

Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen

Numerische Modellierungen Feststoffe und Hydraulik für das Vorprojekt

Impressum

Autoren

Firma

Hunziker, Zarn & Partner AG

Personen

Christian Jecklin, Dipl. Kult-Ing. ETH

Benno Zarn, Dr. sc. Tech. Dipl. Bau-Ing. ETH, ME

Dokument

A-813.3_Bericht_Aufweitung_SchaanBuchsEschen.docx

Datum

Nr.

Status / Änderungen Bezeichnung

18. Apr. 2024

1.0

Entwurf

14. Okt. 2024

1.1

Schlussversion

Auftraggeber

Amt für Wasser und Energie St. Gallen, Rheinunternehmen, Rheinbaustrasse 2, 9443 Widnau

Kontaktperson: Daniel Dietsche, daniel.dietsche@sg.ch

Amt für Bevölkerungsschutz, Emanuel Banzer, Zollstrasse 45, FL-9490 Vaduz

Kontaktperson: Emanuel Banzer, emanuel.banzer@llv.li

Auftragnehmer

Hunziker, Zarn & Partner AG, Gassa Sutò 43a, CH-7013 Domat/Ems, UID CHE-324.988.824 HR

Kontaktperson: Christian Jecklin, 081 630 36 18, christian.jecklin@hzp.ch

Verteiler

pdf

Papier

Daniel Dietsche, Rheinunternehmen St.Gallen

x

x

Emanuel Banzer, Amt für Bevölkerungsschutz

x

x

Disclaimer

Die Methodik für hydrologische, morphologische und hydraulische Untersuchungen und für Abklärungen im Zusammenhang mit dem Geschiebetransport richtet sich nach der Fragestellung. Aussagen zu diesen Themen beinhalten häufig auch Prognosen und sind deshalb immer mit Unsicherheiten behaftet. Diese können in der Regel nur im Zusammenhang mit einem konkreten Vorhaben quantifiziert werden. Für Angaben aus diesem Dokument übernehmen wir nur die Verantwortung, wenn sie im Kontext mit der Fragestellung verwendet werden. Dies gilt insbesondere für die Planung von Bauwerken. Werden Angaben aus diesem Dokument für Auflage- und Ausführungsprojekte benutzt, so müssen diese von uns zwingend geprüft werden.

