsabmessungen und andererseits am Querschnitt mit erodierter Sohle. Aufgrund der Abflussverhältnisse wurde eine maximale Erosionstiefe von 20 cm angenommen. Über weite Strecken grenzen Gärten an die Stützmauer. Zwischen km 0.700 und 1.025 verläuft die Strasse Friedhofweg entlang der Mauer. Als konservative Annahme wurde die Strassenverkehrslasten ebenfalls in den betrachteten Querschnitten angesetzt. Mit dieser Annahme sind mögliche Gartenarbeiten abgedeckt. Als Nutzlast wurden für beide Querschnitte eine charakteristische Strassenverkehrslast von 12 kN/m^2 eingesetzt. Dieser Wert resultiert gemäss Lastmodell 1 (SIA 261 10.2.2.8) für eine Mauerhöhe von ca. 6 m und ungenutzter Fläche im Abstand von 2 m ab Mauerkrone. Für geringere Mauerhöhen resultieren geringere Nutzlasten, entsprechend wurde der Querschnitt km 0.600 konservativ behandelt.

Tabelle Anhang A-3: Verwendete Parameter

Parameter			
Eigenlast		γ [kN/m^3]	
	Beton, bewehrt	25	
Boden		γ [kN/m^3]	φ [°]
M1	Überschwemmungssedimente	18	29
M2	Auffüllung	20	33
M3	Bachablagerungen	20	33
Lasten		γ [kN/m^2]	γ [kN/m^3]
	Auflast (Strassenverkehr)	12	-
	Wasser	-	10

Die resultierenden Querprofile sind in Abbildung Anhang A-5 für km 0.150 und in Abbildung Anhang A-6 für km 0.600 abgebildet. In einem ersten Schritt wurde das Querprofil für h = 6.00 m dimensioniert. Das Querprofil für h = 4.00 m resultiert aus einer Vereinfachung und Optimierung des Profils km 0.150. In beiden Fällen sind die Nachweise für Kippen, Gleiten und hydraulischen Grundbruch erfüllt und die resultierenden Verdrehungen liegen im zulässigen Bereich.

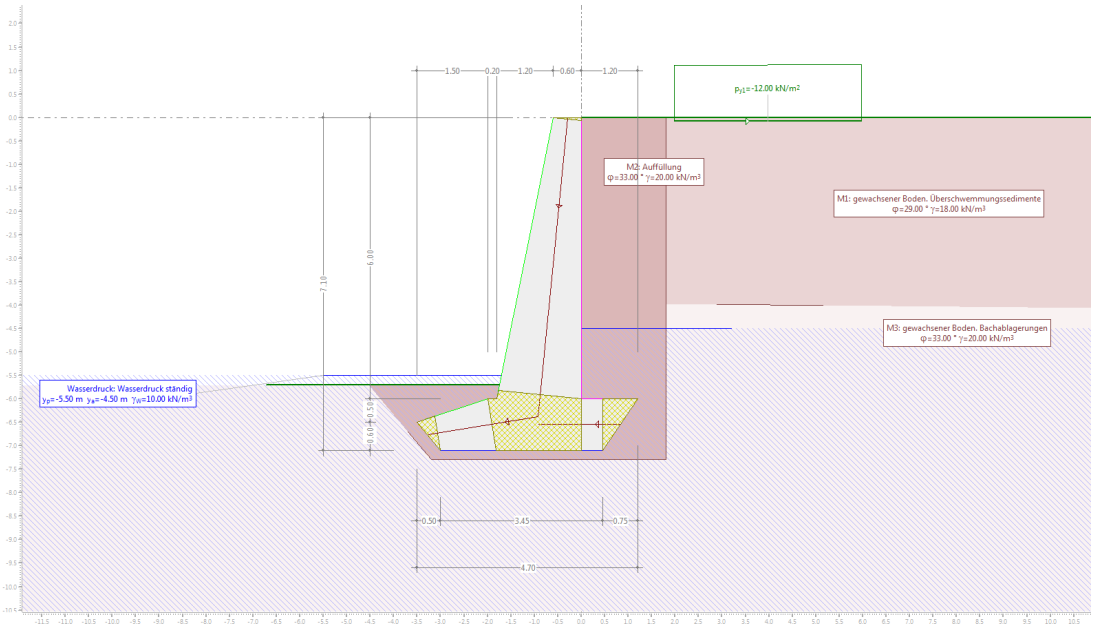


Abbildung Anhang A-5: Stützmauerquerschnitt km 0.150

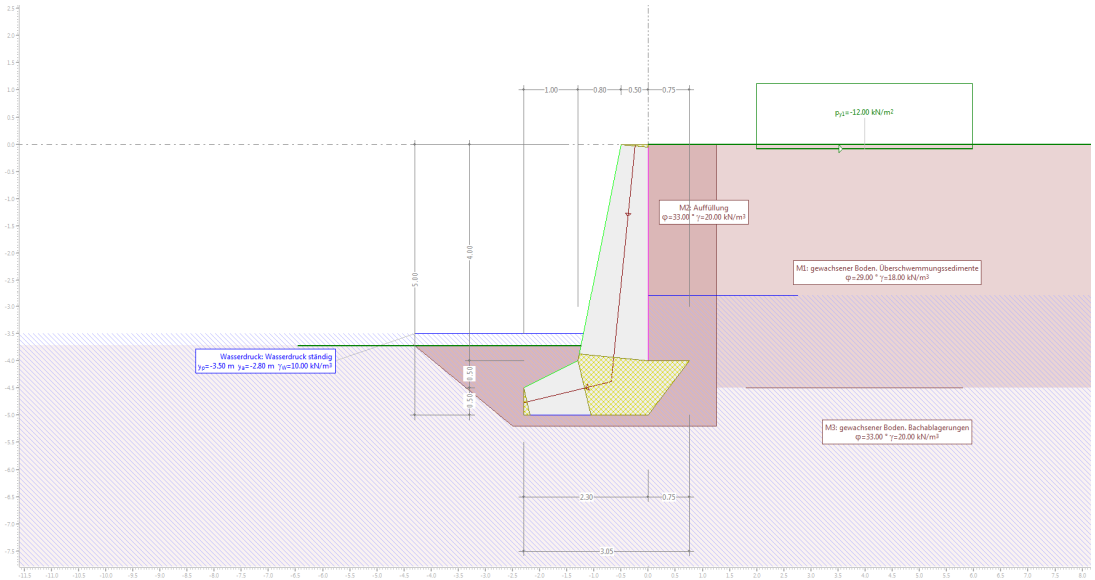


Abbildung Anhang A-6: Stützmauerquerschnitt km 0.600

Anhang A.3 Alternative Bauverfahren Stützmauer Littenbach

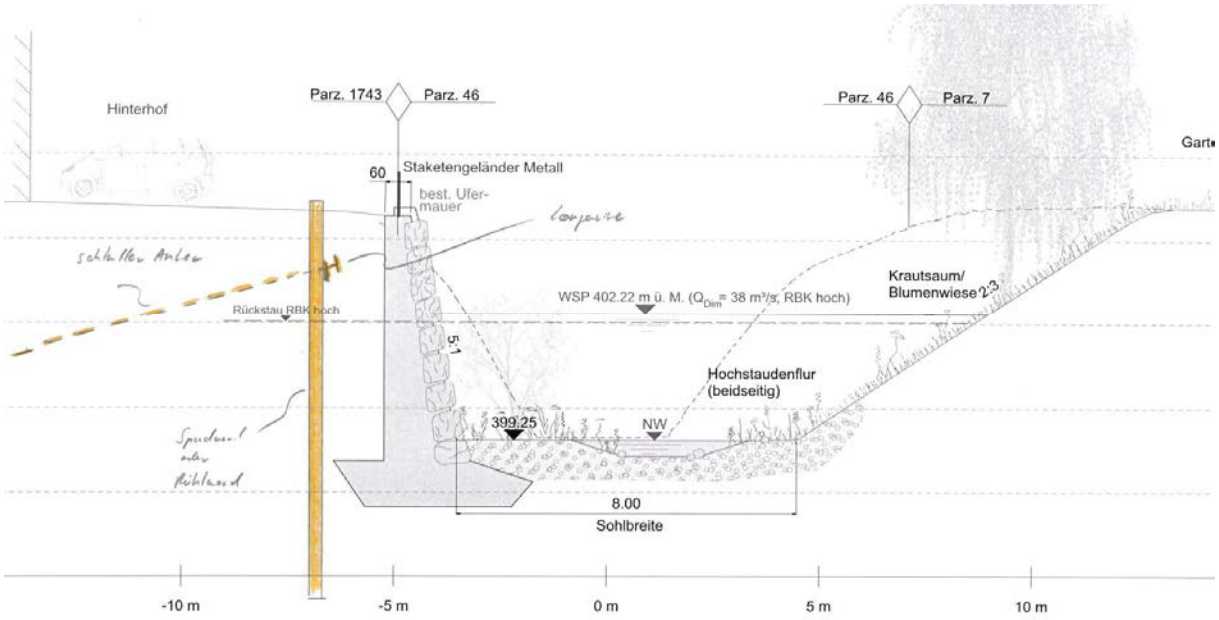
Die bauliche Massnahmenplanung am Littenbach sieht wo immer möglich eine Gerinneaufweitung vor. Aufgrund der örtlichen Platzverhältnisse und der hydraulischen Anforderungen sind an diversen Stellen Stützmauern als Ufersicherung unumgänglich. Dies betrifft insbesondere den Littenbach im Siedlungsgebiet im Abschnitt 1'100 bis 32 m. Zum einen gestaltet sich die Ufersicherung aus einer einseitigen kombinierten Winkelstützmauer und reiner Gewichtsmauer und einer Uferböschung auf der anderen Gewässerseite. Zum anderen sind in den Abschnitten mit stark beengten Platzverhältnissen beidseitig eine starr, konstruktive Ufermauern notwendig.

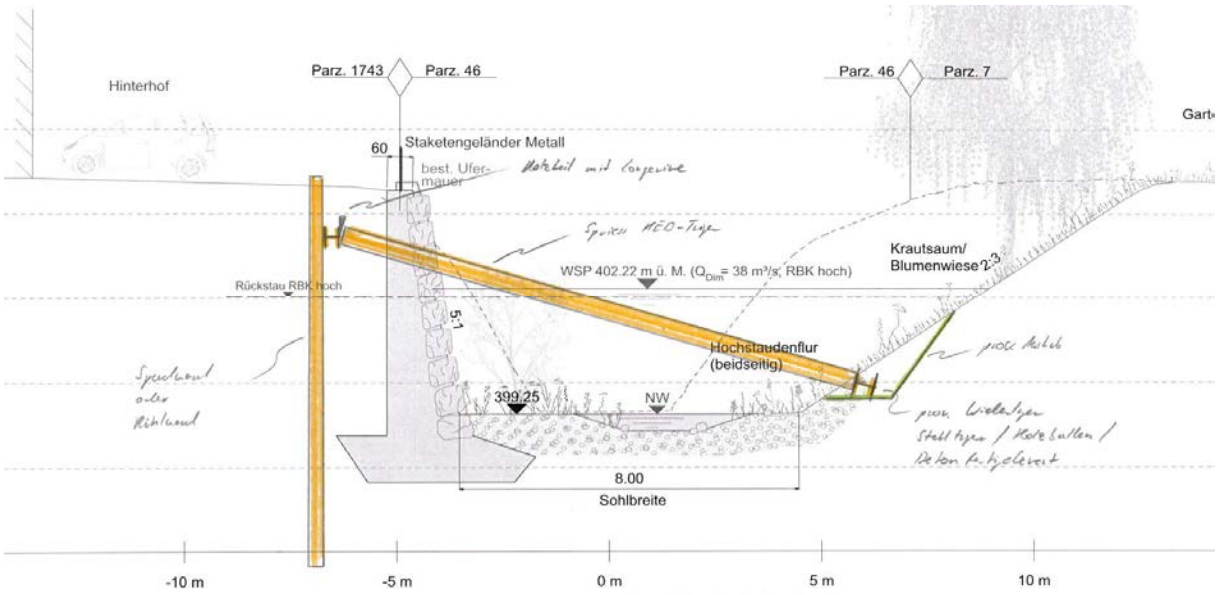
Alternativ sind für den Bau der Stützmauer die folgenden Verfahren vorstellbar und müssen je nach örtlicher Gegebenheit in der Ausführungsplanung geprüft und ggf. angewendet werden.

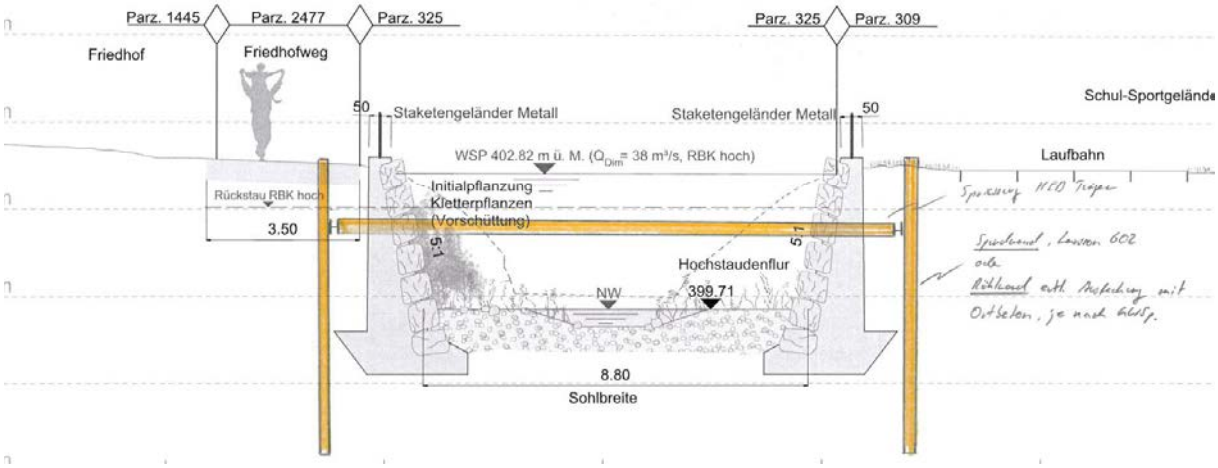
Anhang A.3.1 Einfach abgestützter vertikaler Baugrubenabschluss:

Als vertikaler Baugrubenabschluss kann eine Rühl- oder Spundwand in Betracht gezogen werden. Je nach den gegebenen Bodenverhältnissen und erschütterungsempfindlichen Bauwerken in nächster Umgebung ist das Einbringen der Rühlwandträger bzw. der Spundbohlen mit dem Einpressverfahren oder Vibrationsverfahren möglich. Damit nicht eine zu grosse Einbindetiefe notwendig ist und um eine Störung der Grundwasserströmung während der Bauphase auf ein Minimum zu reduzieren, ist eine einfache Abstützung erforderlich. Hierfür sind zwei Varianten denkbar; die Variante der schlaffen Rückverankerung oder die Variante einer starren Spriessung. In den Bereichen, welche beidseitig eine Ufermauer vorsehen, ist eine übliche horizontale Spriessung vorzuziehen.

In den Abschnitten, welche nur einseitig ein Stützmauer aufweisen, kann entweder eine Rückverankerung oder eine abgewinkelte Spriessung als Abstützung verwendet werden.

