Politische Gemeinde
9425 **Thal**

Politische Gemeinde
9424 **Rheineck**

# Gstaldenbach - Freibach

## Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen

## Optimieren der wasserbaulichen Massnahmen

Zürich, den 26. Mai 2016

Flussbau AG SAH
dipl. Ing. ETH/SIA flussbau.ch
Holbeinstr. 34, CH-8008 Zürich, Tel. 044 251 51 74, Fax 044 251 51 78, sah.zh@flussbau.ch

**Auftraggeber**

**Politische Gemeinde Rheineck**
**Politische Gemeinde Thal**

Federführung
Politische Gemeinde Rheineck
Hauptstrasse 21
9424 Rheineck

Kontaktperson: Hans Pfäffli / Rheineck

Tel. 071 886 40 10 (H. Pfäffli)
Mail h.pfaeffli@rheineck.ch

**Projektverfasser / Projektteam**

Flussbau AG SAH
dipl. Ing. ETH/SIA flussbau.ch

Holbeinstrasse 34
CH - 8008 Zürich

*Projektleiter:* Dr. Ueli Schälchli
044 251 51 74
ueli.schaelchli@flussbau.ch

*Sachbearbeiterin:* Anja Geiger

Fotos Titelblatt:

| | |
|---|---|
| Gstaldenbach bei Brücke Vogelherd - Unteren | Gstaldenbach bei Hinterlochen |
| Gstaldenbach bei Hächleren | Freibach bei Neumüli |

# Inhalt

1 Einleitung ..... 1
1.1 Aufgabenstellung und Ziele ..... 1
1.2 Perimeter ..... 1
1.3 Grundlagen ..... 1
2 Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen ..... 3
2.1 Übersicht ..... 3
2.2 Geschiebeaufkommen ..... 5
2.3 Schwemmholzaufkommen ..... 6
3 Modellberechnungen Istzustand ..... 8
3.1 Modellaufbau ..... 8
3.2 Überblick Szenarien Istzustand ..... 10
3.3 Szenario I1: Stationäre Abflüsse ..... 11
3.4 Szenario I2: HQ100, GZ 1’850m$^3$ ..... 13
3.5 Szenario I3: HQ100, GZ 2’780m$^3$ ..... 15
3.6 Szenario I4: HQ300, GZ 3’450m$^3$ ..... 17
4 Modellberechnungen Projektzustand ..... 19
4.1 Modellanpassungen ..... 19
4.2 Überblick Szenarien Projektzustand ..... 19
4.3 Szenario P1: Stationäre Abflüsse ..... 20
4.4 Szenario P2: HQ100, GZ 2’780m$^3$ ..... 22
4.5 Szenario P3: HQ300, GZ 3’450m$^3$ ..... 24
4.6 Szenario P4: HQ100, GZ 2’780m$^3$, GAP Sefar schmal ..... 26
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen ..... 28

Anhang 1 Fotos Begehung 22.12.2015

Plan 1 Gstaldenbach, Heiden bis Kantonsgrenze. Situation 1:5’000

Plan 2 Gstalden- und Freibach, EW Heiden bis Alter Rhein. Situation 1:5’000

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung und Ziele

Der Gstaldenbach fliesst von Heiden durch ein enges Tobel nach Thal, wo er den von Süden zufliessenden Dorfbach (auch Klusbach) aufnimmt. Anschliessend heisst das Gewässer Freibach und fliesst bei Rheineck in den Alten Rhein. Das Gefälle von Gstalden- und Freibach nimmt zwischen dem Tobelausgang und dem Alten Rhein stetig ab.

Am Gstaldenbach sind der Ausbau des Gerinnes und flussabwärts der Mündung des Dorfbachs der Geschiebeablagerungsplatz (GAP) Sefar geplant. Am Dorfbach besteht ein Geschiebesammler am Tobelausgang.

Zur Überprüfung und Optimierung des Projekts waren folgende Abklärungen durchzuführen:

- Abschätzen der Geschiebe- und Schwemmholzfracht im Gstaldenbach bei einem HQ100[1] und bei einem HQ300.
- Untersuchen des Geschiebetransports im Gstalden- und Freibach im Istzustand sowie mit Projekt.
- Untersuchen von Lage und Wirkung des geplanten Geschiebeablagerungsplatzes Sefar.
- Ausarbeiten von Vorschlägen zur Optimierung der wasserbaulichen Massnahmen.

## 1.2 Perimeter

Bezüglich Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen umfasst der Perimeter das gesamte Einzugsgebiet des Gstalden- und Freibachs (Bild 1).

Die Untersuchung des Geschiebetransports betrifft den Gstalden- und den Freibach zwischen dem Tobelausgang und dem Alten Rhein.

## 1.3 Grundlagen

Für die Untersuchungen wurden durch das Büro Bänziger Partner AG folgende Grundlagen zur Verfügung gestellt:

[1] Querprofile Gstalden- und Freibach im Ist- und Projektzustand ab Kantonsgrenze.

[2] Situation, Quer- und Längenprofile des geplanten GAP Sefar.

[3] Hochwasserabflüsse HQ100 und HQ300 vor und nach der Mündung des Dorfbachs.

[4] Geländemodell und Querprofile Gstaldenbach im Kt. AR (KW Heiden bis Kantonsgrenze).

---

[1] HQ100: Hochwasserereignis, das statistisch betrachtet alle 100 Jahre einmal auftritt. HQ300 entsprechend.

Durch die Flussbau AG wurden im Feld folgende Grundlagen erhoben:

[5] Geschiebe- und Schwemmholzherde im Tobel zwischen Listweiher und dem KW Heiden.

[6] Linienprobe beim KW Heiden.

[7] Sohlen- und Uferrauheiten im Gstalden- und Freibach zwischen dem KW Heiden und dem Alten Rhein.

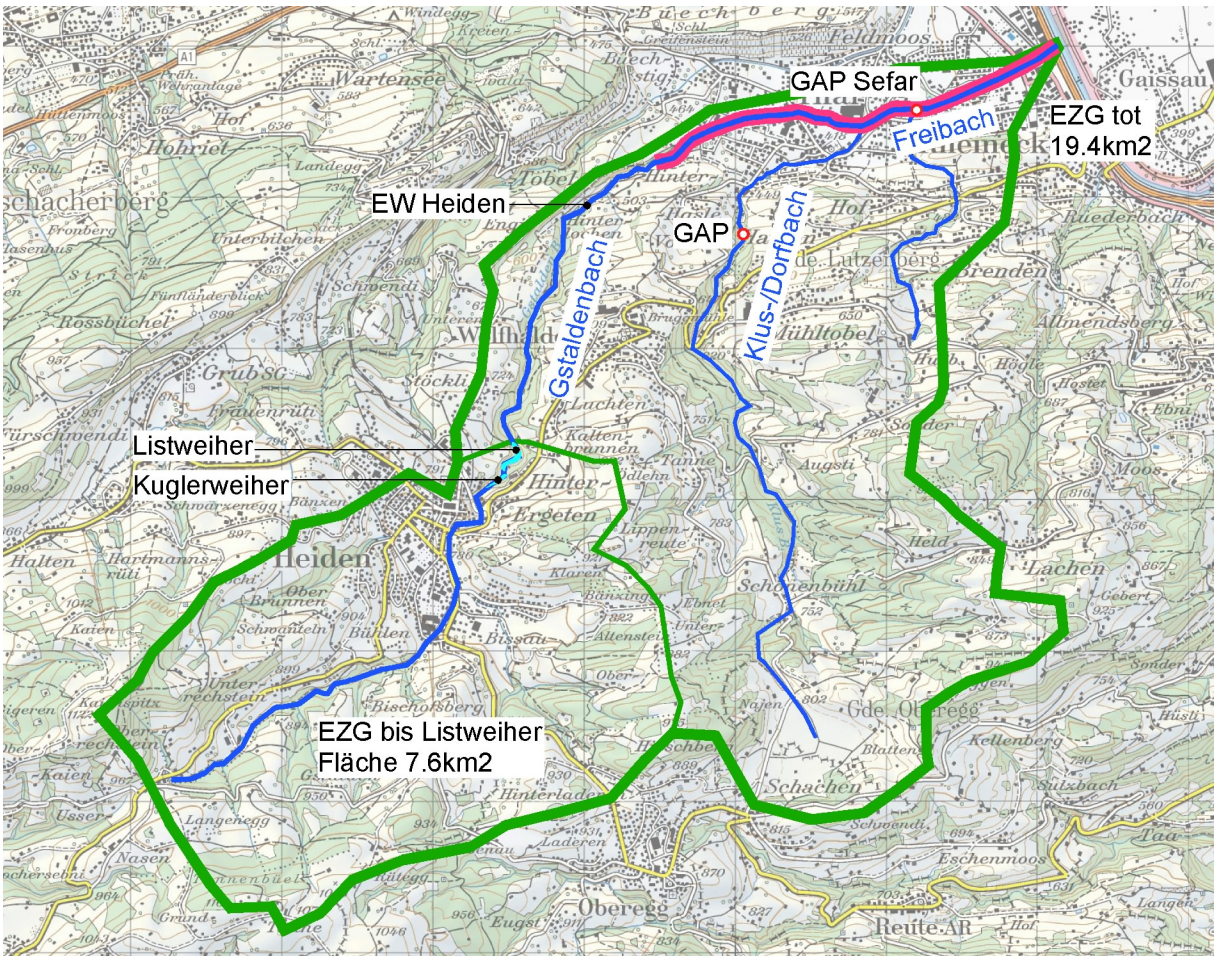



*Bild 1 Einzugsgebiet Gstalden- und Freibach mit Modellstrecke (rot) und geplantem GAP Sefar. GAP: Geschiebeablagerungsplatz.*

# 2 Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen

## 2.1 Übersicht

*Einzugsgebiet*

*Bild 1*

Das Einzugsgebiet des Gstaldenbachs erstreckt sich vom Kaienspitz (1'122m ü.M.) bis zum Alten Rhein (400m ü.M.) und umfasst insgesamt 19.4km$^2$.

In Thal mündet der Dorfbach von Süden in den Gstaldenbach. Der Dorfbach verfügt über einen Geschiebe- und Schwemmholzsammler im Kellentobel.

*EW Heiden*

Nach Heiden bestehen zwei Staumauern, die den Kugler- und den Listweiher bilden.

Im Kuglerweiher (Bild 2) wird das vom Oberlauf zugeführte Geschiebe abgelagert und entnommen.

Der Listweiher (Bild 3 und Bild 4) dient als Speicher für das EW Heiden, dessen Kraftwerk am Tobelausgang liegt.