Zusammenfassung

<i>Ausgangslage</i>	Am Alpenrhein in der Eschner Au wird im Entwicklungskonzept Alpenrhein zwischen den Rheinkilometern 51 und 54.2 eine rechts- und linksufrige Aufweitung vorgeschlagen. Der vorgeschlagene Perimeter aus dem EK Alpenrhein liegt in den Gemeinden Buchs und Sennwald (SG) sowie in den Liechtensteiner Gemeinden Eschen, Schaan und Gamprin. In einer Machbarkeitsstudie wurden bereits die Auswirkungen einer Aufweitung im Teilbereich Schaan, Buchs & Eschen des Perimeters aus dem EK Alpenrhein auf deren Einfluss auf den Geschiebehaushalt, Sohlenlage, Wasser- und Grundwasserspiegel untersucht.
<i>Projektvarianten</i>	Mit dem Feststofftransportmodell wurde die vom Projektteam ausgearbeitete Bestvariante zwischen km 51.0 und 52.7 sowie die Erweiterung Nord und Süd der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen untersucht.
<i>Methodik</i>	<p>Mit Hilfe des fraktionierten 1d-Feststofftransportmodells des Alpenrheins wird die zu erwartende Sohlanpassung bestimmt. Mit verschiedenen Szenarien (Berechnungsperioden bzw. Abflussganglinien) werden die Auswirkungen auf die Sohlenlage und den Geschiebehaushalt in der Aufweitung und in den angrenzenden Rheinabschnitten überprüft und mit dem Referenzzustand verglichen.</p> <p>Die massgebenden Sohlenlagen aus dem Feststofftransportmodell werden anschliessend verwendet, um mit dem Hydraulikmodell die entsprechenden Hochwasserspiegel sowie die Wasserspiegel für das Grundwassermodell zu berechnen bzw. um die möglichen Auswirkungen der Massnahmen auf die Grundwasserstände zu ermitteln.</p>
<i>Resultate</i>	Die Resultate der Geschiebemodellierungen zeigen, dass für die Bestvariante im Bereich der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen maximale Auflandungen von ca. 1.2 m zu erwarten sind. Oberhalb der Aufweitung ist eine leichte Stabilisierung der Sohlenlage bzw. eine leichte Rückwärtsauflandung zu erwarten. Unterhalb der Aufweitung verlangsamt sich die anhaltende Auflandungstendenz. Mit der Ergänzung Nord und Süd sind die Auflandungen innerhalb der Aufweitung mit 2.2 m deutlich grösser. Durch die Auflandungen innerhalb der Aufweitung wird die Auflandungstendenz unterhalb deutlich verlangsamt, oberhalb der Aufweitung sind bis ca. km 42 Rückwärtsauflandungen zu erwarten. Im Referenzzustand ohne Aufweitung sind zwischen Ellhorn und der Schwelle Buchs weiterhin Erosionen und unterhalb der Schwelle Buchs Auflandungen von ca. 1 cm / Jahr zu erwarten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Projektadministration	5
1.2	Projektgrundlagen	5
1.3	Methodik	6
2	Ausgangslage	7
2.1	Projektperimeter	7
2.2	Hydrologie	8
2.3	Morphologie & Geometrie	8
2.4	Feststofftransportmodell	10
2.5	Hydraulikmodell	11
2.6	Verbauungen und aktuelle Hochwassergefährdung	11
3	Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen	13
3.1	Projektvarianten	13
4	Auswirkungen der Massnahmen	14
4.1	Konzept und Annahmen Feststofftransportmodell	14
4.2	Auswirkungen auf Sohlenlage und Geschiebehaushalt	15
4.3	Auswirkungen auf Hochwasserspiegel und Abflusskapazität	16
4.4	Morphologische Kolke	17
5	Diskussion	19

Anhang

Anhang 1	Projektperimeter Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen	21
----------	--	----

1 Einleitung

1.1 Projektadministration

<i>Ausgangslage</i>	<p>Am Alpenrhein in der Eschner Au wird im Entwicklungs-konzept Alpenrhein zwischen den Rheinkilometern 51 und 54.2 eine rechts- und linksufrige Aufweitung vorge-schlagen. Der vorgeschlagene Perimeter aus dem EK Alpenrhein liegt in den Gemeinden Buchs und Sennwald (SG) sowie in den Liechtensteiner Gemeinden Eschen, Schaan und Gamprin. In einer Machbarkeitsstudie wurden bereits die Auswirkungen einer Aufweitung im Teilbereich Schaan, Buchs & Eschen des Perimeters aus dem EK Alpenrhein auf deren Einfluss auf den Geschiebehalt, Sohlenlage, Wasser- und Grundwasserspiegel untersucht.</p> <p>Basierend auf den Machbarkeitsabklärungen soll nun ein Vorprojekt erarbeitet werden. Die Bauherren haben sich entschlossen, dem Projektteam die erforderlichen Abklärungen betreffend Feststoffhaushalt, Morphologie und Grundwasser zur Verfü-gung zu stellen.</p>
<i>Auftrag</i>	<p>Das Rheinunternehmen und das Amt für Bevölkerungsschutz beauftragte am 26. Jan. 2022 die Hunziker, Zarn & Partner AG mit den entsprechenden Untersuchungen.</p>
<i>Projektorganisation</i>	<p>Gleichzeitig zu den morphologischen und hydraulischen Abklärungen von einer möglichen Revitalisierung am Alpenrhein in Schaan, Buchs und Eschen erfolgten die Abklärungen der möglichen Auswirkungen auf das Grundwasser durch die TKConsult AG in Zürich.</p>
<i>Projektablauf</i>	<p>Es fanden folgende Besprechungen und Begehungen statt:</p> <ul style="list-style-type: none">• 04.02.2022: Begehung / Startsituation in Eschen• 16.01.2024: Besprechung Zwischenresultate Geschiebmodellierungen• 05.03.2024: Besprechung Resultate Geschiebe- und Grundwassermodellierungen• 18.03.2023: Besprechung in Vaduz