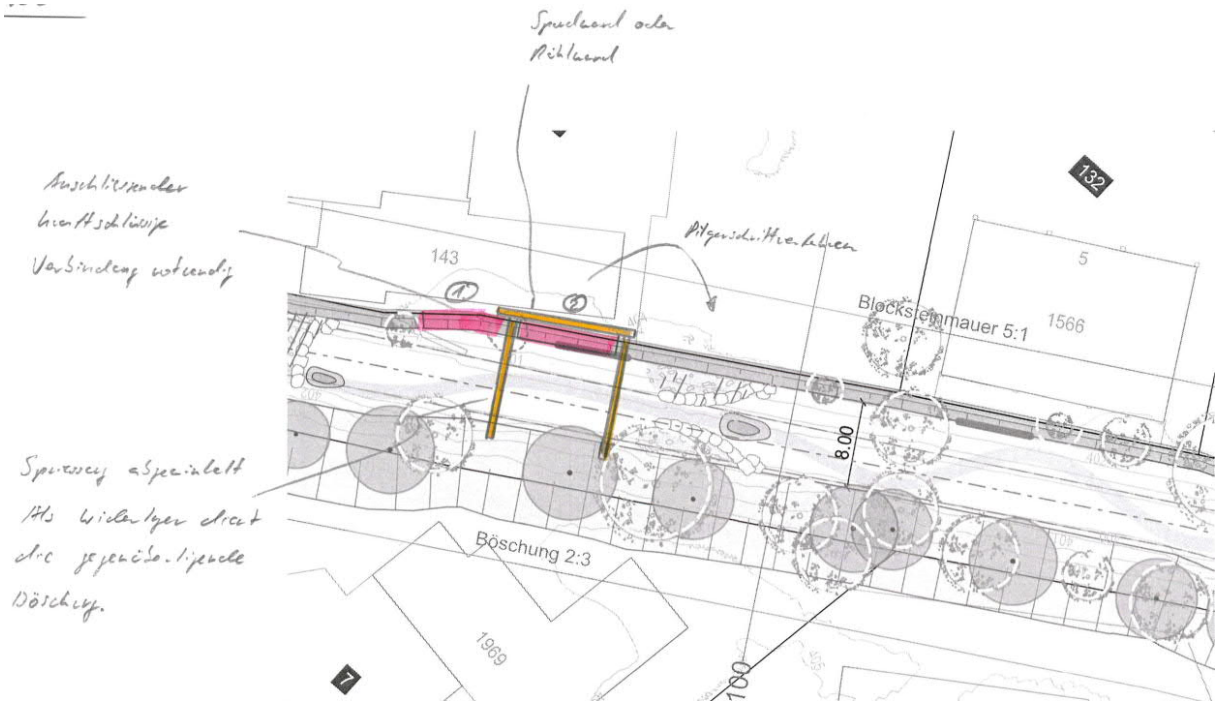






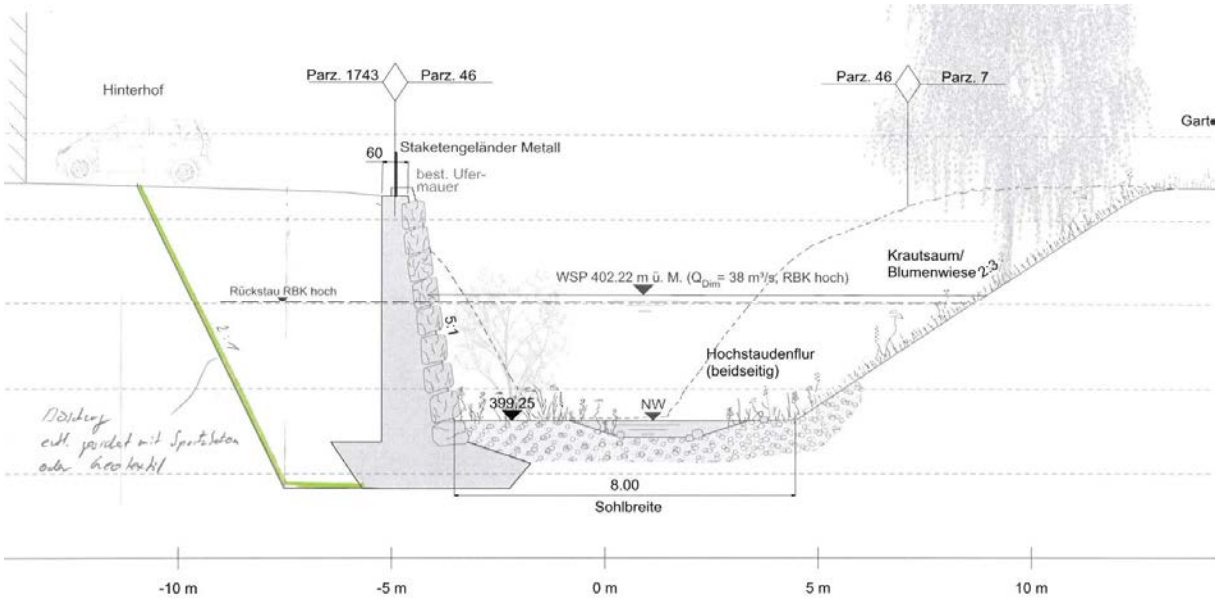
Im letzteren Fall wirkt die gegenüberliegende Böschung als Widerlager und soll dementsprechend provisorisch ausgebildet werden.

Die abgewinkelte Spriessung mit dem gewählten vertikalen Baugrubenabschluss kann im Pilgerschrittverfahren vorlaufend verwendet werden.



Anhang A.3.2 Baugrube mit Böschung

Wenn die lateralen Platzverhältnisse entlang des Littenbach es zu lassen ist der kostengünstigste Baugrubenabschluss eine Böschung. Diese kann, wenn notwendig mit Spritzbeton oder einem Geotextil gesichert werden. Insbesondere bei starken Niederschlägen ist mit einer Instabilität der Böschung zu rechnen und provisorisch verstärkt zu sichern.



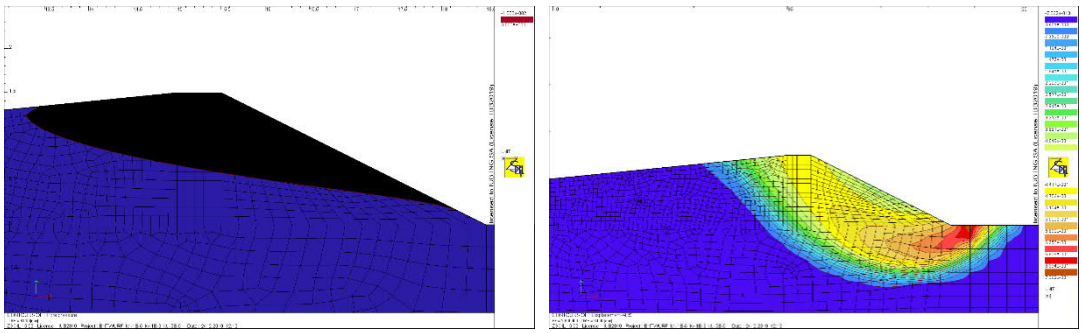
Anhang A.4 Erddämme: Statische Berechnungen

Die Überprüfung der Dammstabilität erfolgte am typischen Dammquerschnitt zwischen Retentionsbecken und Äächeli unter Annahme eines homogenen Dammkörpers. Der Damm wurde mit einer Dammhöhe von 1.5 m und Neigungen 1:2 (Äächeli) und 1:10 (Retentionsbecken) modelliert. Das Bodenraumgewicht, die Kohäsion und der Reibungswinkel wurden auf $\gamma = 20$ kN/m^3, $c = 0$ kPa resp. $\varphi = 30°$ angesetzt. Aufgrund der fehlenden Angaben betreffend Bodendurchlässigkeit wurden die Berechnung der Sickerlinie und der Dammstabilität unter Variation der Durchlässigkeitsbeiwerte durchgeführt. Die verwendeten Bodendurchlässigkeiten und die resultierenden globalen Sicherheitsfaktoren sind in Tabelle Anhang A-4 zusammengefasst. Die stationäre Sickerlinie sowie die resultierenden Bruchkörper für einen Wasserstand h = 1.35 m auf Seite Retentionsbecken für ausgewählte Szenarien sind in Abbildung Anhang A-7 dargestellt.

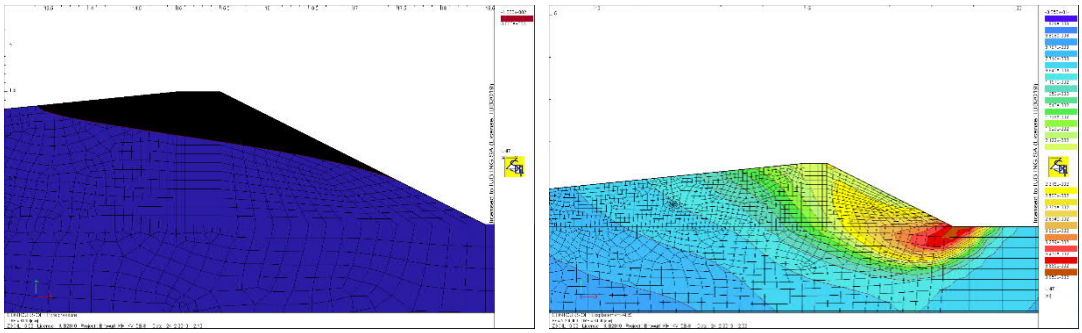
Tabelle Anhang A-4: Modellierte Durchlässigkeitsbeiwerte für Untergrund und Dammschüttmaterial

Szenario	Durchlässigkeitsbeiwert				Sicherheitsfaktor
	Untergrund		Dammschüttmaterial		
	k_h [m/s]	k_v [m/s]	k_h [m/s]	k_v [m/s]	
1	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	2.5
2	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	2.1
3	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	2.1
4	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	2.4
5	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	2.5
6	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	2.6

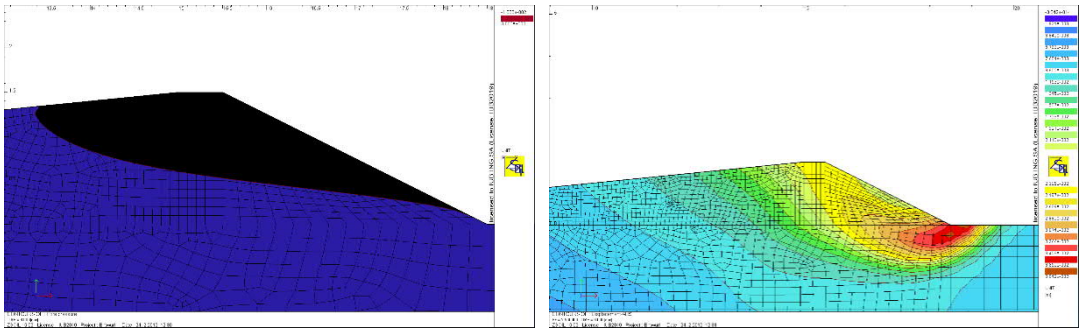
(a)



(b)



(c)



(d)

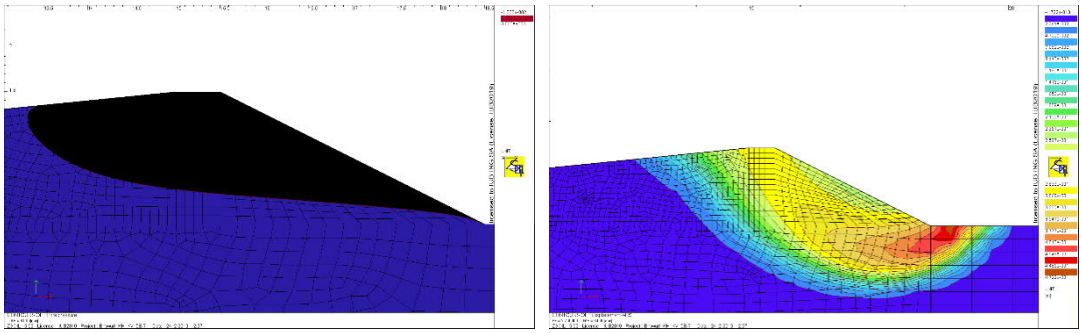


Abbildung Anhang A-7: Stationäre Sickerlinie (links) und Bruchbilder (rechts) für Szenarien 1 (a), 2 (b), 4 (c) und 6 (d)

Zusätzlich wurde für Szenario 1 ein instationärer Belastungsfall betrachtet (Szenario 1.1). Hierzu wurde der Wasserstand im Retentionsbecken als variable Grösse angesetzt. Die Berechnungen erfolgten über einen Zeitraum von 3 Tagen. Der Verlauf des Füllstandes des Retentionsbeckens ist in Abbildung Anhang A-8 für Szenario 1.1 dargestellt.

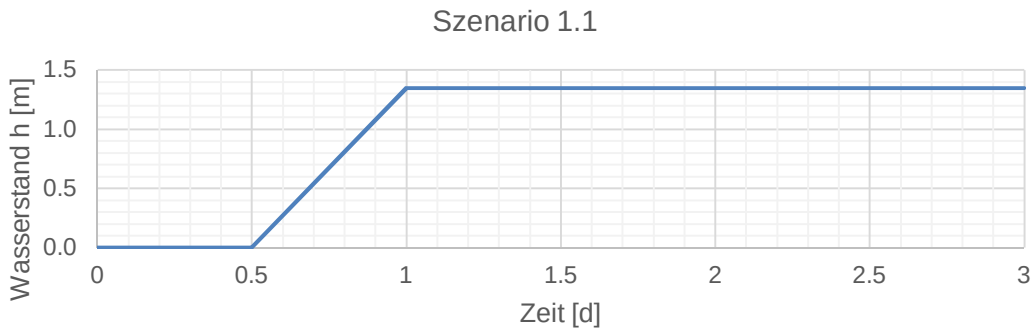


Abbildung Anhang A-8: Instationäre Belastung auf Dammstruktur / instationärer Wasserstand (Szenario 1.1)

Die resultierende Sickerlinie zu den Zeitschritten 1 d, 1.5 d, 2 d, 2.5 d und 3 d wurde untersucht. Zum Zeitschritt 1 d wird der maximale Wasserstand gerade erreicht, danach bleibt der Wasserspiegel konstant bis 3 d. Mit zunehmender Einstauzeit wird der wasserungesättigte Bereich reduziert. Eine deutliche Reduktion ist zwischen 1 d und 2 d zu erkennen, die Sickerlinien zu den Zeitpunkten 2 d und 3 d zeigen einen ähnlichen Verlauf (Abbildung Anhang A-9). Die Sickerlinien im stationärem und instationärem Fall zum Zeitpunkt 3 d weisen einen annähernd identischen Verlauf auf. Der resultierende Sicherheitsfaktor beträgt in beiden Fällen 2.5.

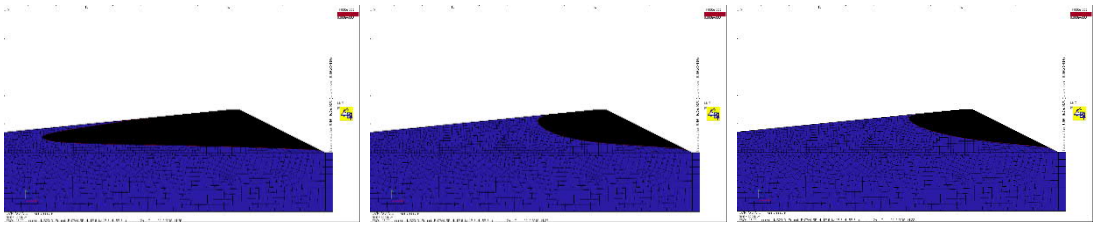


Abbildung Anhang A-9: Ausbildung der Sickerlinie bei instationärer Belastung zu den Zeitschritten 1 d, 2 d und 3 d

Aufgrund der globalen Betrachtung und der Verwendung von charakteristischen Eingangsparametern ist ein Sicherheitsfaktor SF ≥ 2 erforderlich. Dieser Nachweis wird in allen betrachteten Szenarien erfüllt.

Anhang B 2D Hydraulik-Modell

Anhang B.1 Ausgangslage und Grundlagen

Im Rahmen der Erarbeitung des Bauprojekts des Hochwasserschutzprojekts Littenbach-Äächeli wurde für das Retentionsflächen-Konzept unter Betrachtung verschiedener Hochwasser-Szenarien eine zweidimensionale Hydraulik-Modellierung vorgenommen. Um das Modell zu kalibrieren, wurde in einem ersten Schritt der heutige Ist-Zustand modelliert. In einem zweiten Schritt wurden die projektierte Gerinnegeometrie und die Geländeanpassungen (Stand Vorprojekt 2016) modelliert. Mit diesem Modell wurden die Überflutungsreihenfolge geplant sowie die erforderlichen Dammkoten bestimmt. In dieser Dokumentation werden die beiden 2D Hydraulik-Modelle (Ist- und Projektzustand) erläutert und die wichtigsten Resultate zusammengefasst.