*Einzugsgebiet Geschiebe- und Schwemmholz-aufkommen*

Der Kugler- und der Listweiher unterbrechen den Geschiebetransport des Gstaldenbachs. Die ca. 15m hohe Staumauer des Listweihers mit dem kleinen Grundablass (ca. 1m$^2$) verhindert den Durchtransport des Geschiebes bei Hochwasserabfluss.

Der Schwemmholztransport durch den 200m langen Stausee und über die Staumauer ist wenig wahrscheinlich.

Der Geschiebe- und Schwemmholzeintrag aus dem Dorfbach ist vernachlässigbar (Sammler Kellentobel).

Dementsprechend beschränkt sich das Geschiebe- und Schwemmholzaufkommen auf den Gstaldenbach ab Listweiher.

*Sanierungsplanung Geschiebehaushalt*

Gemäss Angabe Martin Eugster, Kt. AR, ist vorgesehen, die Anlagen (Kugler- und Listweiher) bezüglich Geschiebehaushalt zu sanieren und einen Teil des Kieses bachabwärts weiter zu geben.

Bei grossen Hochwasserabflüssen soll auch nach Sanierung des Geschiebehaushalts ein Grossteil des zugeführten Geschiebes in den Weihern zurückgehalten werden.

*Bild 2*

*Kuglerweiher mit Rückhalte-raum und Staumauer.*

*22.12.2015.*

*Bild 3 (oben)*

*Stauraum des Listweihers.*

*Bild 4 (rechts)*

*Staumauer des Listweihers.*

## 2.2 Geschiebeaufkommen

*Vorgehen*

Das Geschiebeaufkommen des Gstaldenbachs wurde aufgrund einer Begehung durch Kartierung aller vorhandenen und potenziellen Geschiebeherde sowie der Zufuhr aus Zuflüssen und Runsen bestimmt.

Damit ergibt sich die potenzielle Geschiebelieferung bei einem sehr seltenen Hochwasserereignis (HQ300). Für die Abschätzung der Geschiebelieferung bei einem HQ100 wurden die einzelnen Einträge unter Berücksichtigung der zu erwartenden Prozesse reduziert.

*Einzugsgebiet bis Heiden*

Das Geschiebeaufkommen aus dem oberen Einzugsgebiet wurde im Rahmen eines anderen Auftrages (Gstaldenbach, Kt. AR) abgeschätzt.

Bei einem HQ100 ist von einer Geschiebefracht von 3'000m$^3$ auszugehen.

*Geschiebeaufkommen*

*Bilder Anhang 1: A1 – A9*

In Plan 1 sind die Lage der kartierten Abschnitte und der anstehende Fels ersichtlich.

Die Tobelstrecke zeichnet sich aus durch dominant anstehenden Fels an Sohle und Ufern. Der Fels fällt von Süden nach Norden ab, bildet hohe Felsschwellen und begrenzt das Gerinne seitlich durch geschichtete Felsbänder.

Das Geschiebeaufkommen beschränkt sich auf Einträge aus Runsen, Felsabbrüchen, kleinen Ufer- und Hanganrissen, der Mobilisierung von kleinen Bänken sowie der Ausräumung von Sperrenfeldern.

In Tabelle 1 ist das in den Abschnitten gemäss Plan 1 kartierte Geschiebeaufkommen bei Hochwasserereignissen HQ300 und HQ100 aufgelistet. Dementsprechend liegt das Geschiebeaufkommen in folgender Grössenordnung:

| | |
|---|---|
| HQ300 | 2'350m$^3$ |
| HQ100 | 1'850m$^3$ |

Darin berücksichtigt ist die Ausräumung von Sperrenfeldern bachabwärts des EW Heiden entsprechend dem Istzustand. Werden weitere Sperren (bis zur Sohlenpflästerung km2.3) hinterfüllt, so kann die Fracht noch etwas grösser ausfallen.

*Tabelle 1 Geschiebelieferung zwischen dem Listweiher und der Kantonsgrenze bei einem HQ300 und einem HQ100.*

| Abschnitt Nr. | Geschiebeeintrag Art | HQ300 [m3], ro=2to/m3 | HQ100 [m3], ro=2to/m3 |
|---|---|---|---|
| 3 | Seitlicher Eintrag | 100 | 80 |
| 4 | Kleine Kiesbank | 5 | 5 |
| 5 | 2 Kleine Kiesbänke | 10 | 10 |
| 6 | Felsschwelle, h=15m | 0 | 0 |
| 7 | Kiesbänke | 20 | 20 |
| 8 | Wenig Geschiebeablagerungen | 5 | 5 |
| 9 | Erosion Zufluss west | 400 | 320 |
| 9 | Geröll und Geschiebedepots | 10 | 10 |
| 10 | Aufweitung mit Geröll und Geschiebe | 300 | 240 |
| 11 | Ablagerungen hinter Betonsperre | 300 | 240 |
| 12 | Blöcke, Geröll, Kies | 50 | 50 |
| 13 | Zufluss mit Eintrag sowie Kiesablagerungen | 30 | 30 |
| 14 | Felsstrecke mit Geschiebedepots | 30 | 30 |
| 15 | Ausräumung hinterfüllte Sperre | 120 | 84 |
| 15 | Ausräumung Sperrenfeld | 120 | 84 |
| 16 | Ausräumung Sperrenfelder | 400 | 280 |
| 17 | Abtrag Kiesbank | 125 | 100 |
| 18 | Kiesbänke (mit Gras bewachsen) | 240 | 192 |
| 19 | Flache Bänke | 90 | 72 |
| | Total | 2355 | 1852 |
| | Total gerundet | 2350 | 1850 |

## 2.3 Schwemmholzaufkommen

*Vorgehen*

Das Schwemmholzaufkommen des Gstaldenbachs wurde durch Kartierung des vorhandenen Totholzes sowie des potenziell während einem Hochwasserereignis mobilisierbaren Lebendholzes abgeschätzt. Das mobilisierbare Lebendholz berücksichtigt durch Ufer- und Hanganrisse in das Gewässer eingetragene Bäume und Büsche.

Damit ergibt sich die potenzielle Schwemmholzfracht bei einem seltenen Hochwasserereignis (HQ300). Für die Abschätzung der Schwemmholzfracht bei einem HQ100 wurden die Kubaturen um 30% reduziert.

*Einzugsgebiet bis Heiden*

Das Schwemmholz aus dem oberen Einzugsgebiet bis Heiden wurde wegen dem Listweiher nicht berücksichtigt.

*Tobelstrecke*

*Bilder Anhang 1: A1, A3 – A6*

In der Tobelstrecke bestehen diverse vorwiegend kleine und lokal mittelgrosse Totholzdepots.

Zudem sind in einzelnen Abschnitten kleine bis mittelgrosse Bäume in den Bach gekippt.

*Schwemmholzfracht*

Die im Feld abgeschätzte Festkubatur wurde durch Multiplikation mit einem Faktor 4 (Lagerungsdichte 0.25) in Volumen lose umgerechnet. Dieses entspricht dem Volumen von Schwemmholzpaketen, die sich an Hindernissen bilden. Das Volumen lose ist damit massgebend für die Dimensionierung eines allfälligen Schwemmholzsammlers.

Bei Hochwasserereignissen ist am Tobelausgang mit folgendem Schwemmholzaufkommen zu rechnen:

HQ300 430m$^3$ lose

HQ100 300m$^3$ lose

Tabelle 2

*Potenzielles Schwemmholzaufkommen im Tobel bei einem HQ300 und einem HQ100.*

| Abschnitt Nr. | HQ300 [m3] Festholz | HQ300 [m3] lose | HQ100 [m3] lose |
|---|---|---|---|
| 4 | 12 | 48 | 34 |
| 5 | 8 | 32 | 22 |
| 6 | 6 | 24 | 17 |
| 7 | 23 | 92 | 64 |
| 8 | 7 | 28 | 20 |
| 9 | 10 | 40 | 28 |
| 9 | 2 | 8 | 6 |
| 10 | 8 | 32 | 22 |
| 11 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 13 | 52 | 36 |
| 13 | 18 | 72 | 50 |
| Total | 107 | 428 | 300 |
| Gerundet | 100 | 430 | 300 |

# 3 Modellberechnungen Istzustand

## 3.1 Modellaufbau

*Modellperimeter*

Das hydraulische Modell erstreckt sich von der Kantonsgrenze bis zur Mündung in den Alten Rhein und umfasst insgesamt 133 Querprofile.

Im bachaufwärts anschliessenden Bachabschnitt (Kt. AR) wurden zusätzlich 11 Querprofile berücksichtigt.

*Schwellen*

Im Gstaldenbach bestehen viele unterschiedlich hohe Schwellen. Teilweise sind die Schwellen in sehr nahem Abstand angeordnet.

Im Modell wurden die hohen Schwellen mit langem Schwellenfeld berücksichtigt. Hinter diesen Schwellen kann viel Geschiebe umgelagert werden.

Im Appenzeller Abschnitt wurden keine Schwellen berücksichtigt.

*Sohle*

Die Sohle besteht abschnittsweise aus Kies (Bachschotter) oder ist künstlich abgepflästert.

In den Abschnitten mit Kiessohle wurden die massgebenden Korngrössen (d90, dm) im Feld erhoben und im Modell entsprechend berücksichtigt. Die Korngrössen nehmen in Fliessrichtung von 60/30cm (d90/dm) auf 20/10cm ab.

Im revitalisierten Abschnitt wurden Korngrössen von 70/35cm (d90/dm) berücksichtigt.

In den abgepflästerten Abschnitten wurde ein Strickler-k-Wert von $35m^{1/3}/s$ eingesetzt.

*Ufer*

Die glatten Ufer (Mauer oder Gras geschnitten) wurden mit einem Strickler–k-Wert von $40m^{1/3}/s$ berücksichtigt.