1.2 Projektgrundlagen

<i>Berichte und Dokumente</i>	/1/	Feststofftransportmodell Alpenrhein, Erfolgskontrolle bestehendes Zweikornmodell sowie Entwicklung eines Mehrkornmodells, Hunziker, Zarn & Partner AG im Auftrag der Internationale Regierungskommission Alpenrhein IRKA, Projektgruppe Flussbau, in Bearbeitung.
	/2/	Entwicklungskonzept Alpenrhein, Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Juni 2005.
	/3/	Aufweitung Eschner Au, Konzeptstudie, Hunziker, Zarn & Partner AG & TK Consult im Auftrag des Amts für Bevölkerungsschutz Fürstentum Liechtenstein und des Rheinunternehmens Kanton St. Gallen, 1. April 2020.

- /4/ Geschiebemanagement Alpenrhein, Entwicklung eines Bewirtschaftungskonzepts für die Stabilisierung der Rheinsohle, Hunziker, Zarn & Partner AG im Auftrag des Amtes für Bevölkerungsschutz Fürstentum Liechtenstein und des Rheinunternehmens Kanton St. Gallen, in Bearbeitung.
- /5/ Wasserspiegellagen Alpenrhein St. Gallen und Fürstentum Liechtenstein, Hunziker, Zarn & Partner AG im Auftrag des Rheinunternehmens St. Gallen und des Amtes für Bevölkerungsschutz der Liechtensteinischen Landesverwaltung, Projekt Nr. A-683, 25. Juli 2014.
- /6/ Dammrückverlegung Sevelen, Situation 1:5000, Bänziger & Partner, 27.05.2021
- /7/ Ertüchtigung Rheindämme, Gesamtschau Planungen und Massnahmen, Meier & Partner / Hunziker, Zarn & Partner AG, Entwurf 31. 3. 2022.
- /8/ Ertüchtigung Rheindämme, Vereinbarung der Projektziele, IUB Engineering AG im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein, 2021.
- /9/ Querprofilaufnahmen Alpenrhein Vermessung Markowski Straka ZT GmbH, Frühling 2011.
- /10/ Sohlenaufnahmen Alpenrhein, km 23.6 – 65, verschiedene Jahrgänge, Rheinunternehmen St. Gallen.
- /11/ swissSurface3d Daten der Swisstopo, Aufnahme 2020.
- /12/ Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität, Mitteilung Nr. 154 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, B. Zarn, 1997.

1.3 Methodik

Methodik und Instrumente

Durch eine Verbreiterung des Flussbetts nimmt die Geschiebetransportkapazität des Alpenrheins ab, was durch eine Anpassung des Längenprofils kompensiert wird. Mit Hilfe des neuen fraktionierten 1d-Feststofftransportmodells des Alpenrheins wird die zu erwartende Sohlanpassung bestimmt. Dazu wird die vom Projektteam entwickelte Bestvariante mit der entsprechenden Sohlenbreite in das Geschiebmodell integriert. Mit verschiedenen Szenarien (Berechnungsperioden bzw. Abflussganglinien) werden die Auswirkungen auf die Sohlenlage und den Geschiebhaushalt in der Aufweitung und in den angrenzenden Rheinabschnitten überprüft und mit dem Referenzzustand verglichen.

Die massgebenden Sohlenlagen aus dem Feststofftransportmodell werden anschliessend verwendet, um die entsprechenden Wasserspiegel für das Grundwassermodell zu berechnen bzw. um die möglichen Auswirkungen der Massnahmen auf die Grundwasserstände zu ermitteln.