Anhang B.1.1 Projektperimeter und Randbedingungen Ist-Zustand

In diesem Kapitel werden das modellierte Gebiet sowie die Lage der Zuläufe (obere Randbedingungen) und Abläufe (untere Randbedingungen) im modellierten Perimeter für den Ist-Zustand beschrieben. Die Werte der betrachteten Randbedingungen (Abflüsse, Ganglinien, Wasserspiegellagen etc.) sind im Kapitel Anhang B.3 beschrieben.

Modelliertes Gebiet

Da ausschliesslich für den Littenbach Messdaten der Wasserspiegellagen im Ist-Zustand vorliegen, wurde für die Kalibrierung lediglich der Littenbach und ein Teil des Vorlandes modelliert.[3]

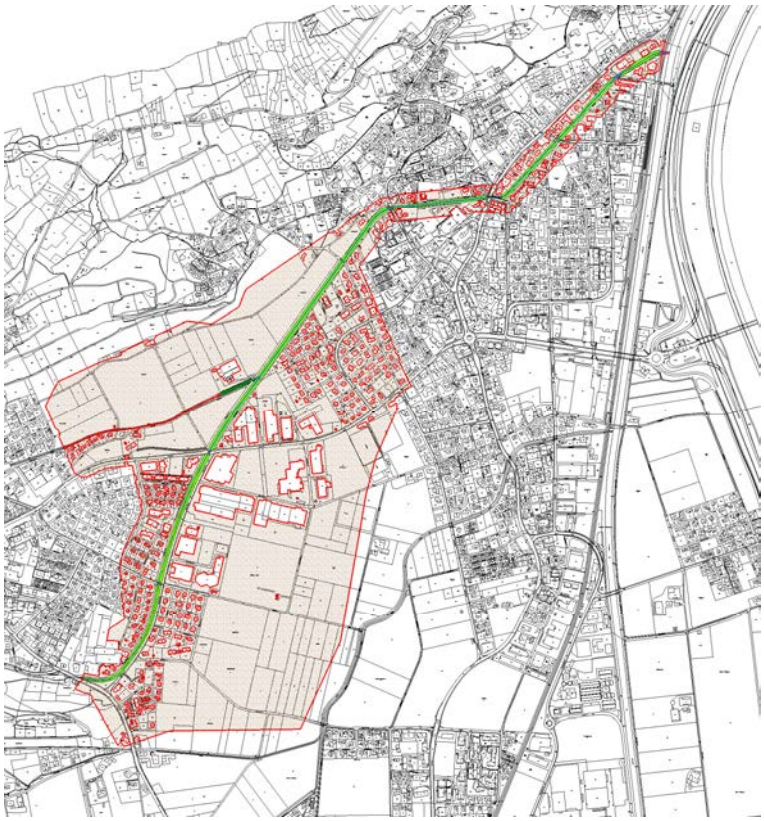


Abbildung Anhang B-1: Projektperimeter Modell Ist-Zustand

[3] Die hydraulischen Berechnungen am Littenbach im Projektzustand erfolgten in 1D (s. Kap. 6.1)

Obere Randbedingungen

Als obere Randbedingungen sind zwei Zuläufe vorhanden, s. untenstehende Abbildungen:

- Der Zulauf Littenbach ist unterhalb der Brücke Schlossbrugg angeordnet.
- Der Zulauf Kübach ist etwas vor der Einmündung in den Littenbach angeordnet.

Abbildung Anhang B-2: Zulauf Littenbach unterhalb Schlossbrugg Modell Ist-Zustand

Abbildung Anhang B-3: Zulauf Kübach Modell Ist-Zustand

Untere Randbedingungen

Die einzige untere Randbedingung ist der Auslauf des Littenbachs in den Rheintaler Binnenkanal (RBK), s. nachfolgende Abbildung.

Abbildung Anhang B-4: Auslauf Littenbach in den RBK Modell Ist-Zustand

Anhang B.1.2 Projektperimeter und Randbedingungen Projekt-Zustand

In diesem Kapitel werden das modellierte Gebiet sowie die Lage der Zuläufe (obere Randbedingungen) und Abläufe (untere Randbedingungen) im modellierten Perimeter für den Projektzustand beschrieben. Die Werte der betrachteten Randbedingungen (Abflüsse, Ganglinien, Wasserspiegellagen etc.) sind im Kap. Anhang B.4 beschrieben.

Modelliertes Gebiet

Im Projektzustand wurde der gesamte Projektperimeter modelliert. Einzig der Entlastungsstollen zwischen dem Littenbach und dem Hinterburgbach sowie die Trenncharakteristik des Ausleitbauwerks wurden nicht explizit modelliert. Die Randbedingungen am Littenbach und am Äächeli wurden daher separat im Modell berücksichtigt.

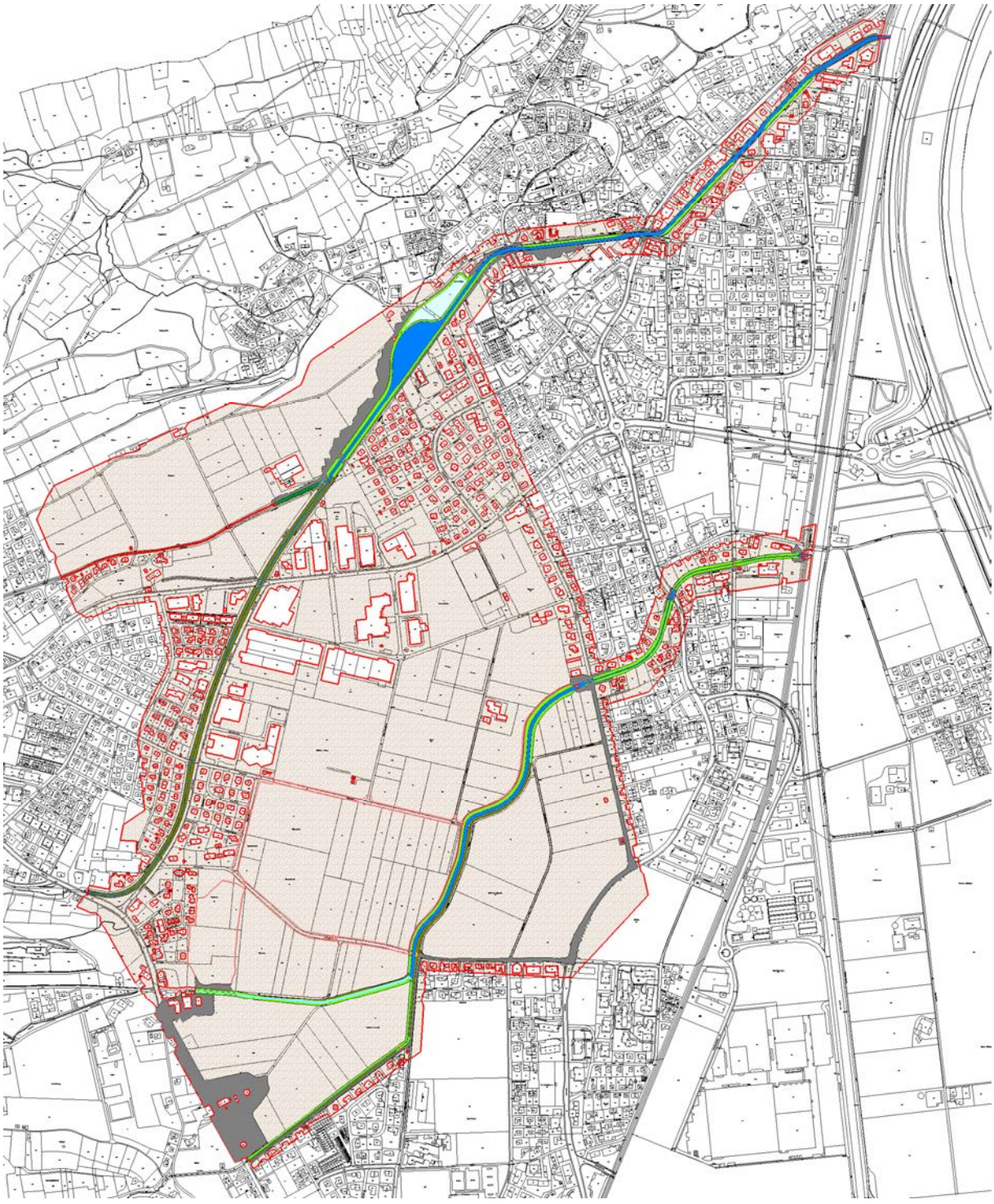


Abbildung Anhang B-5: Projektperimeter Modell Projekt-Zustand (graue Flächen: inaktiv)

Obere Randbedingungen

Als obere Randbedingungen am Littenbach sind drei Zuläufe vorhanden, s. untenstehende Abbildungen:

- Der Zulauf Littenbach ist unterhalb der Brücke Schlossbrugg angeordnet.
- Der Zulauf Kübach ist etwas vor der Einmündung in den Littenbach angeordnet.
- Der Zulauf Kobelbach ist im Bereich des Sedimentationsbeckens / Naturpark Kobel angeordnet.

Abbildung Anhang B-6: Zulauf Littenbach unterhalb Schlossbrugg Modell Projekt-Zustand

Abbildung Anhang B-7: Zulauf Kübach Modell Projekt-Zustand

Abbildung Anhang B-8: Zulauf Kobelbach Modell Projekt-Zustand

Als obere Randbedingungen am Äächeli sind zwei Zuläufe vorhanden, s. untenstehende Abbildungen:

- Der Zulauf Hinterburgbach ist unterhalb der Einleitungsstelle des Entlastungsstollens modelliert.
- Der Zulauf Buechholzbach ist etwas unterhalb des Durchlasses Bahnstrasse angeordnet.

Abbildung Anhang B-9: Zulauf Hinterburgbach und Entlastung Modell Projekt-Zustand

Abbildung Anhang B-10: Zulauf Buechholzbach Modell Projekt-Zustand

Untere Randbedingungen

Die einzige untere Randbedingung am Littenbach ist der Auslauf in den Rheintaler Binnenkanal (RBK), s. nachfolgende Abbildung.

Abbildung Anhang B-11: Auslauf Littenbach in den RBK Modell Projekt-Zustand

Die einzige untere Randbedingung am Äächeli ist der Auslauf in den Rheintaler Binnenkanal (RBK), s. nachfolgende Abbildung.

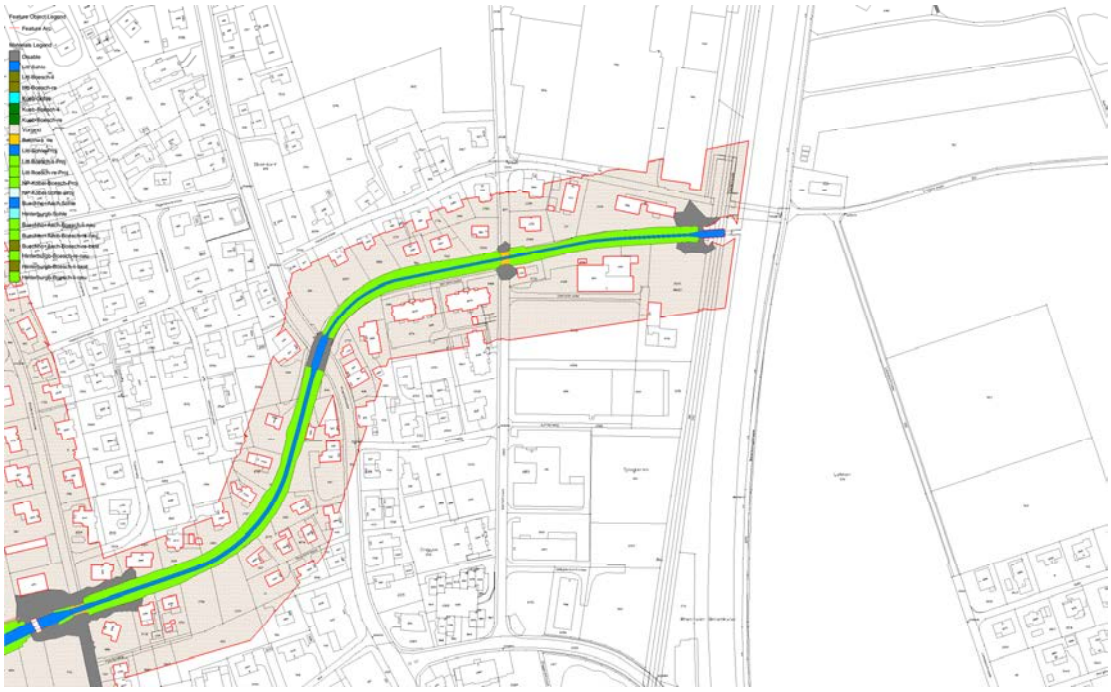


Abbildung Anhang B-12: Auslauf Äächeli in den RBK Modell Projekt-Zustand

Anhang B.1.3 Grundlagen-Daten

Geometrie Ist- und Projektzustand

Das Berechnungsnetz wurde auf Basis von folgenden Eingabedaten erstellt:

Tabelle Anhang B-1: Daten-Quellen für Modell Ist- und Projektzustand (Geometrie)

Daten-Quelle	Datum	Format	Verwendung im Modell
AV, Geodaten des Kts St. Gallen	Nov. 2017	*.dxf	Gebäude als «Löcher» im Netz Strassen teilweise als Bruchkanten (wo sinnvoll)
Orthofotos, pixmap	05.02.2018	*.jpg	Visuelle Kontrolle Teilweise händische Implementierung von Bruchkanten
DTM, pixmap	05.02.2018	*.flt, 12.5 cm-Raster	Input für Vorland-Netz (Höheninterpolation durch Laser_AS-2D)
QP-Aufnahmen, IUB Engineering AG	16.01.2018	*.dgn, Koordinatenverzeichnis	Geometrie für Littenbach (Flussschlauch) im Ist-Zustand sowie im Projektzustand für Abschnitte ohne Veränderungen gegenüber Ist-Zustand Teilweise Berücksichtigung von aufgenommenen Bruchkanten im Vorland Brücken-/Durchlass-Unterkanten (als KUK) von bestehenden Brücken, die nicht erneuert werden
Vorprojekt-Pläne «Vorprüfung», IG Littenbach Berneck	06.06.2016	*.dwg, *.dxf	Projekt-Geometrie für Littenbach, Äächeli, Buechholzbach, Hinterburgbach (Flussschlauch) sowie Geländeanpassungen (Vorland)

Alle Daten sind im Bezugsrahmen LV95 (schweizerische Landesvermessung LV95) und Landesnivellement 1902 (LN02), resp. wo nötig wurden sie mittels REFRAME transferiert.

Hydrologische Daten Ist-Zustand

Die Kalibrierung wurde auf Basis von folgenden hydrologischen Daten erstellt:

Tabelle Anhang B-2: Hydrologische Daten-Quellen für Kalibrierung Modell Ist-Zustand

Daten-Quelle	Datum	Gewässer	Station
Pegelmessungen Feuerwehr Berneck-Au-Heerbrugg	Jahre 2015, 2016, 2017	Littenbach	Schlossbrücke
Pegelmessungen Feuerwehr Berneck-Au-Heerbrugg	Jahre 2015, 2016, 2017	Littenbach	Brücke Walzenhauserstrasse
Abflussmessungen	Jahre 2015, 2016, 2017	Rheintaler Binnenkanal (RBK)	Widnau, Post (SG 2101)
Abflussmessungen	Jahre 2015, 2016, 2017	Rheintaler Binnenkanal (RBK)	St. Margrethen (LH 2139)

Anhang B.2 Allgemeines Vorgehen

In diesem Kapitel wird das allgemeine Vorgehen bei der Modellierung des Ist- und des Projektzustands erläutert. Es wurde zur Kalibrierung der Rauigkeiten zuerst der Ist-Zustand modelliert, ehe der Projektzustand modelliert wurde.