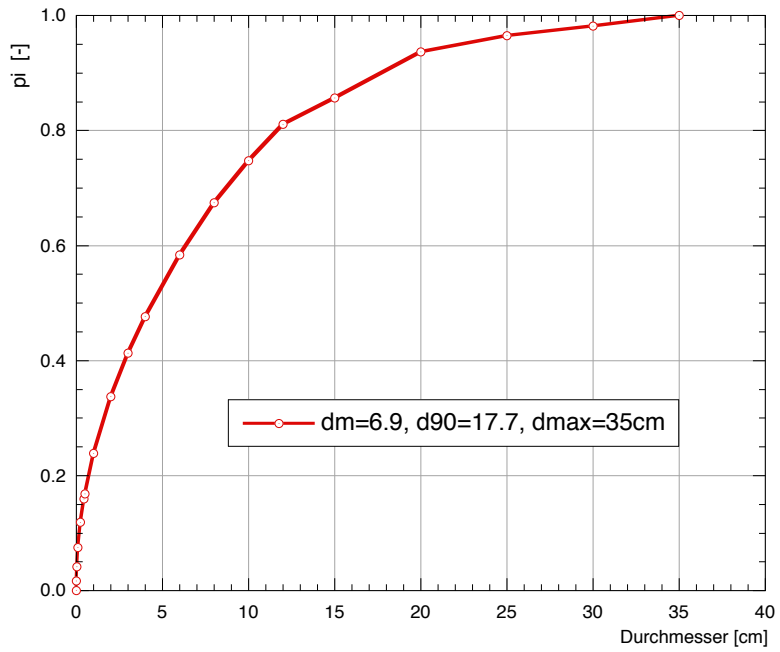
*Geschiebe*

Bei grossen Hochwasserereignissen ist davon auszugehen, dass neben Kies auch Steine und kleine Blöcke aus dem Tobel in die Projektstrecke transportiert werden.

Die Zusammensetzung des im Modell zugeführten Geschiebes entspricht der Kornverteilung der am Tobelausgang erfassten Linienprobe (Bild 5). Der hohe Abrieb des weichen Gesteins (Sandstein, Mergel) wurde mit einem Sternberg-Koeffizienten von 0.05 berücksichtigt.

*Bild 5*

*Kornverteilung Geschiebe (Linienprobe km3.55, Plan 2).*




*Abflussganglinien*

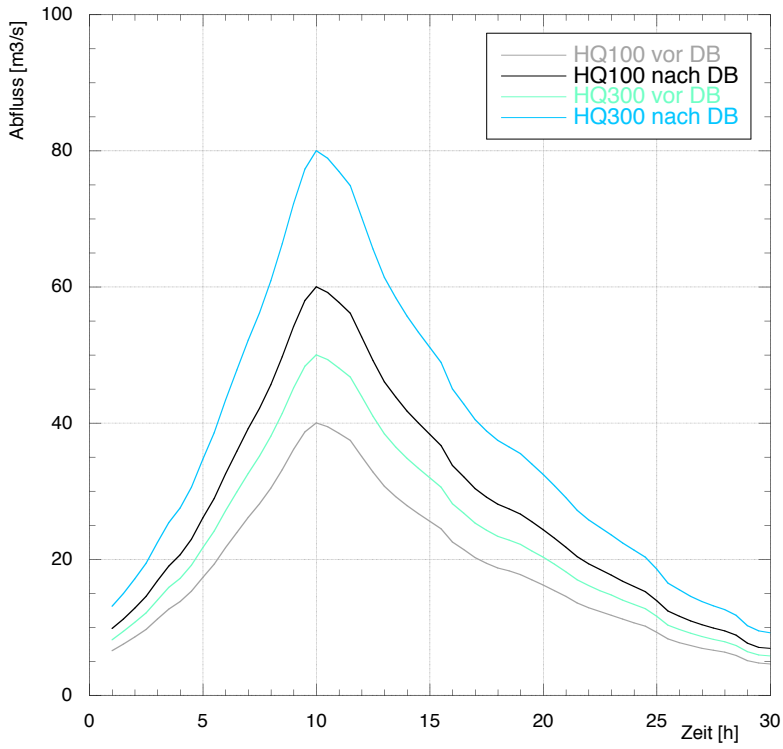
Bei einem HQ300 und einem HQ100 sind gemäss [3] folgende Abflussspitzen zu erwarten:

| | vor Dorfbach | nach Dorfbach |
|---|---|---|
| HQ300 | 50m$^3$/s | 80m$^3$/s |
| HQ100 | 40m$^3$/s | 60m$^3$/s |

Der Verlauf der Hochwasserganglinie wurde anhand gemessener Ganglinien am Steinenbach und der Thur bei Stein angenähert und die Ganglinie linear auf die entsprechenden Abflussspitzen umgerechnet (Bild 6).

*Bild 6*

*Hochwasserganglinien HQ100 und HQ300 vor und nach der Mündung des Dorfbachs.*



## 3.2 Überblick Szenarien Istzustand

Es werden folgende vier Szenarien dokumentiert:

*Staukurve*

Szenario I1:

Hydraulische Berechnung mit stationären Abflüssen auf fester Sohle.

*Szenarien mit Sohlenänderungen*

Szenarien I2 – I4:

Berechnung der Hochwasserganglinien gemäss Bild 6 mit unterschiedlichen Geschiebezufuhren.

*Tabelle 3 Überblick der durchgeführten Szenarien im Istzustand.*

| Szenario | Typ | Abfluss | Geschiebezufuhr |
|---|---|---|---|
| I1 | Stationäre Abflüsse | HQ300, HQ100, zusätzlich kleine Hochwasser | 0 |
| I2 | Ganglinie mit Sohlenänderungen | HQ100 | 1’850m$^3$ |
| I3 | Ganglinie mit Sohlenänderungen | HQ100 | 2’780m$^3$ |
| I4 | Ganglinie mit Sohlenänderungen | HQ300 | 3’450m$^3$ |

## 3.3 Szenario I1: Stationäre Abflüsse

*Ziel*

Berechnung des Wasserspiegelverlaufs und Ermittlung der Schwachstellen bei HQ100 und HQ300 unter Annahme einer stabilen Sohlenlage.

*Abflüsse*

Es wurden folgende vier Abflüsse berechnet:

| | vor Dorfbach | nach Dorfbach |
|---|---|---|
| Abfluss 1 | 10m$^3$/s | 15m$^3$/s |
| Abfluss 2 | 20m$^3$/s | 30m$^3$/s |
| HQ100 | 40m$^3$/s | 60m$^3$/s |
| HQ300 | 50m$^3$/s | 80m$^3$/s |

*Resultate*

Bild 7 zeigt das Längenprofil mit dem Verlauf der Sohle mit den berücksichtigten Schwellen, der Wasserspiegel, der Uferlinien und den Brückenunterkanten.

*Wasserspiegel*

Bis zur Mündung des Dorfbachs verläuft der Wasserspiegel deutlich tiefer als die Uferlinien. Es sind keine Schutzdefizite erkennbar.

Bachabwärts der Mündung des Dorfbachs verläuft der Wasserspiegel bei einem HQ100 und bei einem HQ300 im Bereich der Uferlinien oder teilweise darüber und es kommt zu Ausuferungen.

Im Appenzeller Abschnitt ist der Wasserspiegel wegen den nicht berücksichtigten Schwellen nicht repräsentativ.

*Brücken*

Folgende Brücken weisen ein ungenügendes Freibord auf oder werden eingestaut:

Brücke Töberstrasse
Brücken Sefar
Brücke Asylstrasse
Brücke km 0.49
Brücke Rorschacherstrasse

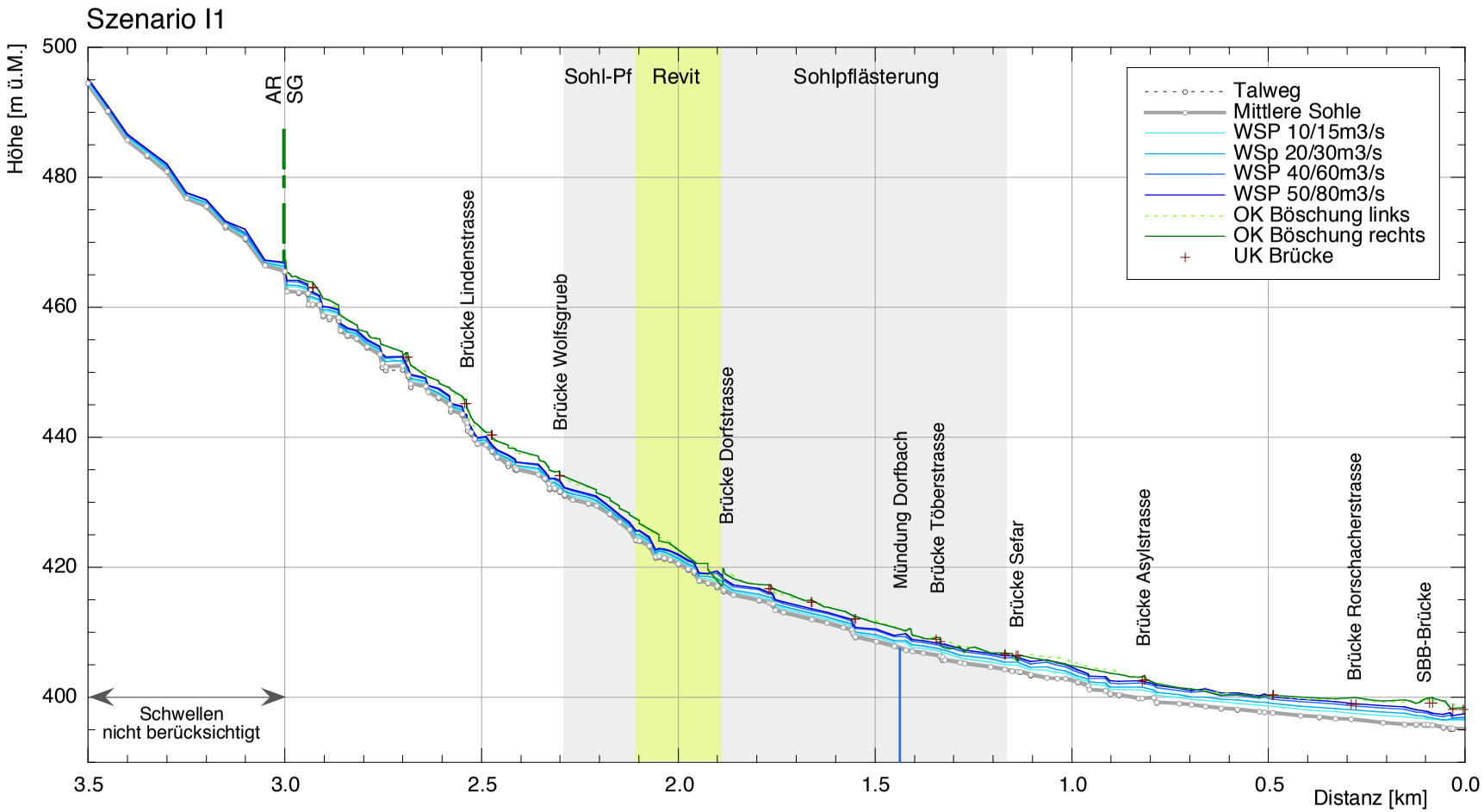



*Bild 7* *Längenprofil der Sohle (Talweg und mittlere Sohle), des Wasserspiegels bei 4 verschiedenen Abflüssen, der Uferlinien (OK Böschung links / rechts) sowie der Lage der Brückenunterkanten.*

## 3.4 Szenario I2: HQ100, GZ 1’850m$^3$

*Ziel*

Untersuchung des Geschiebetransports und von Sohlenauflandungen bei einem HQ100 mit aktuell zu erwartender Geschiebefracht.