2 Ausgangslage

2.1 Projektperimeter

Der Projektperimeter der Aufweitung Schaan, Buchs und Eschen erstreckt sich km 50.2 und 54.2, wobei der Kernbereich der Bestvariante zwischen km 51 und 52.6 liegt. In Richtung Norden, bis km 54.2, liegt die Erweiterung Nord und in Richtung Süden die Erweiterung Süd welche bis km 50.2 reicht. In Bild 1 sind die entsprechenden Perimeter dargestellt.

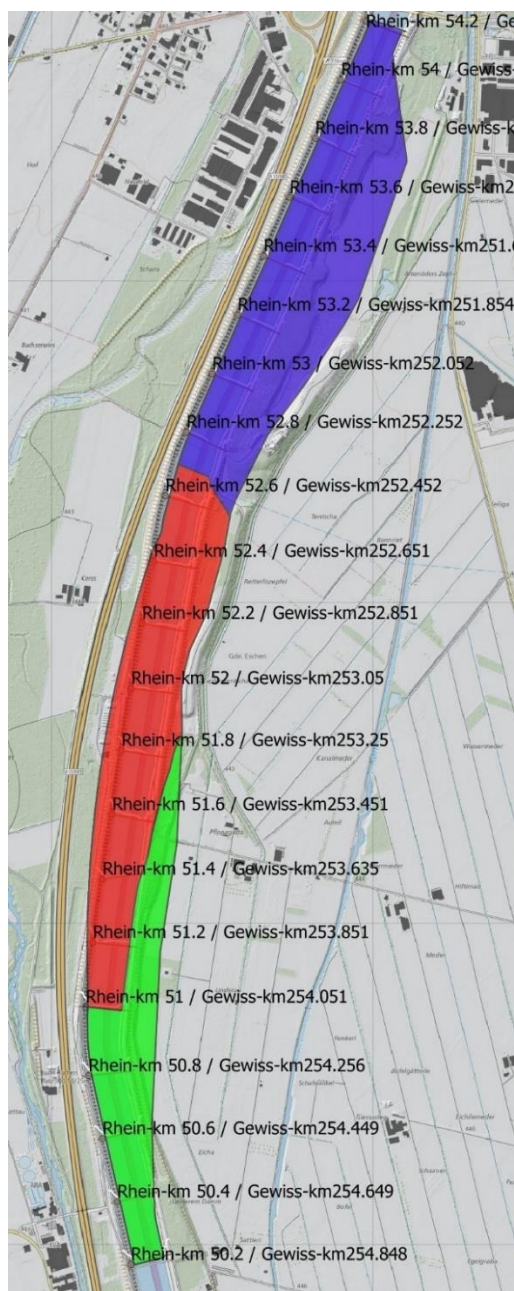


Bild 1: Projektperimeter Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen mit Bestvariante (rot), Erweiterung Nord (blau) und Erweiterung Süd (grün), vergrösserte Darstellung im Anhang 1.

2.2 Hydrologie

Hochwasserabflüsse

Die Hochwasserabflüsse im Alpenrhein sind aus früheren Untersuchungen bekannt und sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Ereignis	Abfluss
HQ ₃₀	1950 m ³ /s
HQ ₁₀₀	2550 m ³ /s
HQ ₃₀₀	3350 m ³ /s
EHQ _a	4400 m ³ /s
EHQ _b	5250 m ³ /s

Tabelle 1: Hochwasserabflüsse Alpenrhein zwischen Landquart- und der Illmündung (aus /2/).