Anhang B.2.1 Hilfsmittel und Programme Modellierung Ist- und Projektzustand

Die 2D Hydraulikmodelle wurden mit Hilfe von folgenden Programmen erstellt:

Tabelle Anhang B-3: Verwendete Programme für die 2D Hydraulik-Modellierung

Programm	Version	Zweck, Arbeitsschritte
SMS, Aquaveo LLC	12.1.9 (64-bit)	Netz-Erstellung «von Hand» (wo nötig) Kontrolle, Bereinigung des Netzes Darstellung und Auswertung der Resultate
Laser_AS-2D, Hydrotec	2.0.1 (Ist-Zustand) 2.0.2 (Projektzustand)	Automatische Netz-Generierung (inkl. Höheninterpolation und Bruchkanten-Erkennung) des Vorlands
Flussschlauchgenerator, Hydrotec		Generierung des Flussschlauch-Netzes (in Einzelschritten)
Hydro_AS-2D, Hydrotec	4.4.2, 1step	Hydraulische Berechnung

Anhang B.2.2 Modellierung hydraulischer Bauwerke

Ist-Zustand

Im Ist-Zustand sind keine hydraulischen Bauwerke innerhalb des Projektperimeters vorhanden.

Projektzustand

Am Äächeli ist ein Drosselbauwerk vorgesehen. Der Abfluss im Gebiet Emseren auf wird auf max. 15 m³/s gedrosselt. Dies wurde folgendermassen modelliert:

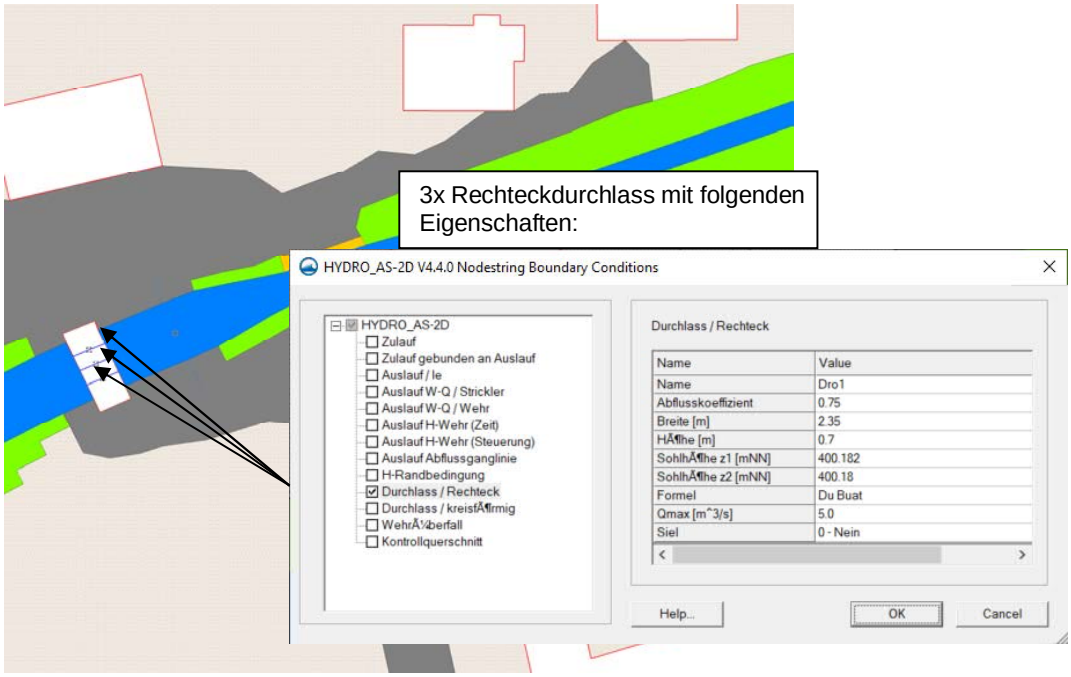


Abbildung Anhang B-13: Drosselbauwerk am Äächeli im 2D Hydraulikmodell

Anhang B.3 Ist-Zustand

Anhang B.3.1 Herleitung der Grundlage für die Kalibrierung (H-Q-Beziehung)

In der untenstehenden Abbildung sind die uns zur Verfügung stehenden hydrologischen Daten (s. Anhang B.1.3) in einer Grafik dargestellt, also zum einen die Abflussmessdaten im RBK bei St. Margrethen und Widnau und zum anderen die Wassertiefen-Messdaten im Littenbach bei der Schlossbrücke und bei der Brücke Walzenhauserstrasse für den Zeitraum 2015 bis 2017.

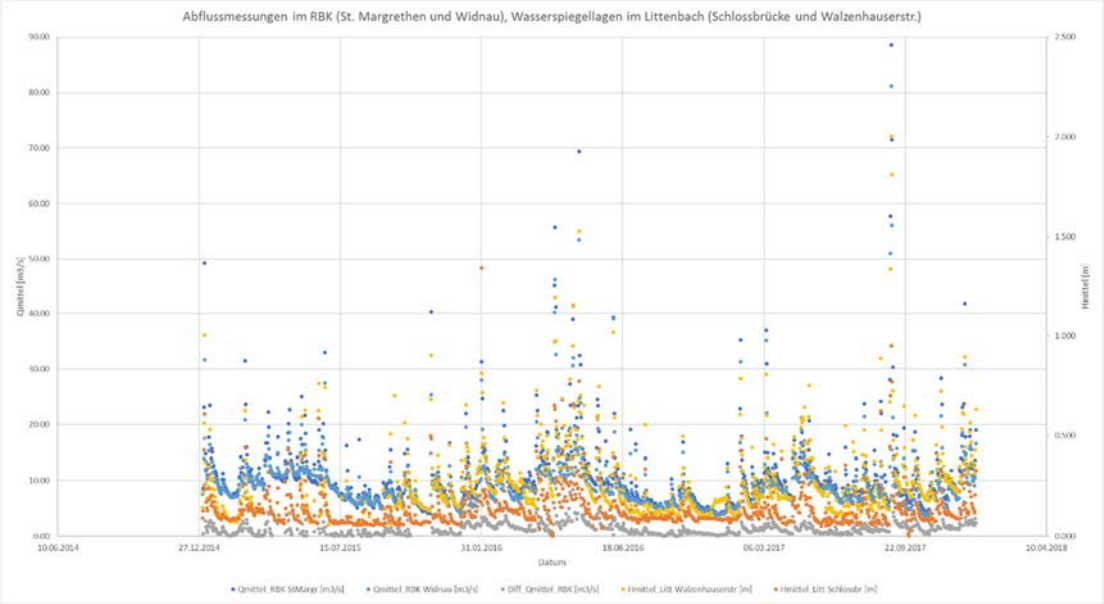


Abbildung Anhang B-14: Hydrologische Daten für Kalibrierung: Tagesmittelwerte Abflüsse und Wassertiefen

In der untenstehenden Abbildung sind die Lage der Messstellen sowie deren zugehörige Einzugsgebietsgrössen dargestellt.

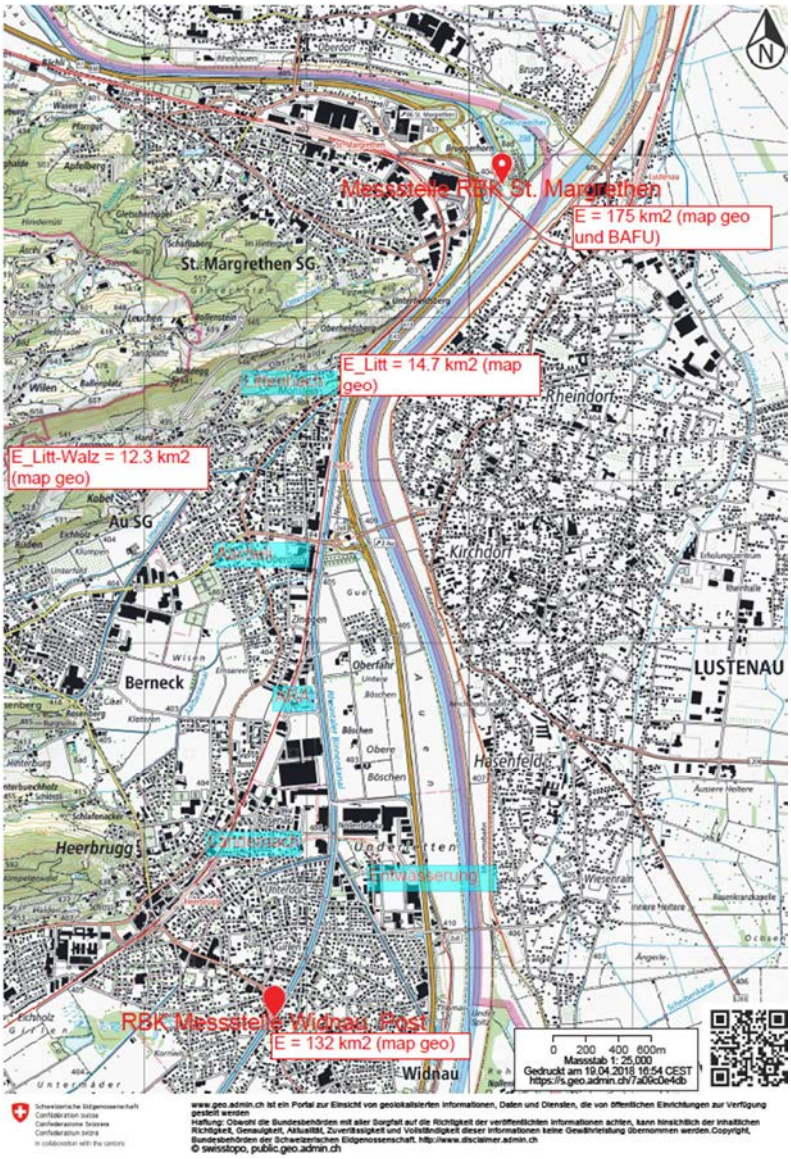


Abbildung Anhang B-15: Hydrologische Daten für Kalibrierung: Stationen und zugehörige Einzugsgebiete

Auf dieser Datengrundlage wurde der Abfluss im Littenbach bei der Brücke Walzenhauserstrasse mittels linearer Interpolation über die Einzugsgebietsgrössen wie folgt bestimmt:

$$Q_{Littenbach,Walz} = \Delta(Q_{RBK,\ St.\ Margr} - Q_{RBK,\ Widnau})*12.3\ km^2 / (175-132)\ km^2$$

Auf Basis dieser hergeleiteten Abflussdaten sowie den Pegelmessdaten wurde eine Pegel-Abfluss-Beziehung im Littenbach bei der Station Brücke Walzenhauserstrasse hergeleitet. In der untenstehenden Abbildung sind zum einen die Messdaten und zum anderen die interpolierte Pegel-Abfluss-Beziehung dargestellt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte der hergeleiteten Pegel-Abfluss-Beziehung zusammengefasst.
Diese Pegel-Abfluss-Beziehung dient als Grundlage, um das Modell, insbesondere die Rauigkeiten, zu kalibrieren.

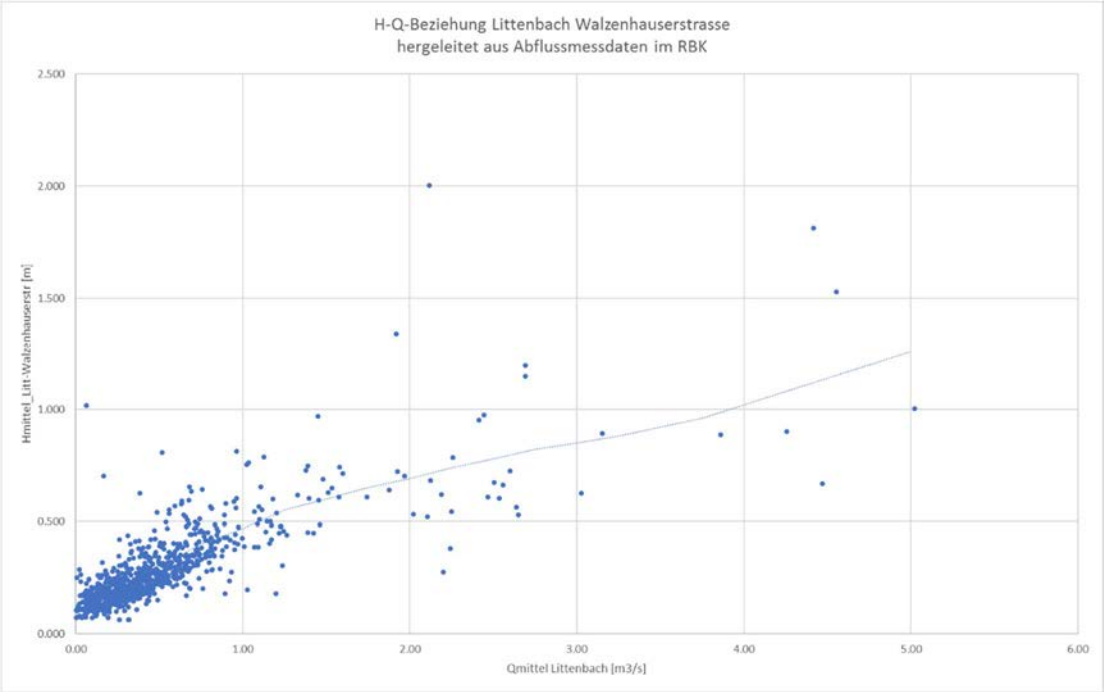


Abbildung Anhang B-16: Herleitung H-Q-Beziehung im Littenbach, Station Brücke Walzenhauserstrasse

Tabelle Anhang B-4: Hergeleitete H-Q-Beziehung im Littenbach, Station Brücke Walzenhauserstrasse

Abfluss Q [m3/s]	Wassertiefe H [m]
0.125	0.09
0.25	0.17
0.5	0.3
0.75	0.4
1	0.47
1.25	0.55
1.5	0.6
1.75	0.65
2	0.69
2.25	0.74
2.5	0.78
2.75	0.82
3	0.85
3.25	0.88
3.5	0.92
3.75	0.96
4	1.02
4.25	1.08
4.5	1.14
4.75	1.20
5	1.26

Anhang B.3.2 Kalibrierung: Variation der Rauigkeiten unter Betrachtung verschiedener Abflüsse

Es wurden unter der Annahme verschiedener Rauigkeiten der Sohle sowie der Böschungen (links und rechts wurden dabei als identisch angenommen) unterschiedliche Abflüsse im Littenbach modelliert. Als untere Randbedingung wurde jeweils das Energieliniengefälle parallel zum Sohlgefälle angenommen. In der untenstehenden Abbildung sind in grafischer Form die Resultate der einzelnen Runs ersichtlich.

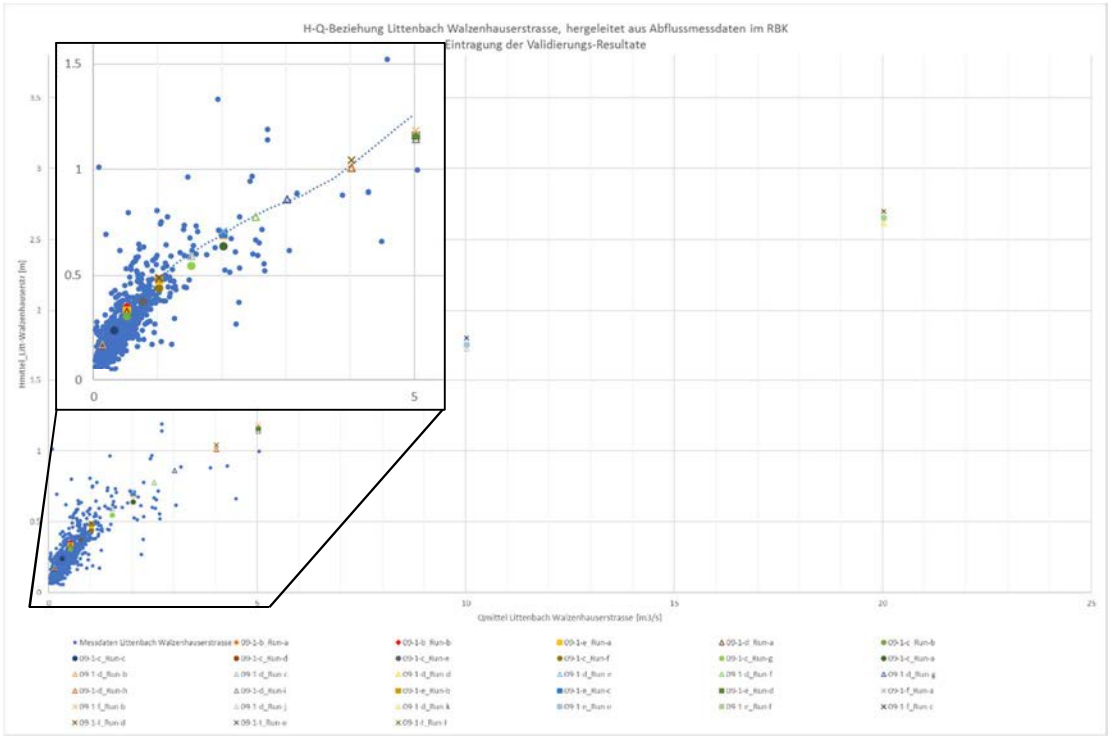


Abbildung Anhang B-17: H-Q-Beziehung verschiedener Abflüsse unter Variation der Rauigkeiten im Ist-Zustand

Anhang B.3.3 Resultate: Rauigkeiten des Ist-Zustandes

Folgende Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler erweisen sich als beste Annahme für den Ist-Zustand. Sie entsprechen den Annahmen in den Runs «09-1-**f**_Run-..».