*Abfluss*

Ganglinien gemäss Bild 6.

*Geschiebezufuhr*

1’850m$^3$

(1'350m$^3$ in Funktion des Abflusses; 500m$^3$ schubweise zwischen Zeitpunkt 7h und 12h, vgl. Bild 6).

*Resultate*

*Sohlenveränderungen*

*Bild 9 oben*

Im ersten Schwellenfeld wird viel Geschiebe abgelagert und die Sohle landet am oberen Ende des Schwellenfeldes um bis zu 1.3m auf.

Bachabwärts sind die Auflandungen bis km0.95 vernachlässigbar oder mit maximal 20cm klein.

Im Unterwasser der Rampe bei km1.92 (Brücke Dorfstrasse) kommt es kurzfristig zu Auflandungen von bis zu 50cm (Bild 8).

Bachabwärts von km0.95 kommt es zu Sohlenauflandungen von bis zu 45cm (km0.65).

Bachabwärts von km0.5 sind die Auflandungen gering.

*Geschiebefracht*

*Bild 9 unten*

Die Geschiebefracht wird bis km1.0 infolge Auflandung hinter Schwellen sowie des Abriebs von 1’850m$^3$ auf 1’350m$^3$ reduziert.

Bis km0.5 reduziert sich die Fracht auf 550m$^3$ und 420m$^3$ werden in den Alten Rhein transportiert.

*Fazit*

Zwischen km0.95 und km0.5 landet die Sohle um gegen 50cm auf, wodurch der Hochwasserspiegel angehoben wird. Dadurch kommt es bereits bei kleineren Hochwasserabflüssen zu Ausuferungen.

*Bild 8*

*Gstaldenbach mit Rampe im Unterwasser der Brücke Dorfstrasse.*

*Blick bachaufwärts.*

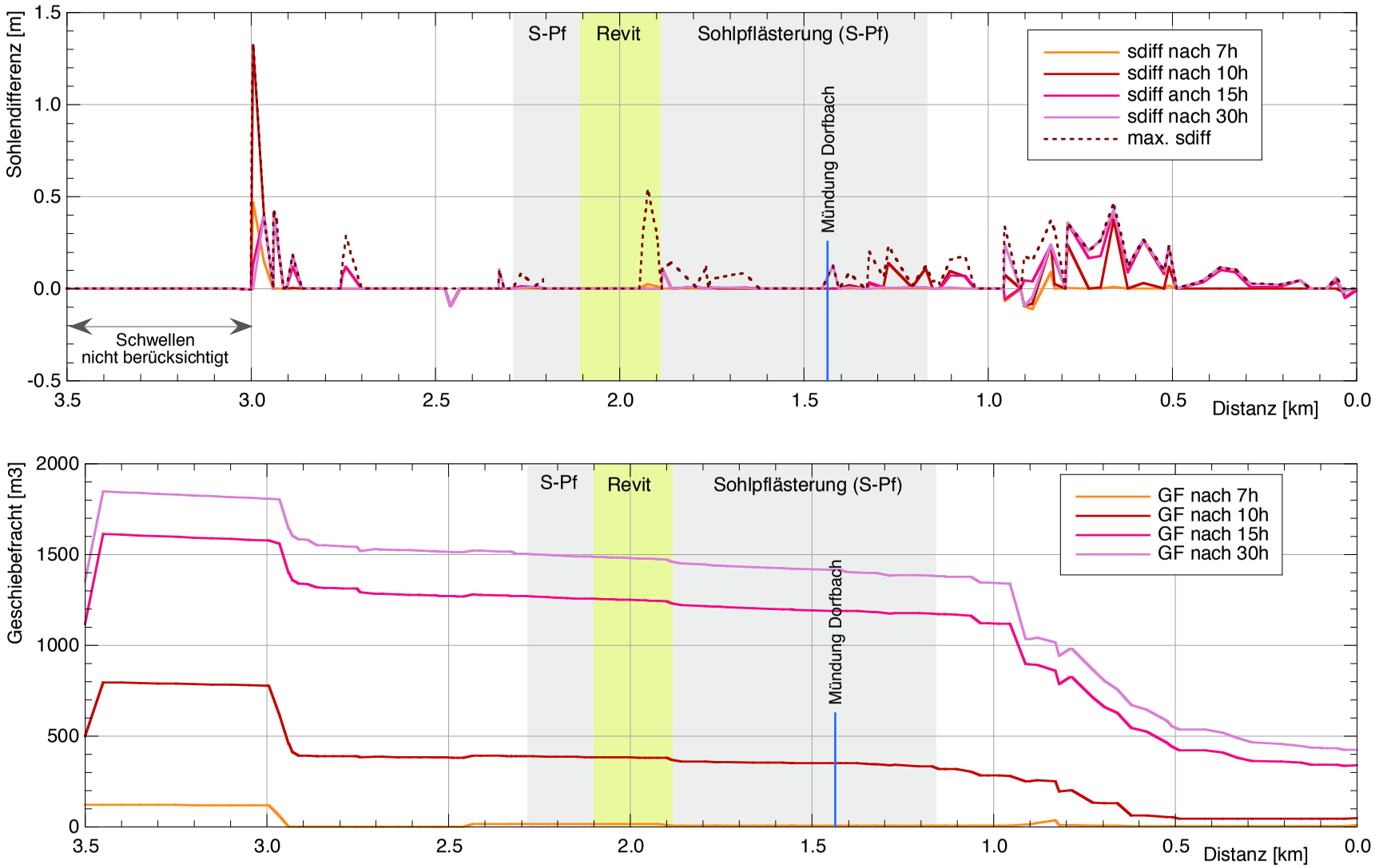



*Bild 9* ***Szenario I2****. Oben: Längenprofil der Sohlendifferenz (sdiff) zu verschiedenen Zeitpunkten.*
*Unten: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht (GF) zu verschiedenen Zeitpunkten.*

## 3.5 Szenario I3: HQ100, GZ 2'780m$^3$

*Ziel*

Untersuchung des Geschiebetransports und von Sohlenauflandungen bei einem HQ100 mit erhöhter Geschiebefracht. Eine erhöhte Geschiebefracht ist nach Auffüllung der Schwellenfelder sowie nach Sanierung des Geschiebehaushalts zu erwarten.

*Abfluss*

Ganglinien gemäss Bild 6.

*Geschiebezufuhr*

2'780m$^3$

(2'000m$^3$ in Funktion des Abflusses; 780m$^3$ schubweise zwischen Zeitpunkt 7h und 12h, vgl. Bild 6).

*Resultate*

*Sohlenveränderungen*

*Bild 10 oben*

Zwischen km3.0 und km0.95 sind die Sohlenauflandungen vergleichbar oder nur wenig grösser als bei Szenario I2.

Zwischen km0.95 und km0.5 wird verstärkt Geschiebe abgelagert und es kommt zu Sohlenauflandungen bis zu 60cm.

Weiter bachabwärts landet die Sohle um bis zu 15cm auf.

*Geschiebefracht*

*Bild 10 unten*

Die Geschiebefracht wird bis km1.0 infolge Auflandung hinter Schwellen sowie des Abriebs von 2'780m$^3$ auf 2'050m$^3$ reduziert.

Bis km0.5 reduziert sich die Fracht auf 740m$^3$ und 530m$^3$ werden in den Alten Rhein transportiert.

*Fazit*

Zwischen km 0.95 und km0.5 landet die Sohle um bis zu 60cm auf, wodurch der Hochwasserspiegel angehoben wird. Verglichen mit Szenario I2 weiten sich die Ablagerungen in Länge und Höhe aus.

Dadurch kommt es bereits vor der Abflussspitze zu bedeutenden Ausuferungen. Infolge der Ausuferungen wird verstärkt Geschiebe abgelagert, wodurch die Ausuferungen gefördert werden (in Modellberechnungen nicht berücksichtigt).

Die Geschiebeablagerungen führen zu einer bedeutenden Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes.