- Sohle Littenbach Ist-Zustand: kSt Litt-Sohle = 40 $m^{1/3}/s$
- Böschungen, links und rechts identisch, Littenbach Ist-Zustand:

  kSt Litt-Boesch-li = kSt Litt-Boesch-re = 30 $m^{1/3}/s$

Die Rauigkeiten des Kübachs wurden nicht variiert, da sie keinen grossen Einfluss auf das Abflussregime des Littenbachs haben. Es wurden folgende Rauigkeiten angesetzt:

- Sohle und Böschungen, komplettes Profil identisch, Kübach Ist-Zustand:

  kSt Kueb-Sohle = kSt Kueb-Boesch-li = kSt Kueb-Boesch-re = 35 $m^{1/3}/s$

Die Rauigkeit des Vorlands wurde ebenfalls nicht variiert. Es wurde folgende Rauigkeiten angesetzt:

- Vorland Ist-Zustand: kSt Vorland = 25 $m^{1/3}/s$

Anhang B.4 Projekt-Zustand

Anhang B.4.1 Annahmen der Rauhigkeiten im Projektzustand

Die Rauhigkeiten der Abschnitte, die auch im Projektzustand unverändert bleiben sollen, wurden gemäss den Resultaten der Kalibrierung des Ist-Zustandes angenommen.

- Sohle Littenbach Ist-Zustand

  k_{St} Litt-Sohle 40 $m^{1/3}/s$

- Böschungen, links und rechts identisch, Littenbach Ist-Zustand

  k_{St} Litt-Boesch-li = k_{St} Litt-Boesch-re) 30 $m^{1/3}/s$

- Sohle und Böschungen, komplettes Profil identisch, Kübach Ist-Zustand

  k_{St} Kueb-Sohle = k_{St} Kueb-Boesch-li = k_{St} Kueb-Boesch-re 35 $m^{1/3}/s$

- Vorland Ist-und Projekt-Zustand

  k_{St} Vorland 25 $m^{1/3}/s$

- Betonwände generell Ist-und Projekt-Zustand

  k_{St} Betonwände 80 $m^{1/3}/s$ oder 50 $m^{1/3}/s$

Für die Annahmen der Rauhigkeiten im Projektzustand werden Literaturwerte für vergleichbare Böschungs- und Sohloberflächen eingesetzt.

- Sohle Littenbach Projekt-Zustand

  k_{St} Litt-Sohle-Proj 30 $m^{1/3}/s$

- Sohle Buechholzbach, Hinterburgbach, Äächeli Projekt-Zustand

  k_{St} Buechho+Aech-Sohle= kSt Hinterburgb-Sohle 35 $m^{1/3}/s$

- Böschungen, links und rechts identisch, Littenbach, Naturpark Kobel, Buechholzbach, Hinterburgbach, Äächeli Projekt-Zustand

  k_{St} Litt-Boesch-li-Proj = k_{St} Litt-Boesch-re-Proj = k_{St} NP-Kobel-Boesch-Proj = k_{St} NP-Kobel-Sohle-Proj = k_{St} Buechho+Aech-Boesch-li-neu = k_{St} Buechho+Aech-Boesch-re-neu = k_{St} Hinterburgb-Boesch-re-neu = k_{St} Hinterburgb-Boesch-li-neu 25 $m^{1/3}/s$

- Böschungen, links und rechts identisch, Buechholzbach, Hinterburgbach, Äächeli Ist-Zustand

  k_{St} Buechho+Aech-Boesch-li-best= k_{St} Buechho+Aech-Boesch-re-best = k_{St} Hinterburgb-Boesch-li-best 35 $m^{1/3}/s$

Anhang B.4.2 Betrachtete Hochwasser-Szenarien

Es wurden drei verschiedene Retentionsflächen-Konzepte sowie zwei verschiedene Trenncharakteristika am Littenbach unter der Annahme von drei Hochwasserszenarien untersucht, die im nächsten Kapitel näher beschrieben werden.

Ebenfalls wurden weitere Runs zur Bestimmung des Freibords der Flussquerprofile durchgeführt (Auswertung der Querprofile alle 50 m sowie Längsprofile für den Littenbach, das Äächeli, den Hinterburgbach und den Buechholzbach). Diese Berechnungen und deren Resultate werden in dieser Dokumentation nicht weiter wiedergegeben, da im Verlauf der Projektierung die Optimierung und Gestaltung der Flussquerprofile mittels 1D-Hydraulik-Modellen weiterverfolgt wurde.

Szenarien mit Trenncharakteristik Maximalabfluss im Littenbach 24 m3/s

In Tabelle 4-2 und Tabelle 4-3 sind alle definierten Hochwasser-Szenarien zusammengefasst.

Für die Planung des Retentionsflächen-Konzepts und daraus die Bestimmung der Dammkoten sind die **Szenarien 5, 6 und 7** relevant.

In der untenstehenden Abbildung ist die modellierte Ganglinien-Form dargestellt. Für alle betrachteten Szenarien (5, 6 und 7) wurde jeweils dieselbe Ganglinien-Form angenommen, d.h. der maximale Abfluss wurde in allen Szenarien nach 3.75 h angenommen. Das Maximum des Abflusses im Littenbach wurde in allen Szenarien auf 24 m^3/s festgelegt.

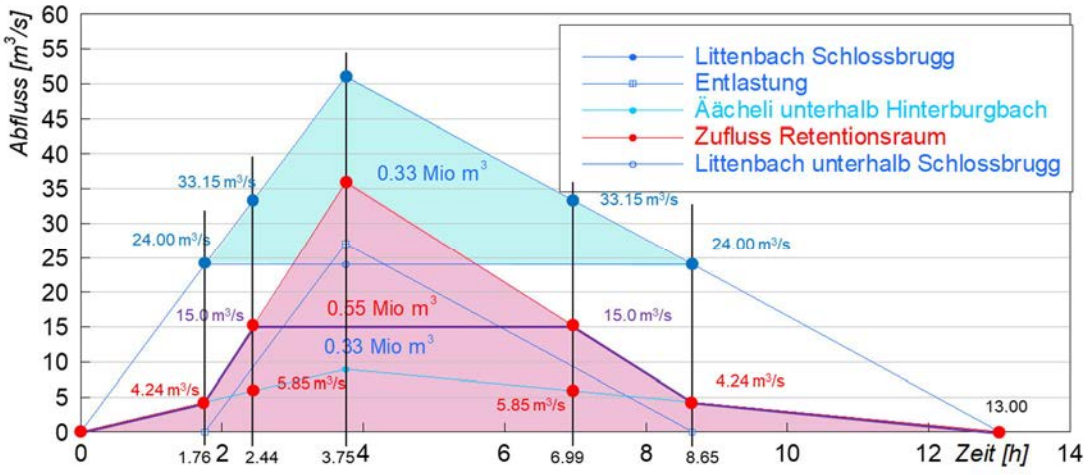


Abbildung Anhang B-18: Ganglinienform für alle Retentionsszenarien, hier exemplarisch dargestellt für das Szenario 5

Trenncharakteristik Maximalabfluss im Littenbach 11 m3/s

In einem zweiten Schritt wurden dieselben Szenarien 5, 6 und 7 mit derselben Ganglinienform betrachtet, allerdings mit einer anderen Trenncharakteristik am Littenbach. Der maximale Abfluss im Littenbach wurde dabei auf 11 m^3/s festgelegt. Diese Betrachtung wurde nach dem Entscheid des Retentionsflächen-Konzepts gemacht.

Anhang B.4.3 Betrachtete Retentionsflächen-Konzepte

Es wurden drei unterschiedliche Retentionsflächen-Konzepte untersucht:

- Konzept «Vorprojekt»
- Konzept «Flutkorridor»
- Konzept «Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2»

Dabei wurden die im obigen Kapitel 4.4.1 definierten Hochwasser-Szenarien 5, 6 und 7, mit der Trenncharakteristik Maximalabfluss 24 m^3/s im Littenbach, modelliert unter der Bedingung, dass gewisse Flächen erst unter bestimmten Szenarien benetzt werden dürfen. In der untenstehenden Abbildung sind die betrachteten Retentionsflächen dargestellt.

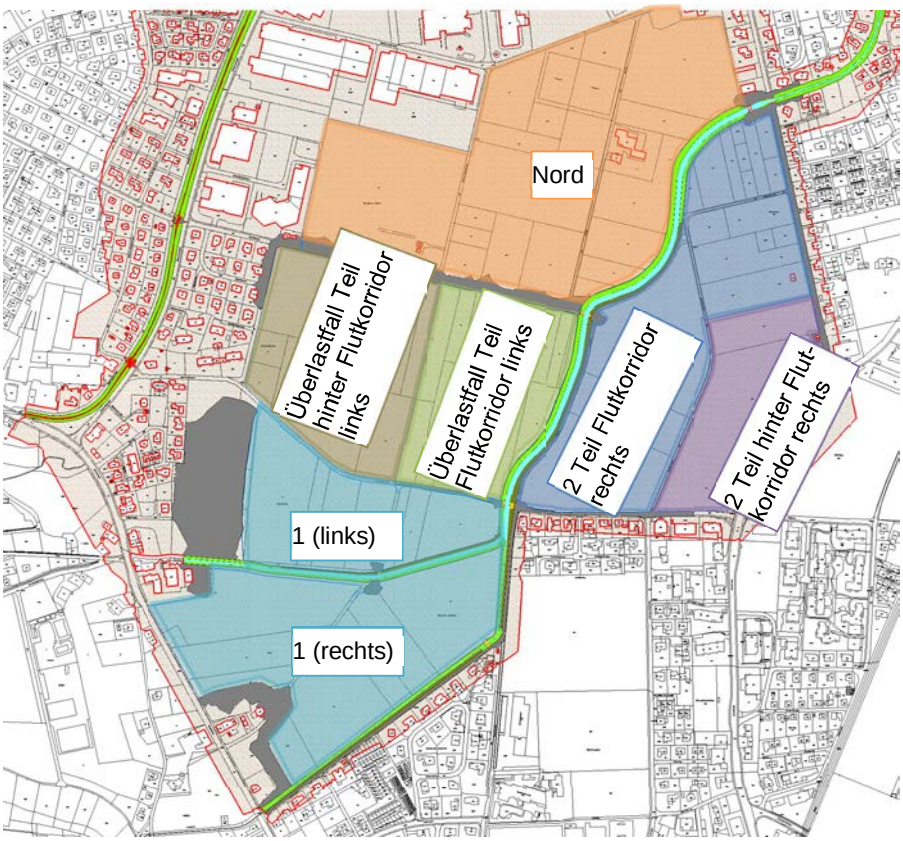


Abbildung Anhang B-19: Unterteilung der Retentionsflächen

Im Folgenden werden die drei Retentionsflächen-Konzepte in tabellarischer Form beschrieben.

Konzept «Vorprojekt»

Tabelle Anhang B-5: Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt»

Retentionsfläche	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7
«1» (links & rechts)	benetzt	benetzt	benetzt
«2» Teil Flutkorridor rechts	benetzt	benetzt	benetzt
«2» Teil hinter Flutkorridor rechts	benetzt (nicht abgetrennt von Flutkorridor rechts)	benetzt (nicht abgetrennt von Flutkorridor rechts)	benetzt (nicht abgetrennt von Flutkorridor rechts)
Überlastfall Teil Flutkorridor links	trocken	benetzt	benetzt
Überlastfall Teil "hinter" Flutkorridor links	trocken	benetzt (nicht abgetrennt von Flutkorridor links)	benetzt (nicht abgetrennt von Flutkorridor links)
Nord	trocken	trocken	benetzt

Konzept «Flutkorridor»

Tabelle Anhang B-6: Retentionsflächen-Konzept «Flutkorridor»

Retentionsfläche	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7
«1» (links & rechts)	benetzt	benetzt	benetzt
«2» Teil Flutkorridor rechts	benetzt	benetzt	benetzt
«2» Teil hinter Flutkorridor rechts	trocken	trocken	benetzt
«Überlastfall» Teil Flutkorridor links	benetzt	benetzt	benetzt
«Überlastfall» Teil "hinter" Flutkorridor links	trocken	benetzt	benetzt
Nord	trocken	trocken	benetzt

Konzept «Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2»

Tabelle Anhang B-7: Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2»

Retentionsfläche	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7
«1» (links & rechts)	benetzt	benetzt	benetzt
«2» Teil Flutkorridor rechts	benetzt	benetzt	benetzt
«2» Teil hinter Flutkorridor rechts	trocken	trocken	benetzt
«Überlastfall» Teil Flutkorridor links	trocken	benetzt	benetzt
«Überlastfall» Teil "hinter" Flutkorridor links	trocken	benetzt (nicht abgetrennt von Flutkorridor links)	benetzt
Nord	trocken	trocken	benetzt

Anhang B.4.4 Resultate

Die drei in den obigen Kapiteln beschriebenen Retentionsflächen-Konzepte wurden mittels 2D-Hydraulik modelliert. Darin wurde die jeweilige maximale Wasserspiegellage über die gesamte Zeitdauer der Ganglinie pro Retentionsfläche (und Szenario) berechnet. Ebenfalls betrachtet wurde die zeitliche Entwicklung der Füllung der Retentionsräume sowie das maximal benötigte Retentionsvolumen pro definierter Retentionsfläche. Diese Betrachtungen werden hier nicht dokumentiert, da sie mehrheitlich der Überprüfung / Plausibilisierung des 2D-Hydraulik-Modells gedient haben.

Zur Bestimmung der definitiven Dammkoten wurden folgende Freibordhöhen gegenüber den berechneten maximalen Wasserspiegellagen pro Szenario festgelegt:

Tabelle Anhang B-8: Freibordhöhen pro Szenario, Benennung s. Abbildung Anhang B-20: Benennung und Lage der Dammkoten, Variationen aufgrund verschiedener Retentionsflächen-Konzepte

	Szenario 5	**Szenario 6**	**Szenario 7**
1-a	46 bis 60 cm	9 bis 20 cm	4 bis 15 cm
1-b	46 bis 60 cm	8 bis 20 cm	4 bis 15 cm
1-c	5 cm	--	--
2-a	46 bis 60 cm	9 bis 20 cm	4 bis 17 cm
2-b	37 bis 50 cm	0 cm	--
2-c	46 bis 60 cm	9 bis 20 cm	4 bis 15 cm
Ü-a	6 cm	--	--
Ü-b	0 cm	--	--
Ü-c	50 cm	0 cm	--
N	35 bis 50 cm	0 cm	--

In der untenstehenden Abbildung sind die Benennung und Lage der Dammkoten ersichtlich, worauf auch in den weiteren Kapitel Bezug genommen wird.

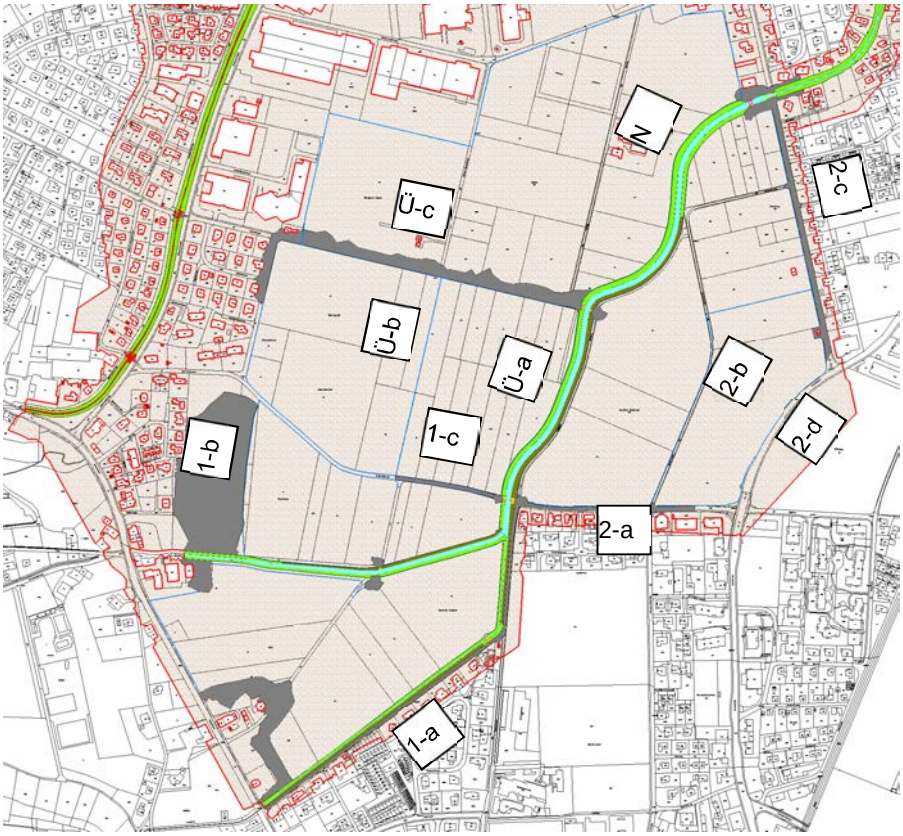


Abbildung Anhang B-20: Benennung und Lage der Dammkoten

Entscheid Retentionsflächen-Konzept

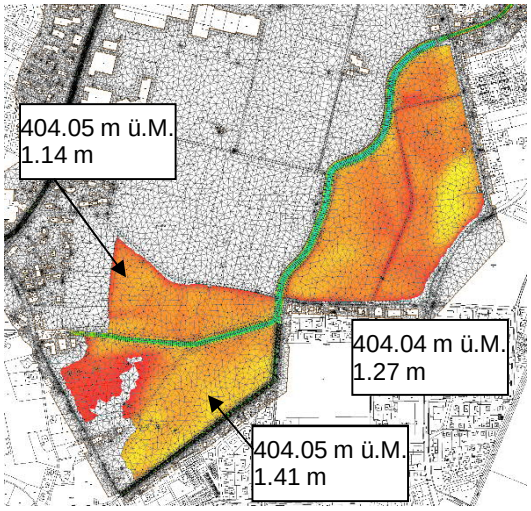
In einem ersten Schritt wurde über das Retentionsflächen-Konzept entschieden. In den untenstehenden Abbildungen sind die grafischen Resultate der drei Retentionsflächen-Konzepte zu finden. Die jeweils notwendigen Dammkoten pro Retentionsflächen-Konzept sind ausserdem in der untenstehenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle Anhang B-9: Resultate der Dammkoten pro Retentionsflächen-Konzept in [m ü.M.], Benennung s. Abbildung Anhang B-20

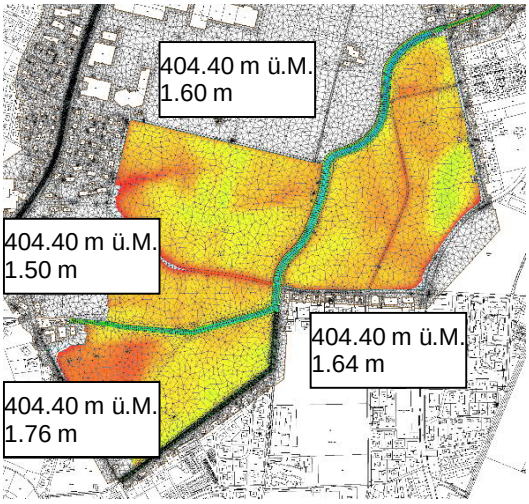
	Vorprojekt	**Flutkorridor**	**Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2**
1-a	404.40	404.60	404.60
1-b	404.60	404.60	404.60
1-c	404.10	(keine Anp.)	404.20
2-a	404.60	404.60	404.60
2-b	(keine Anp.)	404.50	404.50
2-c	404.60	404.60	404.60
Ü-a	404.10	(keine Anp.)	404.20
Ü-b	(keine Anp.)	404.00	(keine Anp.)
Ü-c	404.40	404.50	404.50
N	404.40	404.50	404.50

Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt»

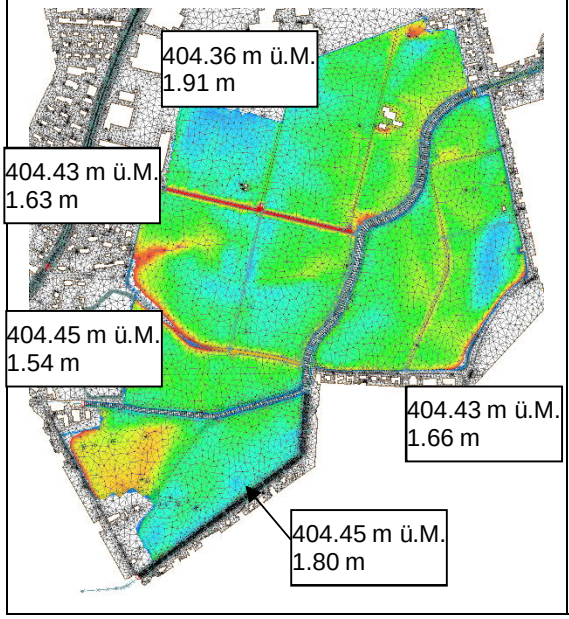
Szenario 5



Szenario 6



Szenario 7



Erforderliche Dammkoten

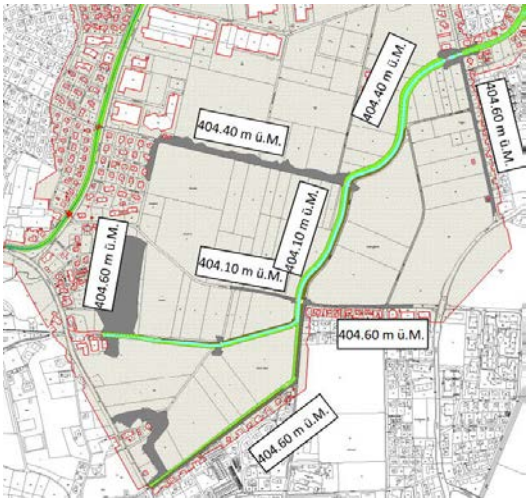
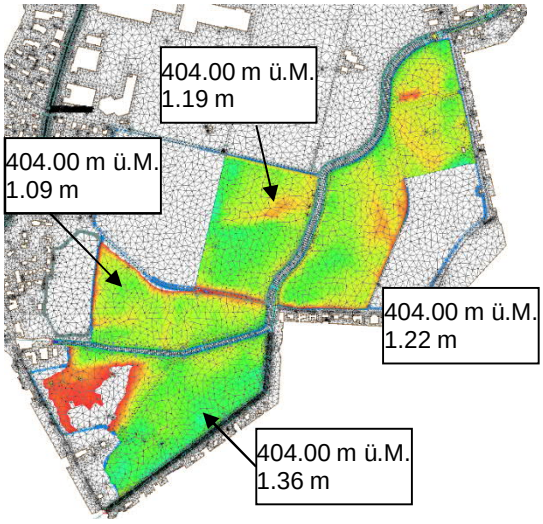


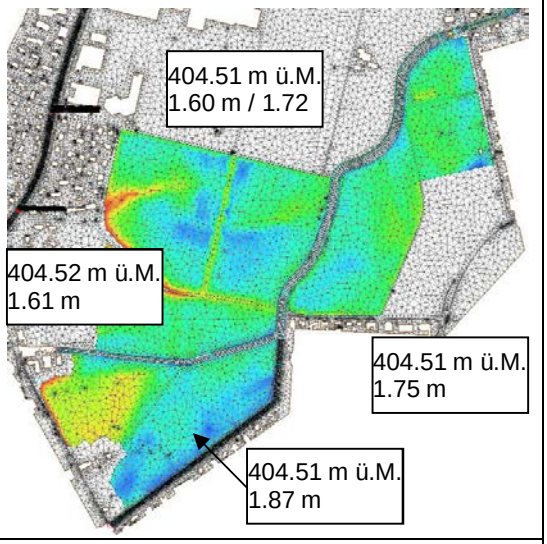
Abbildung Anhang B-21: Maximale Wasserspiegellagen, Wassertiefen und erforderliche Dammkoten, Konzept «Vorprojekt»

Retentionsflächen-Konzept «Flutkorridor»

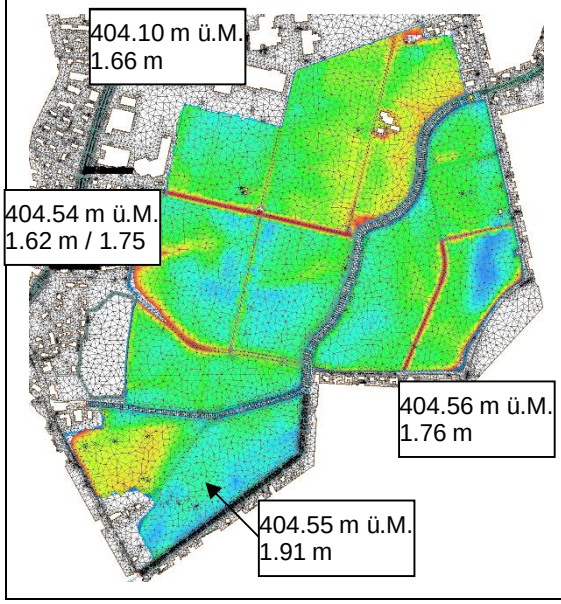
Szenario 5



Szenario 6



Szenario 7

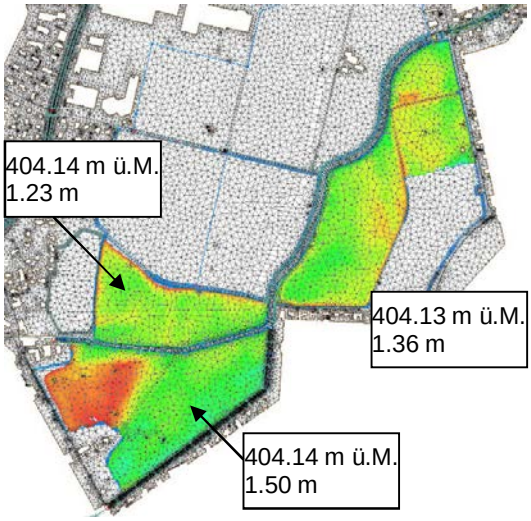


Erforderliche Dammkoten

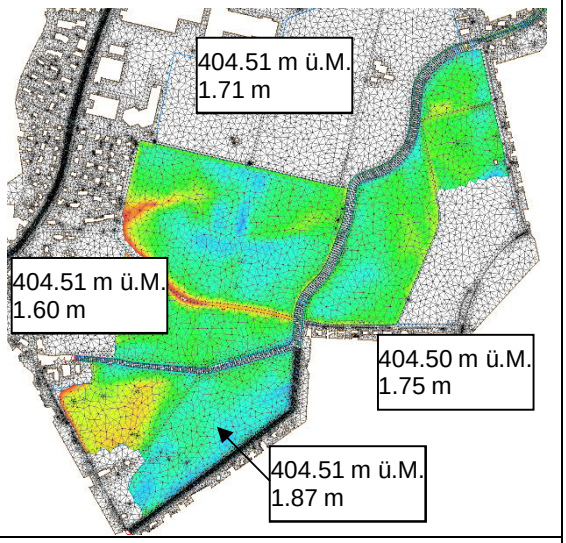
Abbildung Anhang B-22: Maximale Wasserspiegellagen, Wassertiefen und erforderliche Dammkoten, Konzept «Flutkorridor»

Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2»

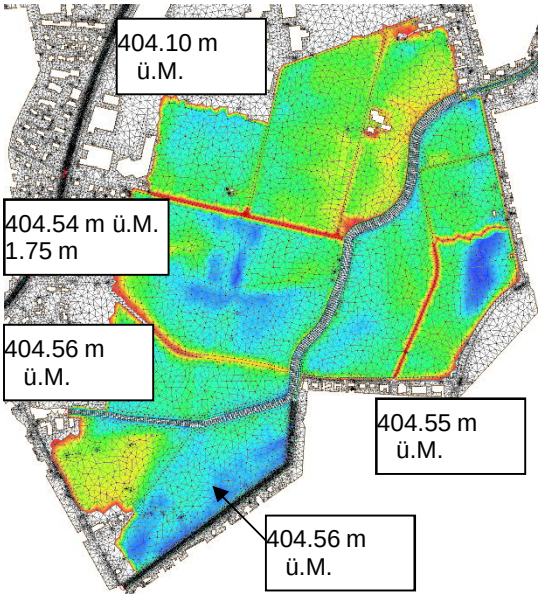
Szenario 5



Szenario 6



Szenario 7



Erforderliche Dammkoten

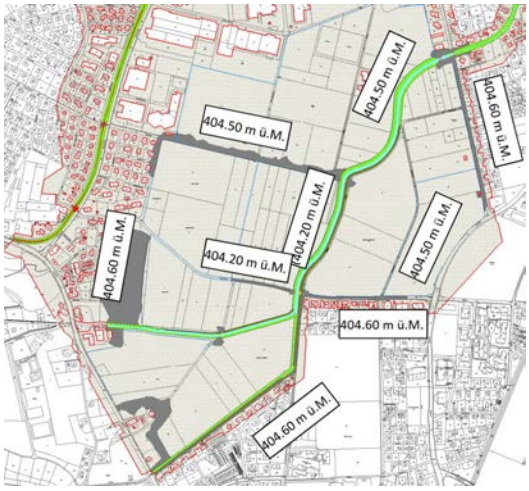


Abbildung Anhang B-23: Maximale Wasserspiegellagen, Wassertiefen und erforderliche Dammkoten, Konzept «Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2»

Da die Konzepte «Flutkorridor» sowie «Vorprojekt, angepasste Retentionsfläche 2» mehr Geländeanpassungen beinhalten, aber keinen wesentlichen Vorteil gegenüber dem Konzept «Vorprojekt» bieten, wird das Konzept «Vorprojekt» definitiv weiterverfolgt.

Entscheid Trenncharakteristik Littenbach

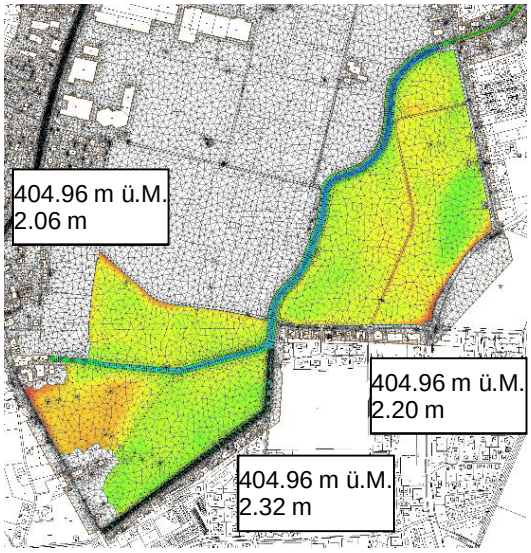
Auf Basis des Entscheids über das definitive Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt» wurden die beiden Trenncharakteristika 24 m^3/s im Littenbach und 11 m^3/s im Littenbach, s. hierzu Anhang B.4.2, gegenübergestellt. In der untenstehenden Abbildung sind die Resultate der Trenncharakteristik mit 11 m^3/s unter den Szenarien 5, 6 und 7 sowie die erforderlichen Dammkoten grafisch dargestellt. In der obigen Abbildung Anhang B-21: Maximale Wasserspiegellagen, Wassertiefen und erforderliche Dammkoten, Konzept «Vorprojekt» sind die Resultate für die Trenncharakteristik 24 m^3/s im Littenbach ersichtlich. In der untenstehenden Tabelle sind die dafür notwendigen Dammkoten für beide Trenncharakteristika zusammengefasst.