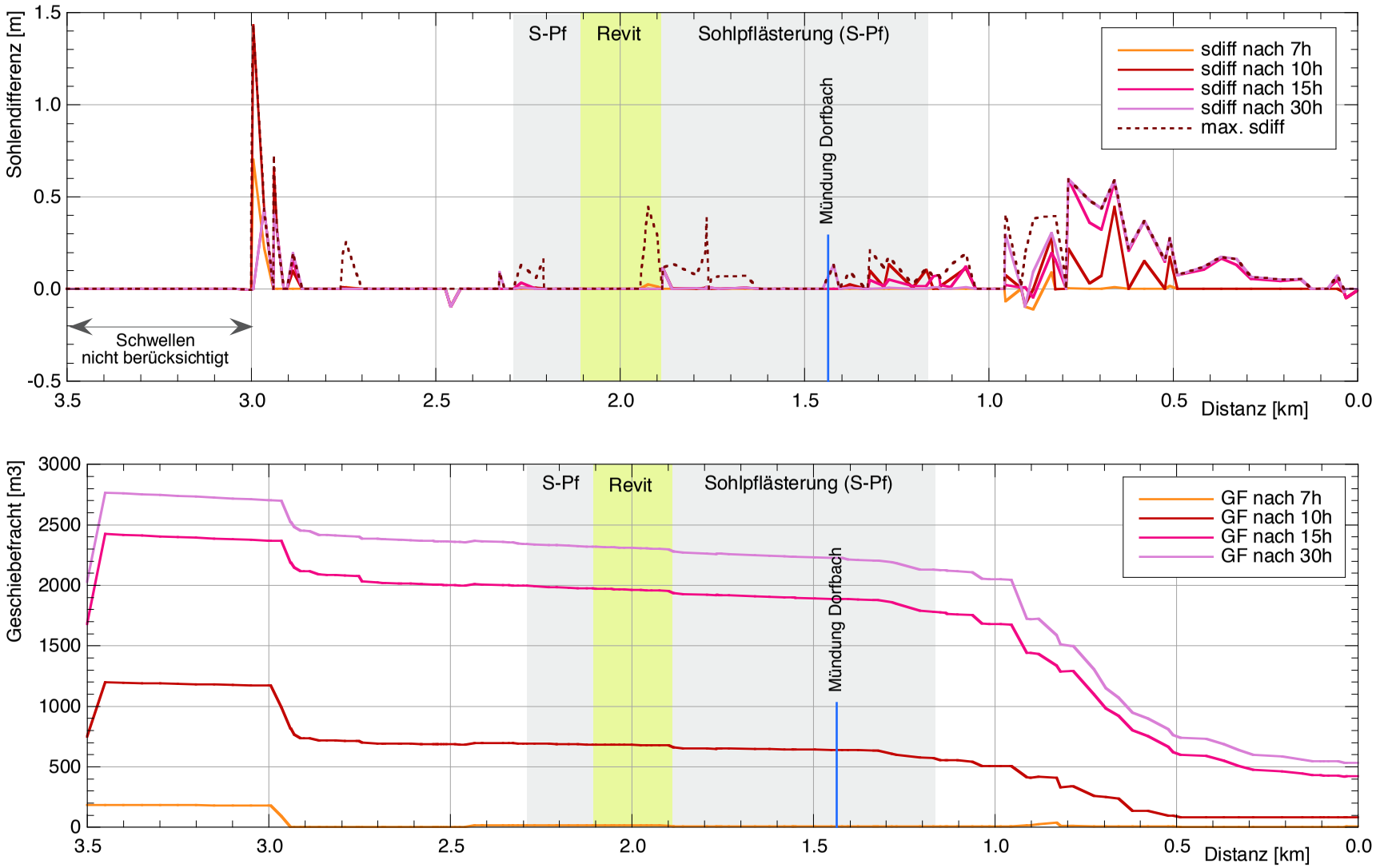



*Bild 10* ***Szenario I3****. Oben: Längenprofil der Sohlendifferenz (sdiff) zu verschiedenen Zeitpunkten.*
*Unten: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht (GF) zu verschiedenen Zeitpunkten.*

## 3.6 Szenario I4: HQ300, GZ 3’450m$^3$

*Ziel*

Untersuchung des Geschiebetransports und von Sohlenauflandungen bei einem HQ300 mit erhöhter Geschiebefracht. Eine erhöhte Geschiebefracht ist nach Auffüllung der Schwellenfelder sowie nach Sanierung des Geschiebehaushalts zu erwarten.

*Abfluss*

Ganglinien gemäss Bild 6.

*Geschiebezufuhr*

3’450m$^3$

(2’000m$^3$ in Funktion des Abflusses; 780m$^3$ schubweise zwischen Zeitpunkt 7h und 12h, vgl. Bild 6).

*Resultate*

*Sohlenveränderungen*

*Bild 11 oben*

Am oberen Ende des Modells landet die Sohle hinter den Schwellen etwas stärker auf (bis 1.5m) als bei Szenario I3.

Im Unterwasser der Rampe der Brücke Dorfstrasse bleibt das Geschiebe länger liegen als bei den Szenarien I2 und I3.

Bis km0.95 sind in den anderen Abschnitten die Sohlenänderungen vergleichbar mit den Szenarien I2 und I3.

Bachabwärts von km0.95 wird viel Geschiebe abgelagert und die Sohle landet um bis zu 75cm auf.

Bachabwärts von km0.3 sind die Sohlenänderungen mit 10cm klein.

*Geschiebefracht*

*Bild 11 unten*

Die Geschiebefracht wird bis km1.0 infolge Gefällserhöhung in Schwellenfeldern sowie des Abriebs von 3’450m$^3$ auf 2’650m$^3$ reduziert.

Bis km0.5 reduziert sich die Fracht auf 1’450m$^3$ und 1’130m$^3$ Geschiebe werden in den Alten Rhein transportiert.

*Fazit*

Zwischen km 0.95 und km0.5 landet die Sohle um bis zu 75cm auf, wodurch der Hochwasserspiegel angehoben wird.

Dadurch kommt es bereits vor der Abflussspitze zu bedeutenden Ausuferungen. Infolge der Ausuferungen wird verstärkt Geschiebe abgelagert, wodurch die Ausuferungen gefördert werden (in Modellberechnungen nicht berücksichtigt).

Die Geschiebeablagerungen führen zu einer bedeutenden Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes.

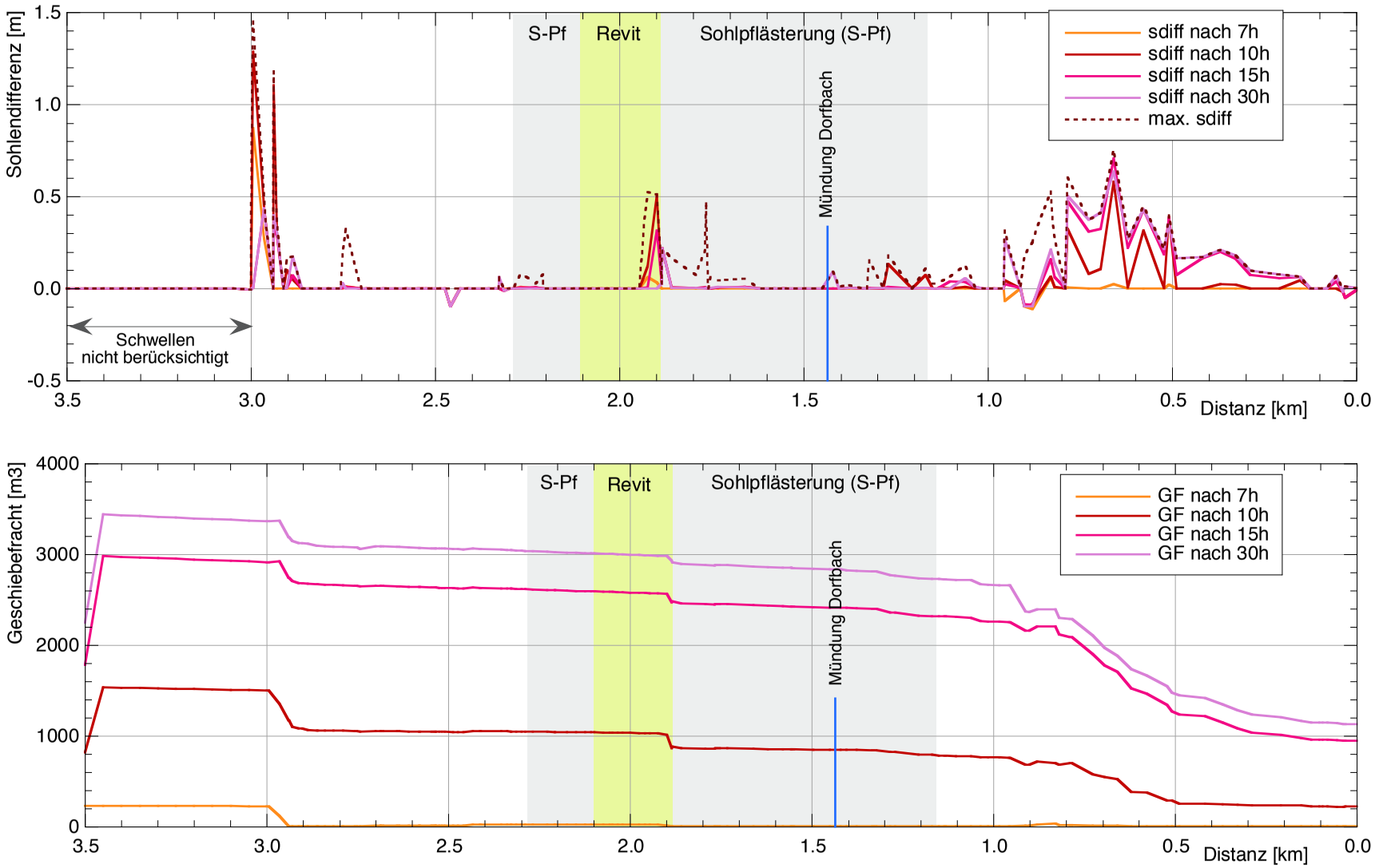



*Bild 11* ***Szenario I4****. Oben: Längenprofil der Sohlendifferenz (sdiff) zu verschiedenen Zeitpunkten.*
*Unten: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht (GF) zu verschiedenen Zeitpunkten.*

# 4 Modellberechnungen Projektzustand

## 4.1 Modellanpassungen

*Profilgeometrie*

Die Projektgeometrie berücksichtigt das Generelle Projekt (ab Kantonsgrenze).

*Rauheiten*

Für die Rauheit der Ufer wurde ein Strickler-k-Wert von 25-35m$^{1/3}$/s berücksichtigt.

Die Sohlenpflästerung wurde durch eine grobe Sohle mit charakteristischen Korndurchmessern von 70/35cm (d90/dm) ersetzt.

*GAP Sefar*

Der GAP Sefar wurde entsprechend den Projektplänen berücksichtigt.

## 4.2 Überblick Szenarien Projektzustand

Es werden folgende vier Szenarien dokumentiert:

*Staukurve*

Szenario P1:

Hydraulische Berechnung mit stationären Abflüssen auf fester Sohle.

*Szenarien mit Sohlenänderungen*

Szenarien P2 – P4:

Berechnung der Hochwasserganglinien gemäss Bild 6 mit unterschiedlichen und Geschiebezufuhren.

*Tabelle 4 Überblick der durchgeführten Szenarien mit Generellem Projekt.*

| Szenario | Typ / Geometrie | Abfluss | Geschiebezufuhr |
|---|---|---|---|
| P1 | Stationäre Abflüsse | HQ300, HQ100, zusätzlich kleine Hochwasserabflüsse | 0 |
| P2 | Ganglinie mit Sohlenänderungen | HQ100 | 2’780m$^3$ |
| P3 | Ganglinie mit Sohlenänderungen | HQ300 | 3’450m$^3$ |
| P4 | Ganglinie mit Sohlenänderungen<br>**GAP Sefar schmal** | HQ100 | 2’780m$^3$ |

## 4.3 Szenario P1: Stationäre Abflüsse

*Ziel*

Berechnung des Wasserspiegelverlaufs und Ermittlung der Schwachstellen bei HQ100 und HQ300 unter Annahme einer stabilen Sohlenlage im Projektzustand.

*Abflüsse*

Es wurden folgende vier Abflüsse berechnet:

| | vor Dorfbach | nach Dorfbach |
|---|---|---|
| Abfluss 1 | 10m$^3$/s | 15m$^3$/s |
| Abfluss 2 | 20m$^3$/s | 30m$^3$/s |
| HQ100 | 40m$^3$/s | 60m$^3$/s |
| HQ300 | 50m$^3$/s | 80m$^3$/s |

*Resultate*

Bild 12 zeigt das Längenprofil mit dem Verlauf der Sohle mit den berücksichtigten Schwellen, der Wasserspiegel, der Uferlinien und den Brückenunterkanten.