Tabelle Anhang B-10: Resultate der Dammkoten pro Trenncharakteristik in [m ü.M.], Benennung s. Abbildung Anhang B-20

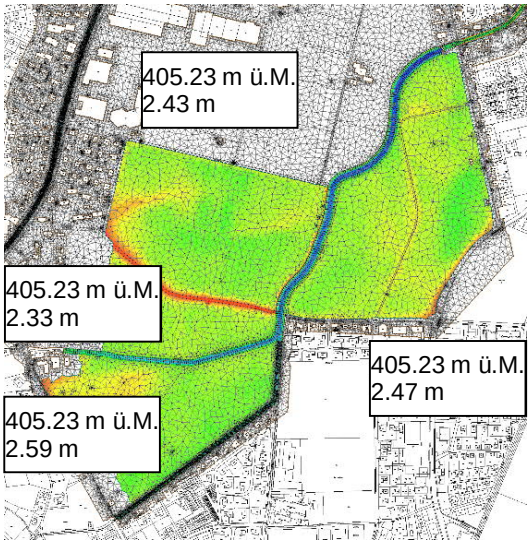
	Trenncharakteristik max. 24 m^3/s	**Trenncharakteristik max. 11 m^3/s**
1-a	404.60	405.40
1-b	404.60	405.40
1-c	404.10	405.00
2-a	404.60	405.40
2-c	404.60	405.40
2-d	(keine Anp.)	405.40
Ü-a	404.10	405.00
Ü-c	404.40	405.25
N	404.40	405.25

Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt», Trenncharakteristik 11m³/s Littenbach

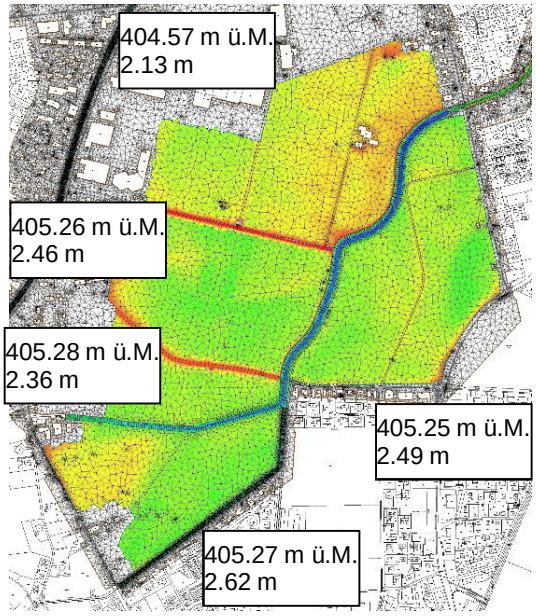
Szenario 5



Szenario 6



Szenario 7



Erforderliche Dammkoten

Abbildung Anhang B-24: Maximale Wasserspiegellagen, Wassertiefen und erforderliche Dammkoten, Konzept «Vorprojekt», Trenncharakteristik 11 m3/s

Da bei der Trenncharakteristik mit dem Maximalabfluss im Littenbach von 11 m³/s die Dammkoten wesentlich höher sein müssten (mind. 80 cm höher), wird die Trenncharakteristik mit dem Maximalabfluss im Littenbach von 24 m³/s definitiv weiterverfolgt.

Definitive Dammkoten

In der untenstehenden Abbildung sind die definitiven Dammkoten ersichtlich (Retentionsflächen-Konzept «Vorprojekt», Trenncharakteristik 24 m^3/s im Littenbach).

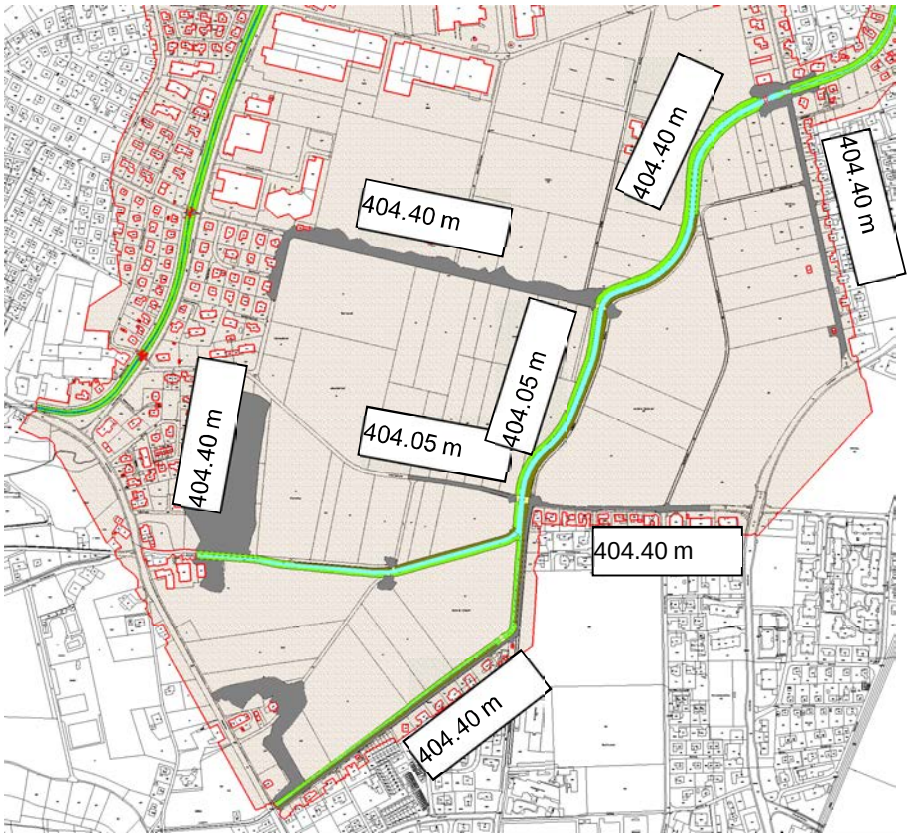


Abbildung Anhang B-25: Definitive Dammkoten

Mit diesen Dammkoten werden folgende Freibordhöhen eingehalten, s. auch untenstehende Abbildungen.

- Szenario 5 (HQ_{100}) f = 35 cm Dämme zwischen Siedlung und Retentionsräumen
  f = 0 cm Dämme zwischen Retentionsfläche 1/2 und Überlastfall)
- Szenario 6 (HQ_{300}) f = 0 cm Becken bordvoll gefüllt
- Szenario 7 (EHQ) Dämme werden überströmt

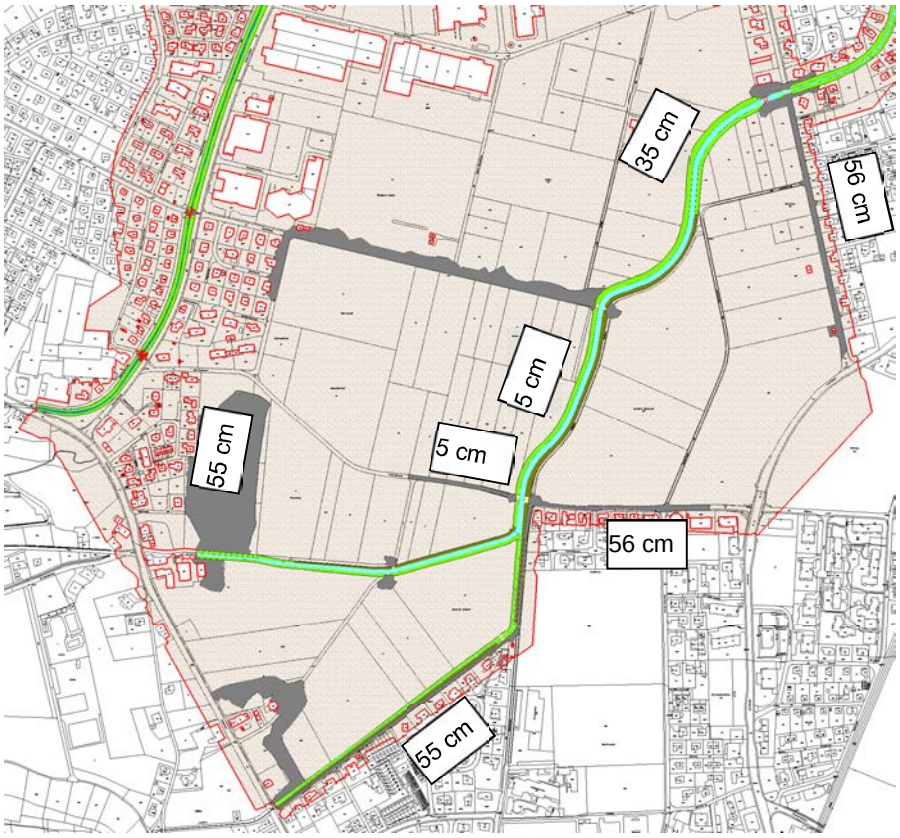


Abbildung Anhang B-26: Definitive Freibordhöhen Szenario 5

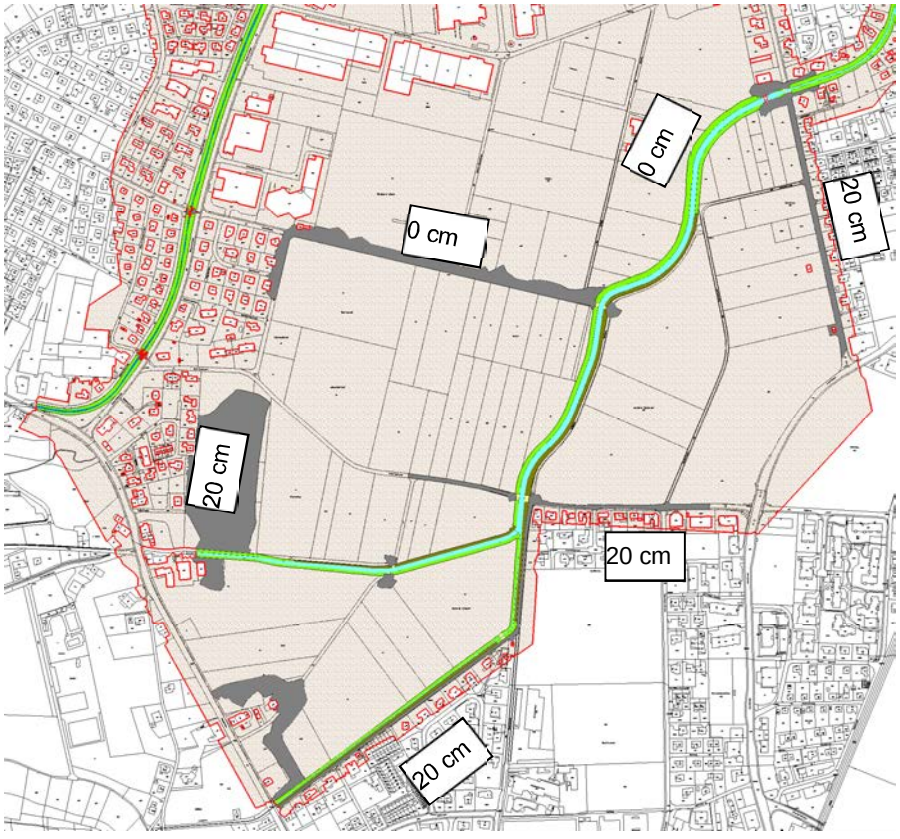


Abbildung Anhang B-27: Definitive Freibordhöhen Szenario 6

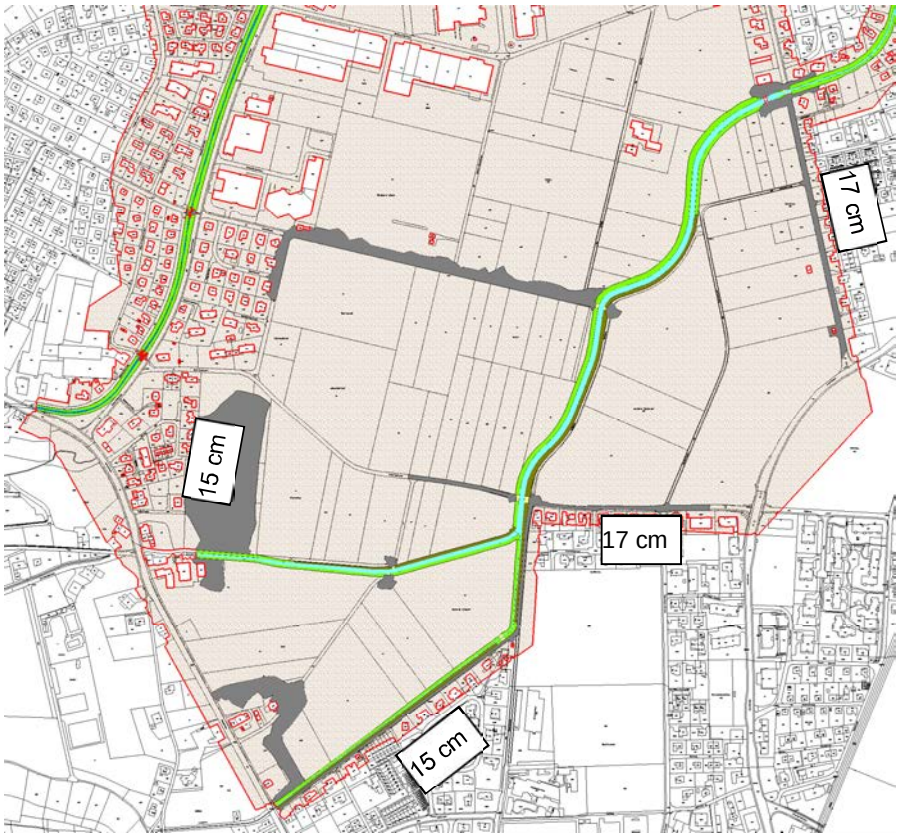


Abbildung Anhang B-28: Definitive Freibordhöhen Szenario 7

Anhang C Hydraulik Bypass Sedimentationsbecken

Die Dimensionierung des Bypasses erfolgte unter der Annahme von Niederwasserabfluss und wurde für Normalabflussbedingungen und 80 % Teilfüllung bemessen. Die verwendeten Parameter für die Bemessung des Rohrdurchmessers sind in Tabelle Anhang C-1 zusammengestellt. Die Annahme für den Niederwasserabfluss beruht auf [41].

Tabelle Anhang C-1: Parameter des dimensionierten Bypasses

Kennwerte			
Dimensionierungsabfluss (Niederwasser)	Q	[m^3/s]	0.40
Rohrdurchmesser	D	[m]	0.80
Teilfüllung	h/D	[-]	0.80
Wasserspiegel im OW	H_{OW}	[m ü. M.]	400.91
Strickler-Beiwert	k_{st}	[$m^{1/3}/s$]	95
Länge	L	[m]	226
Längsgefälle	J	[%]	0.06

In einem nächsten Schritt wurde die P-Q-Relation für den dimensionierten Bypass bestimmt (Abbildung Anhang C-1). Neben Freispiegelabfluss wurde auch Druckabfluss betrachtet. Hierfür wurden neben den Reibungsverlusten auch Krümmungs-, Einlauf- und Auslaufverluste berücksichtigt. Der Reibungsbeiwert λ wurde mittels der Gleichung von Prandtl-Colebrook berechnet.

Die resultierende P-Q-Beziehung zeigt, dass bei einem Wasserspiegel von 0.80 m im Oberwasser 0.40 m^3/s abgeführt werden, bei einem Staupegel von 2.00 m kann die Abflussmenge von 1.28 m^3/s durchgeleitet werden. Der Übergangsbereich zwischen Freispiegel- und Druckabfluss ist schwierig zu identifizieren, und liegt ca. zwischen 0.90 h/D und 1.20 h/D, resp. h_o = 0.92 m und 1.15 m. Innerhalb dieses Bereiches liegt ein instabiler Abfluss vor und Kapazitätseinbussen infolge Zuschlagen sind möglich.

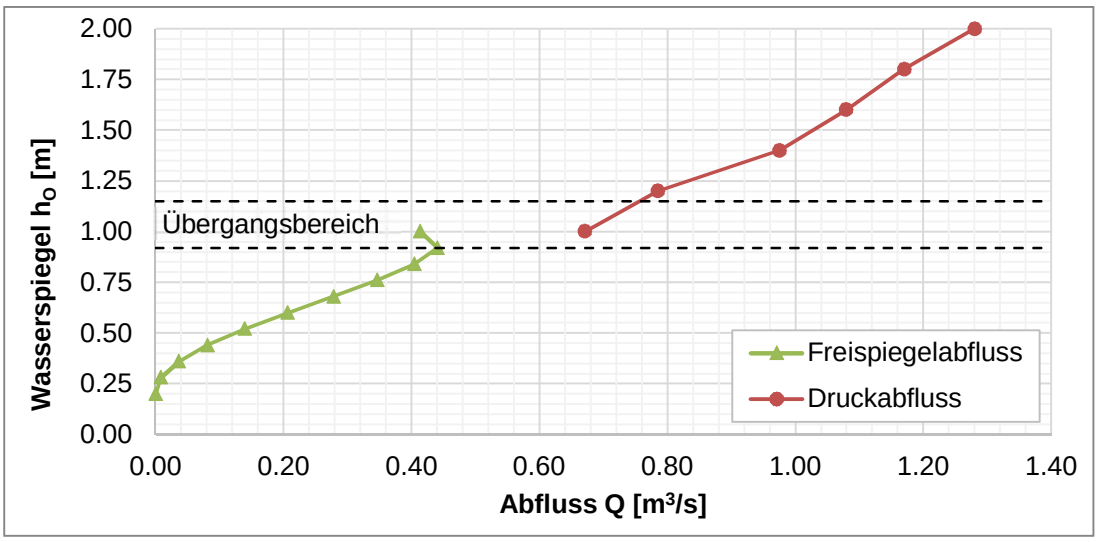


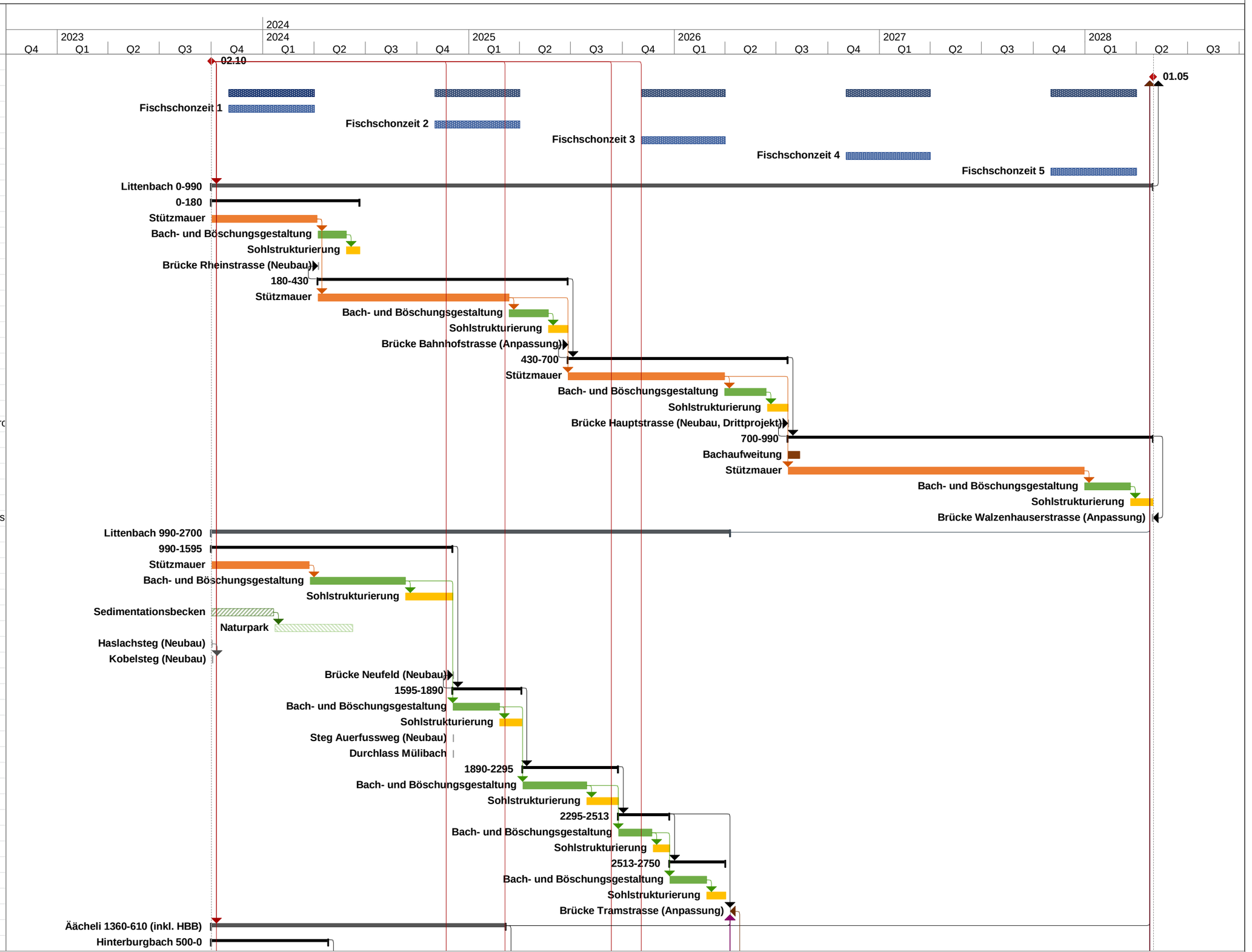
Abbildung Anhang C-1: P-Q-Relation des Bypasses

Anhang D Bauprogramm detailliert

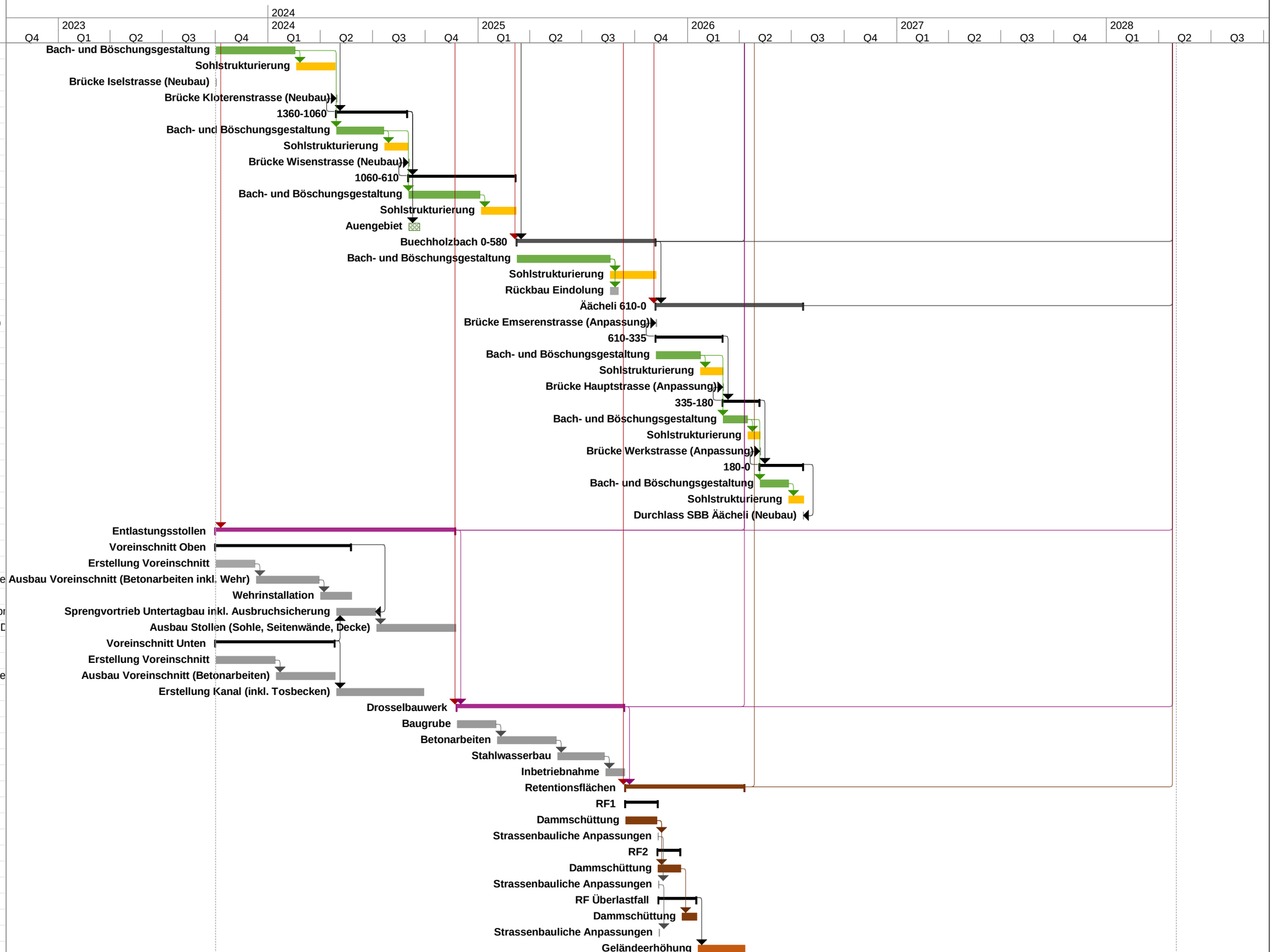
HWS Littenbach-Äächeli - Provisorisches Bauprogramm Stufe Bauprojekt

(Dossier Wasserbau ohne Brücken & Strassen)

Nr.	Dauer	Vorgangsname
1	0 W	Baubeginn
2	0 W	Bauende
3	**226.5 W**	**Fischschonzeit**
4	21.6 W	Fischschonzeit 1
5	21.4 W	Fischschonzeit 2
6	21.4 W	Fischschonzeit 3
7	21.6 W	Fischschonzeit 4
8	22 W	Fischschonzeit 5
9	**239.1 W?**	**Littenbach 0-990**
10	**37.8 W**	**0-180**
11	27 W	Stützmauer
12	7.2 W	Bach- und Böschungsgestaltung
13	3.6 W	Sohlstrukturierung
14	0.2 W?	Brücke Rheinstrasse (Neubau)
15	**63.6 W**	**180-430**
16	48.6 W	Stützmauer
17	10 W	Bach- und Böschungsgestaltung
18	5 W	Sohlstrukturierung
19	0.2 W?	Brücke Bahnhofstrasse (Anpassung)
20	**55.8 W**	**430-700**
21	39.6 W	Stützmauer
22	10.8 W	Bach- und Böschungsgestaltung
23	5.4 W	Sohlstrukturierung
24	0.2 W?	Brücke Hauptstrasse (Neubau, Drittpro
25	**92.7 W**	**700-990**
26	3 W	Bachaufweitung
27	75.3 W	Stützmauer
28	11.6 W	Bach- und Böschungsgestaltung
29	5.8 W	Sohlstrukturierung
30	0.2 W?	Brücke Walzenhauserstrasse (Anpass
31	**132 W?**	**Littenbach 990-2700**
32	**61.3 W?**	**990-1595**
33	25 W	Stützmauer
34	24.2 W	Bach- und Böschungsgestaltung
35	12.1 W	Sohlstrukturierung
36	16 W	Sedimentationsbecken
37	20 W	Naturpark
38	0.2 W?	Haslachsteg (Neubau)
39	0.2 W?	Kobelsteg (Neubau)
40	0.2 W?	Brücke Neufeld (Neubau)
41	**17.7 W?**	**1595-1890**
42	11.8 W	Bach- und Böschungsgestaltung
43	5.9 W	Sohlstrukturierung
44	0.2 W?	Steg Auerfussweg (Neubau)
45	0.2 W?	Durchlass Mülibach
46	**24.3 W**	**1890-2295**
47	16.2 W	Bach- und Böschungsgestaltung
48	8.1 W	Sohlstrukturierung
49	**13.1 W**	**2295-2513**
50	8.7 W	Bach- und Böschungsgestaltung
51	4.4 W	Sohlstrukturierung
52	**14.3 W**	**2513-2750**
53	9.5 W	Bach- und Böschungsgestaltung
54	4.8 W	Sohlstrukturierung
55	0.2 W?	Brücke Tramstrasse (Anpassung)
56	**75 W?**	**Äächeli 1360-610 (inkl. HBB)**
57	**30 W?**	**Hinterburgbach 500-0**



HWS Littenbach-Äächeli - Provisorisches Bauprogramm Stufe Bauprojekt

(Dossier Wasserbau ohne Brücken & Strassen)

Nr.	Dauer	Vorgangsname
58	20 W	Bach- und Böschungsgestaltung
59	10 W	Sohlstrukturierung
60	0.2 W?	Brücke Iselstrasse (Neubau)
61	0.2 W?	Brücke Kloterenstrasse (Neubau)
62	**18 W**	**1360-1060**
63	12 W	Bach- und Böschungsgestaltung
64	6 W	Sohlstrukturierung
65	0.2 W?	Brücke Wisenstrasse (Neubau)
66	**27 W**	**1060-610**
67	18 W	Bach- und Böschungsgestaltung
68	9 W	Sohlstrukturierung
69	3 W	Auengebiet
70	**34.8 W**	**Buechholzbach 0-580**
71	23.2 W	Bach- und Böschungsgestaltung
72	11.6 W	Sohlstrukturierung
73	2 W	Rückbau Eindolung
74	**36.6 W?**	**Äächeli 610-0**
75	0.2 W?	Brücke Emserenstrasse (Anpassung)
76	**16.5 W**	**610-335**
77	11 W	Bach- und Böschungsgestaltung
78	5.5 W	Sohlstrukturierung
79	0.2 W?	Brücke Hauptstrasse (Anpassung)
80	**9.3 W**	**335-180**
81	6.2 W	Bach- und Böschungsgestaltung
82	3.1 W	Sohlstrukturierung
83	0.2 W?	Brücke Werkstrasse (Anpassung)
84	**10.8 W**	**180-0**
85	7.2 W	Bach- und Böschungsgestaltung
86	3.6 W	Sohlstrukturierung
87	0.2 W?	Durchlass SBB Äächeli (Neubau)
88	**60 W**	**Entlastungsstollen**
89	**34 W**	**Voreinschnitt Oben**
90	10 W	Erstellung Voreinschnitt
91	16 W	Ausbau Voreinschnitt (Betonarbeite
92	8 W	Wehrinstallation
93	10 W	Sprengvortrieb Untertagbau inkl. Ausbr
94	20 W	Ausbau Stollen (Sohle, Seitenwände, D
95	**30 W**	**Voreinschnitt Unten**
96	15 W	Erstellung Voreinschnitt
97	15 W	Ausbau Voreinschnitt (Betonarbeite
98	22 W	Erstellung Kanal (inkl. Tosbecken)
99	**42 W**	**Drosselbauwerk**
100	10 W	Baugrube
101	15 W	Betonarbeiten
102	12 W	Stahlwasserbau
103	5 W	Inbetriebnahme
104	**30 W?**	**Retentionsflächen**
105	**8.2 W?**	**RF1**
106	8 W	Dammschüttung
107	0.2 W?	Strassenbauliche Anpassungen
108	**6 W?**	**RF2**
109	6 W	Dammschüttung
110	0.2 W?	Strassenbauliche Anpassungen
111	**9.6 W?**	**RF Überlastfall**
112	4 W	Dammschüttung
113	0.2 W?	Strassenbauliche Anpassungen
114	12 W	Geländeerhöhung