*Wasserspiegel*

Bis zur Mündung des Dorfbachs verläuft der Wasserspiegel deutlich tiefer als die Uferlinien. Es sind keine Schutzdefizite erkennbar.

Zwischen der Brücke Töberstrasse und der oberen Brücke Sefar ist das Gerinne bei einem HQ100 bordvoll. Falls die Uferlinie ausgeglichen wird (resp. an diejenige im OW und UW angepasst wird), sind keine Ausuferungen zu erwarten.

Am oberen Ende des leeren GAP Sefar ist der Wasserspiegel tief und es kommt zu einer starken Beschleunigung des Abflusses.

Bachabwärts des GAP Sefar ist bei einem HQ300 abschnittsweise von einem bordvollen Gerinne oder Ausuferungen auszugehen. Bei einem HQ100 ist das Freibord ungenügend.

Im Appenzeller Abschnitt ist der Wasserspiegel wegen den nicht berücksichtigten Schwellen nicht repräsentativ.

*Brücken*

Neue Brücken wurden nicht berücksichtigt.

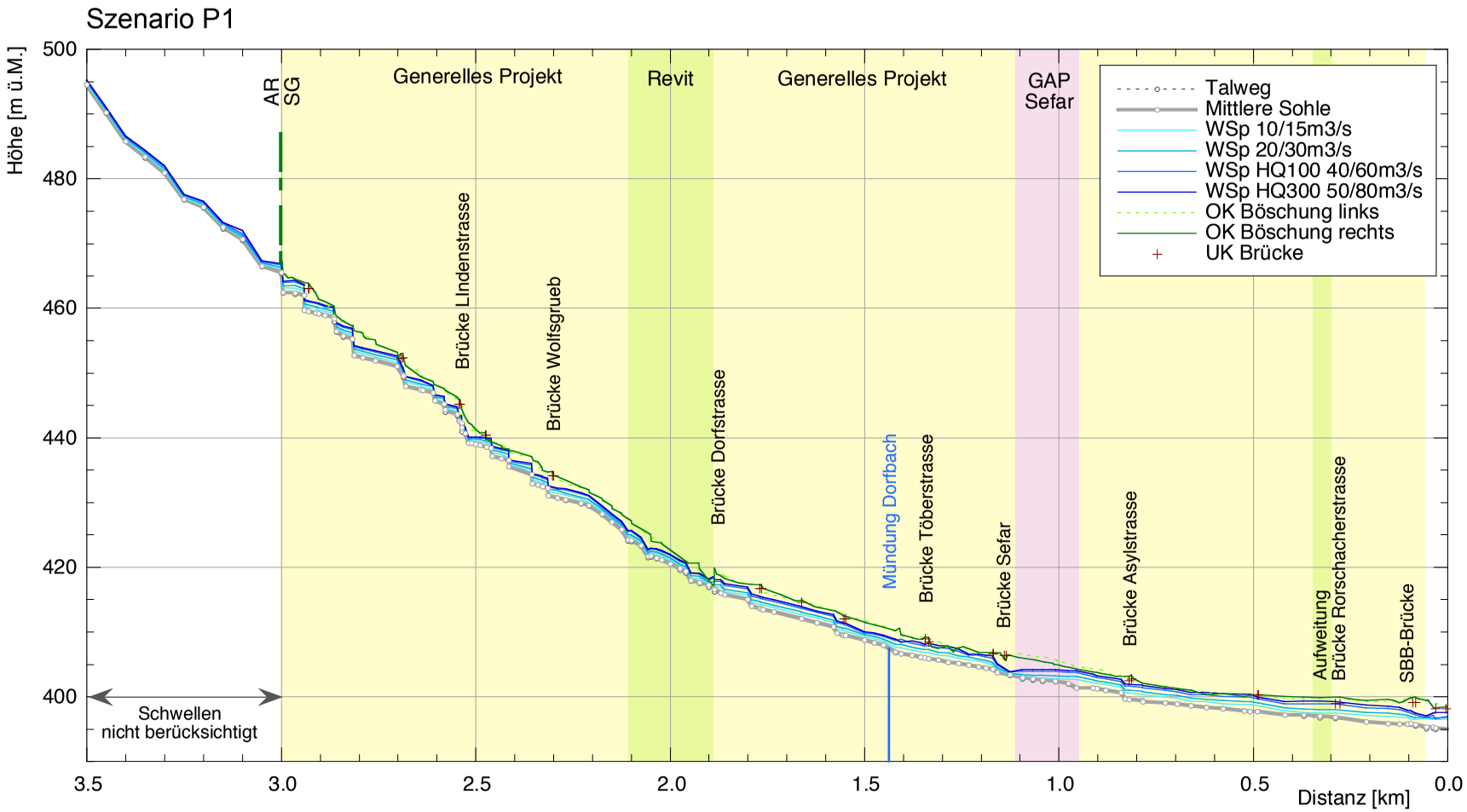



*Bild 12 Längenprofil der Sohle (Talweg und mittlere Sohle), des Wasserspiegels bei 4 verschiedenen Abflüssen, der Uferlinien (OK Böschung links / rechts) sowie der Lage der Brückenunterkanten.*

## 4.4 Szenario P2: HQ100, GZ 2’780m$^3$

| | |
|---|---|
| *Ziel* | Untersuchung des Geschiebetransports und von Sohlenauflandungen bei einem HQ100 mit erhöhter Geschiebefracht im Projektzustand.<br>Wirkungsanalyse des GAP Sefar. |
| *Abfluss* | Ganglinien gemäss Bild 6. |
| *Geschiebezufuhr* | 2’780m$^3$<br>(2’000m$^3$ in Funktion des Abflusses; 780m$^3$ schubweise zwischen Zeitpunkt 7h und 12h, vgl. Bild 6). |
| *Resultate* | |
| *Sohlenveränderungen*<br>*Bild 13 oben* | Zwischen der Kantonsgrenze und dem GAP Sefar kommt es im ersten Schwellenfeld sowie im Unterwasser der Brücke Wolfsgrueb zu Auflandungen von 60cm, resp. 30 bis maximal 40cm. Die Ablagerungen im ersten Schwellenfeld dürften auf einen Modelleffekt zurückzuführen sein. Die Ablagerungen bachabwärts der Brücke Wolfsgrueb befinden sich in einer eher flachen Zwischenstrecke. Die Ablagerungen sind für den Hochwasserschutz nicht relevant.<br>Das in den GAP Sefar eingetragene Geschiebe wird vollständig abgelagert und die mittlere Sohle landet um bis zu 70cm auf. Das Geschiebe wird im oberen und im mittleren Teil des Sammlers abgelagert. |
| *Geschiebefracht*<br>*Bild 13 unten* | Von den zugeführten 2’780m$^3$ Geschiebe erreichen 2’100m$^3$ den GAP Sefar, in dem das Material vollständig abgelagert wird. Es wird kein Geschiebe bachabwärts transportiert. |
| *Fazit* | Alles dem GAP Sefar zugeführte Geschiebe wird abgelagert.<br>Im Unterwasser des Sammlers können Auflandungen verhindert werden. |

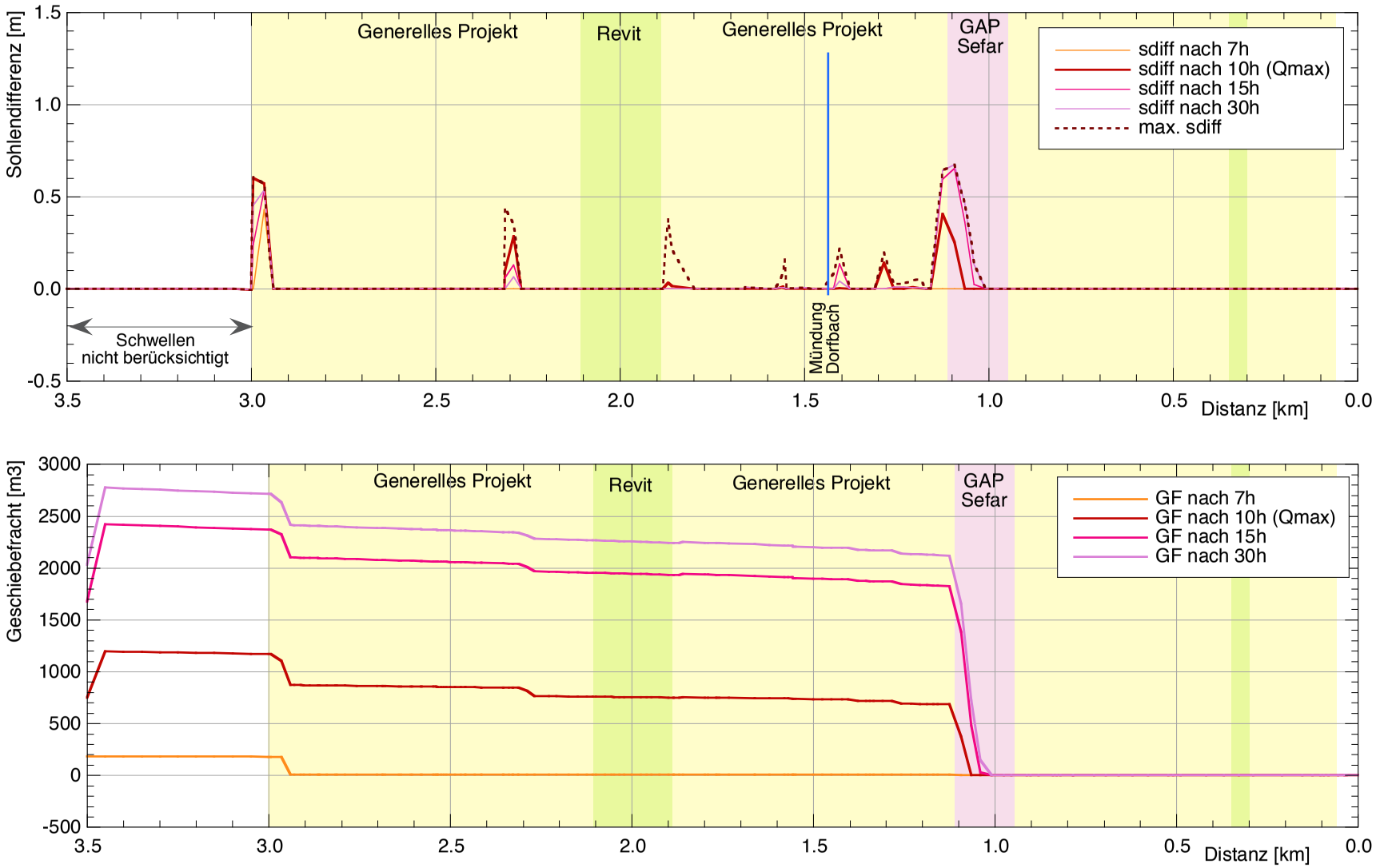



*Bild 13* ***Szenario P2****. Oben: Längenprofil der Sohlendifferenz (sdiff) zu verschiedenen Zeitpunkten.*
*Unten: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht (GF) zu verschiedenen Zeitpunkten.*

## 4.5 Szenario P3: HQ300, GZ 3’450m$^3$

| | |
|---|---|
| *Ziel* | Untersuchung des Geschiebetransports und von Sohlenauflandungen bei einem HQ300 mit erhöhter Geschiebefracht im Projektzustand.<br>Wirkungsanalyse des GAP Sefar. |
| *Abfluss* | Ganglinien gemäss Bild 6. |
| *Geschiebezufuhr* | 3’450m$^3$<br>(2’000m$^3$ in Funktion des Abflusses; 780m$^3$ schubweise zwischen Zeitpunkt 7h und 12h, vgl. Bild 6). |
| *Resultate* | |
| *Sohlenveränderungen*<br>*Bild 14 oben* | Zwischen der Kantonsgrenze und dem GAP Sefar sind die Sohlenänderungen vergleichbar oder wenig grösser als bei Szenario P2. Die beschränkten Ablagerungen befinden sich im Unterwasser von Schwellen, wo die Gerinnetiefe grösser ist.<br>Im GAP Sefar wird die mittlere Sohle um bis zu 80cm angehoben. Die Ablagerungen konzentrieren sich auf den oberen und mittleren Bereich des Sammlers. |
| *Geschiebefracht*<br>*Bild 14 unten* | Von den zugeführten 3’450m$^3$ Geschiebe erreichen 2’650m$^3$ den GAP Sefar, in dem die Fracht vollständig abgelagert wird. Bachabwärts wird kein Geschiebe transportiert. |
| *Fazit* | Alles dem GAP Sefar zugeführte Geschiebe wird abgelagert.<br>Im Unterwasser des Sammlers können Auflandungen verhindert werden. |

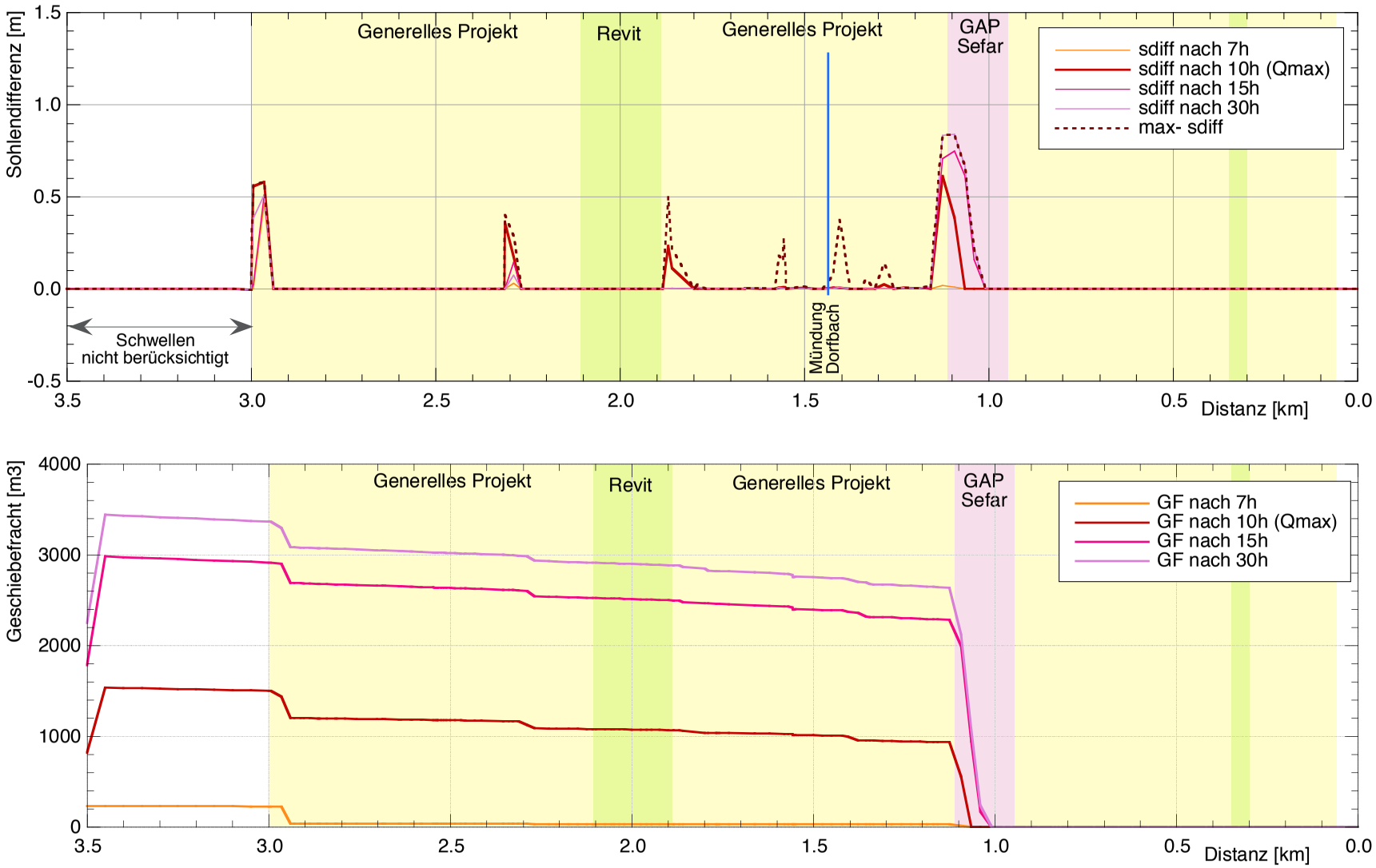



*Bild 14* ***Szenario P3****. Oben: Längenprofil der Sohlendifferenz (sdiff) zu verschiedenen Zeitpunkten.*
*Unten: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht (GF) zu verschiedenen Zeitpunkten.*

## 4.6 Szenario P4: HQ100, GZ 2'780m$^3$, GAP Sefar schmal

*Ziel*

Beim geplanten GAP Sefar wird die Sohle von 6.5m im Oberwasser auf über 40m aufgeweitet. Der Sammler wird insbesondere im oberen Drittel nicht gleichmässig durchströmt, was zu einseitigen Geschiebeablagerungen führt. Im mittleren und unteren Bereich des Sammlers dürften sich seitlich Schwebstoffe ablagern, wodurch die für Geschiebeablagerungen nutzbare Breite reduziert wird.

Mit Szenario P4 wird untersucht, ob bei einer deutlich eingeschränkten nutzbaren Breite des Sammlers (Bild 15) das verbleibende Rückhaltevolumen ausreichend ist, um die Geschiebefracht eines HQ100 aufzufangen.

*Abfluss*

Ganglinien gemäss Bild 6.

*Geschiebezufuhr*

2'780m$^3$
(2'000m$^3$ in Funktion des Abflusses; 780m$^3$ schubweise zwischen Zeitpunkt 7h und 12h, vgl. Bild 6).

*Resultate*

*Sohlenveränderungen*

*Bild 16 oben*

Im GAP Sefar landet die Sohle um bis zu 75cm auf und die Ablagerungen erstrecken sich bis zum unteren Ende des Sammlers.

Vernachlässigbar wenig Geschiebe wird bachabwärts weiter transportiert.

*Geschiebefracht*

*Bild 16 unten*

Im GAP Sefar wird alles zugeführte Geschiebe abgelagert (entsprechend Szenario P2).

*Fazit*

Selbst bei einem stark eingeschränkten nutzbaren Rückhaltevolumen des Sammlers kann bei einem HQ100 das zugeführte Geschiebe vollständig aufgefangen werden.

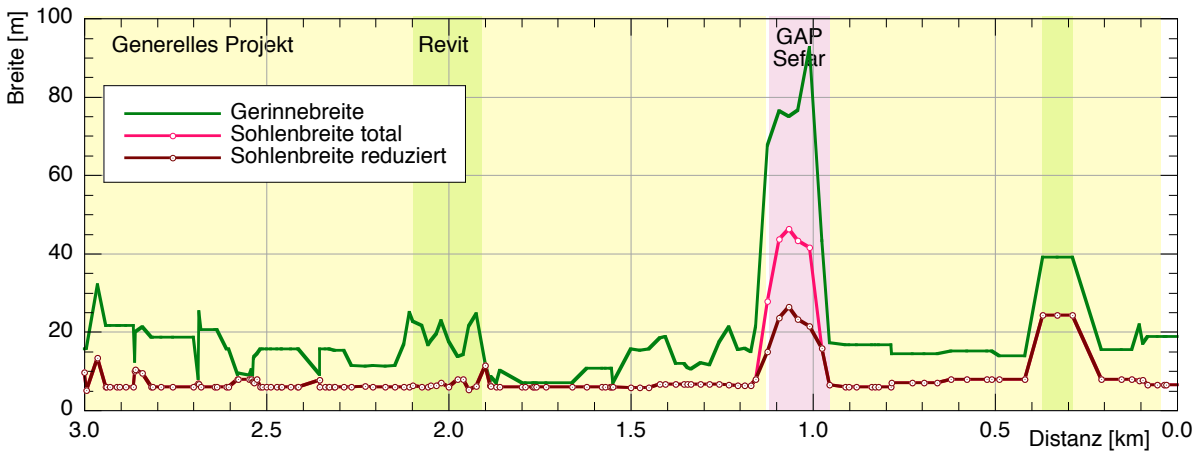



*Bild 15* *Längenprofil der Sohlenbreite im Projektzustand. GAP Sefar mit gesamter und reduzierter Sohlenbreite gemäss Szenario P4.*

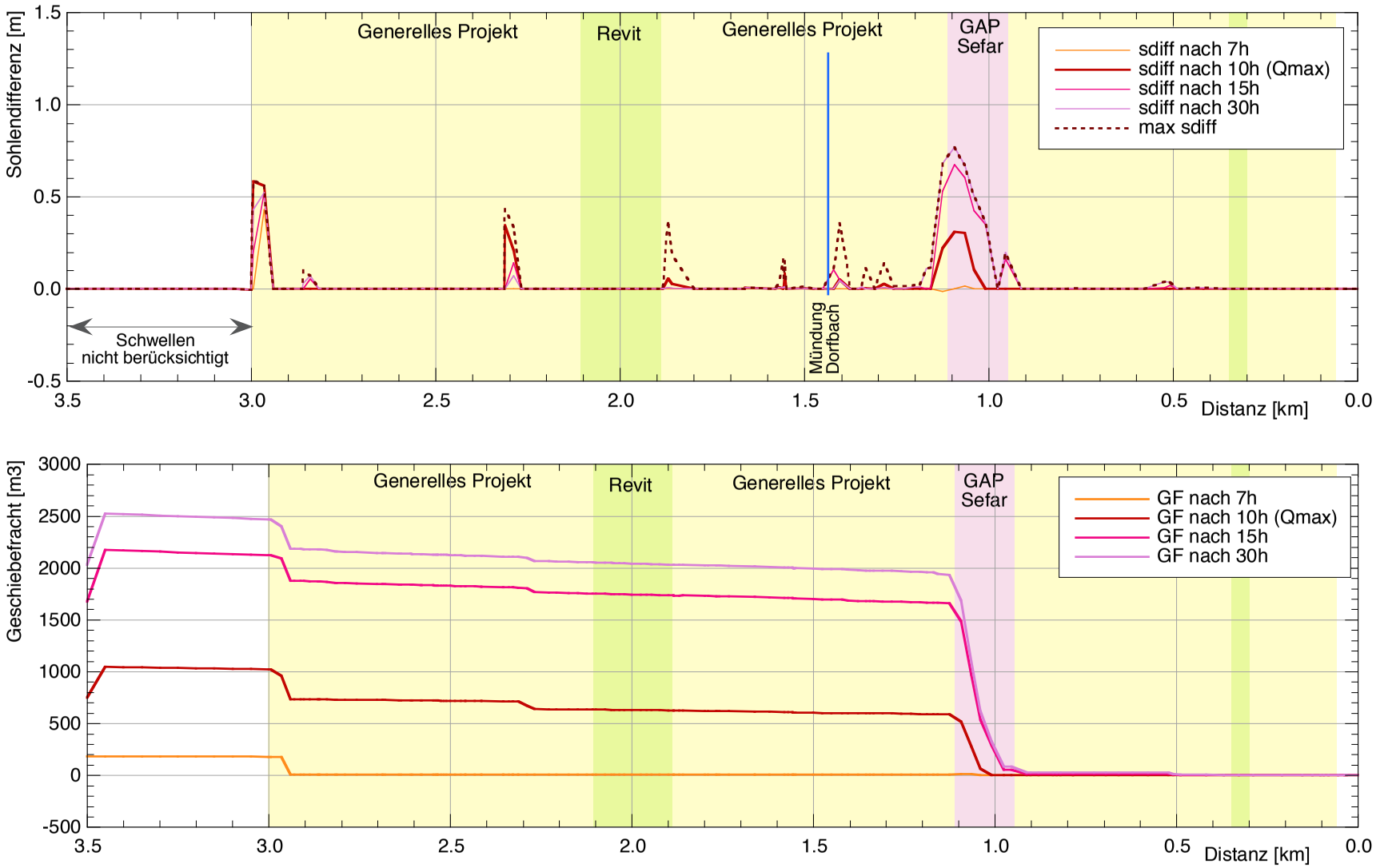



*Bild 16* ***Szenario P4****. Oben: Längenprofil der Sohlendifferenz (sdiff) zu verschiedenen Zeitpunkten.*
*Unten: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht (GF) zu verschiedenen Zeitpunkten.*

# 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

*Geschiebe- und Schwemmholz-aufkommen*

Das Geschiebeaufkommen von 1'850m$^3$ (HQ100) ist wegen dem Listweiher eher gering.

Bei einem HQ100 können in der Tobelstrecke rund 300m$^3$ Schwemmholz mobilisiert werden.

*Geschiebetransport im Gstalden- und Freibach*

Das bei Hochwasser aus dem Tobel zugeführte Geschiebe kann mehr oder weniger ablagerungsfrei bis ins Gebiet Sefar transportiert werden. Dies sowohl im Istzustand als auch mit Projekt.

*Schwellenfelder*

In den Schwellenfeldern (km3.5 bis km2.6) wird bei kleinen Hochwasserereignissen Geschiebe abgelagert. Bei grossen Hochwasserabflüssen können die entstandenen Bänke wieder mobilisiert werden (sofern diese nicht mit Gehölz bewachsen sind). Dies führt zu einer Erhöhung der Geschiebefracht.

Auf Bänken aufkommendes Gehölz sollte entfernt werden.

*Sanierungsplanung Geschiebehaushalt*

Zur Sanierung des Geschiebehaushalts der Anlage Listweiher ist vorgesehen, ein Teil des Geschiebes bachabwärts weiter zu geben. In der Tobelstrecke nimmt dadurch die Ausdehnung der aktuell kleinen Bänke zu, sodass im Hochwasserfall mehr Geschiebe mobilisiert werden kann.

Grosse Geschiebeeinträge aus dem oberen Einzugsgebiet sind auch nach Umsetzung der Sanierungsplanung in den zwei Weihern zurückzuhalten.

*Zukünftiger Geschiebehaushalt*

Durch Auffüllung von heute ausgeräumten Schwellenfeldern sowie nach Sanierung des Geschiebehaushalts wird die Geschiebefracht im Gstaldenbach zunehmen. Dies wurde in den Modellberechnungen durch die Erhöhung der Fracht um 50% berücksichtigt.

*GAP Sefar*

Der geplante GAP Sefar befindet sich im Bereich eines Gefällsknicks. Das bei Hochwasserereignissen zugeführte Geschiebe kann (ohne GAP Sefar) nur zu einem kleinen Teil weiter bis in den Alten Rhein transportiert werden.

Würde der Sammler weiter bachaufwärts erstellt, so würde im Unterwasser ein Geschiebedefizit entstehen, was zu Sohlenerosionen und im aufgewerteten Zustand zu einer Beeinträchtigung der Morphologie und des Lebensraums führen würde.

Aus diesen Gründen befindet sich der GAP Sefar aus wasserbaulicher Sicht an der richtigen Stelle.

*Optimierung GAP Sefar*

Am oberen Ende des Sammlers ist eine Rampe zu erstellen, mit der Sohlenerosionen bachaufwärts verhindert werden können.

Das Gerinne ist allmählich aufzuweiten. Damit können unerwün-

schte Ablagerungen und hohe Bänke am oberen Ende vermieden werden.

Am unteren Ende kann auf einen Fixpunkt (Schwelle, Rampe) verzichtet werden.

*Gestaltung GAP Sefar*

Der GAP Sefar dient prioritär dem Hochwasserschutz. Gleichzeitig soll er auch als Erholungsraum genutzt werden können. Zu diesem Zweck sind die Ufer naturnah zu gestalten.

Der Sammler ist mit einem variablen Niederwassergerinne zu versehen, das eine ausreichende Wassertiefe gewährleistet und einen beschränkten Transport von Feingeschiebe bachabwärts ermöglicht.

*Auswirkung im Unterwasser*

Im Unterwasser ist die Sohle auf geschiebefreien Hochwasserabfluss zu dimensionieren. Sohlenerosionen sind zu vermeiden.

*Schwemmholztransport*

Das aus dem Tobel bei Hochwasserereignissen zugeführte Schwemmholz kann an den vielen Brücken hängen bleiben, was zu Verklausungen und Ausuferungen führt. Ausuferungen sind vor allem im Siedlungsgebiet und in Abschnitten problematisch, in welchen das Wasser nach der Brücke nicht wieder in das Gerinne zurück fliesst.

*Schwemmholzrückhalt*

Zur Reduktion der Hochwassergefährdung durch Verklausung von Brücken wird empfohlen, ein Schwemmholzrückhalt zu erstellen. Dieser ist bachaufwärts des Siedlungsgebiets vorzusehen.

Ein aus wasserbaulicher Sicht günstiger Standort mit geeigneter Zufahrt befindet sich zwischen der Kantonsgrenze und Steinsteigen.

# Anhang 1

# Fotos Begehung 22.12.2015

*Bild A1*

*Abschnitt 3.*
*Ausgeräumtes Gerinne mit Totholz.*

*Im Hintergrund ist über einer Felsschwelle die Staumauer List erkennbar.*

*Bild A2*

*Abschnitt 3.*
*Seitliche Rinne mit Geschiebeeintrag.*

*Bild A3*

*Abschnitt 9.*
*Kleine Kiesbank, Schwemmholz und Felsufer.*

*Blick bachabwärts.*

*Bild A4*

*Abschnitt 10.*
*Geröll- und Kiesablagerungen in einer Aufweitung.*

*Blick bachaufwärts.*

*Bild A5*

*Abschnitt 12.*
*Aufweitung mit Blöcken, Geröll, kleinen Bänken und Totholz.*

*Blick bachaufwärts.*

*Bild A6*

*Abschnitt 13.*
*Totholz.*

*Fliessrichtung von links nach rechts.*

*Bild A7*

*Abschnitt 15.*
*Grobe Sohle mit Kiesablagerungen im Oberwasser einer Sperre kurz vor dem EW Heiden.*

*Blick bachaufwärts.*

*Bild A8*

*Abschnitt 16.*
*Hinterfüllte Sperrenfelder.*

*Bild A9*

*Abschnitt 16.*
*Bewachsene Ablagerungen in Sperrenfeldern.*

*Bild A10*

*Abschnitt 20.*
*Leere Sperrenfelder.*

*Bild A11*

*Abschnitt 23.*
*Kanalisierter Abschnitt mit gepflästerter Sohle.*

*Bild A12*

*Abschnitt 26.*
*Revitalisierter Abschnitt Hächleren.*

*Bild A13*

*Abschnitt 30.*
*Kanalisierter Abschnitt mit gepflästerter Sohle.*

*Bild A14*

*Abschnitt 34.*
*Mündung Dorfbach (links).*

*Bild A15*

*Abschnitt 34 mit geplantem GAP Sefar.*

*Bild A16*

*Abschnitt 38-39.*

*Flachstrecke.*

*Blick bachaufwärts.*

*Bild A17*

*Abschnitt 40.*

*Kleine Bank vor Autobahnbrücke.*

*Blick bachabwärts.*