Abflussganglinien

Für die Geschiebemodellierungen werden die effektiv beobachteten Abflussganglinien an verschiedenen Messstationen am Alpenrhein (z.B. Domat/Ems) der Periode 1974 – 2016 verwendet (siehe auch Modellbeschreibung Kap. 4.1)

2.3 Morphologie & Geometrie

Morphologie und Sohlenbreite

Der Alpenrhein fliesst innerhalb des Projektperimeters mit alternierenden Kiesbänken. Diese Sohlenform führt zu beachtlichen Kolkiefen in den Uferbereichen von bis zu 4 m. Die mittlere Sohlenbreite beträgt aktuell ca. 100 m

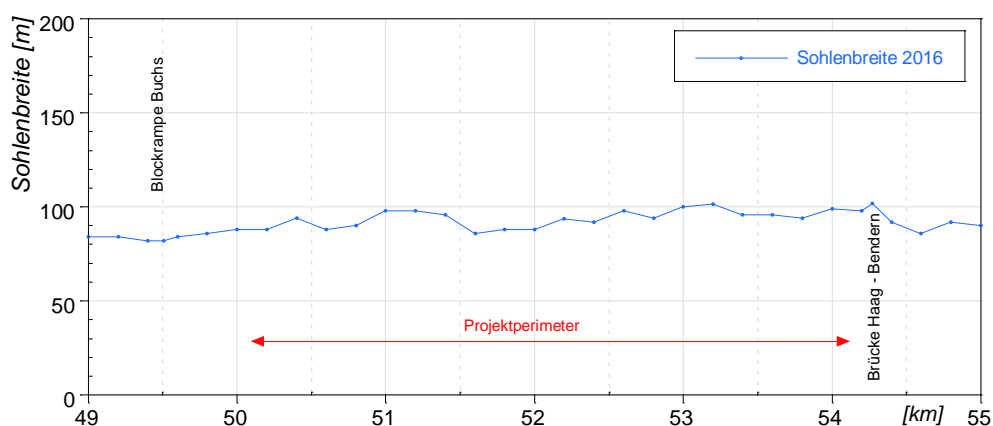


Bild 2: Aktuelle Sohlenbreiten Alpenrhein im Projektabschnitt (/9)

Längenprofil Alpenrhein

In Bild 3 sind die mittleren Sohlenlagen von ausgewählten Profilaufnahmen zwischen 1974 und 2016 ober- und unterhalb des Projektperimeters dargestellt.

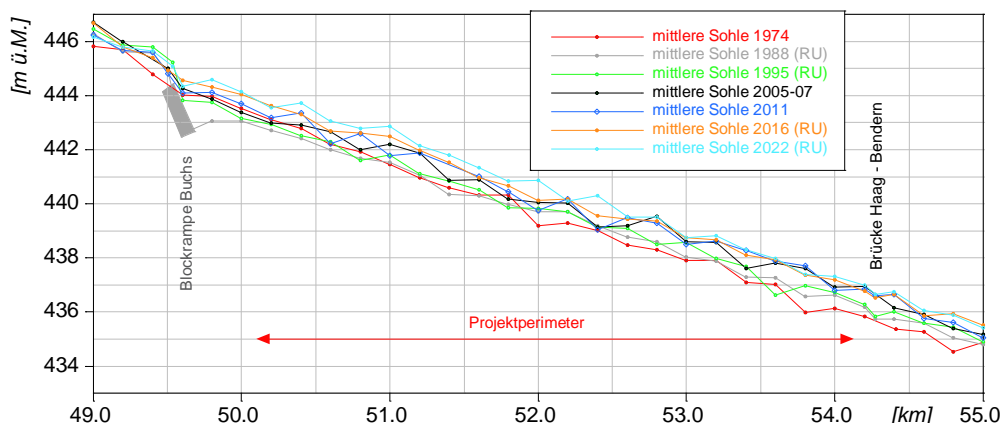


Bild 3: Längenprofil Alpenrhein mit verschiedenen Sohlenlagen.

Zwischen 1974 und 1988 waren unterhalb der Blockrampe noch Erosionen zu verzeichnen. Die Ursache für diesen Prozess ist der Bau der Blockrampe Buchs. Der Geschieberückhalt oberhalb der Blockrampe führte zu einer Eintiefung unterhalb der Blockrampe. Seither dominieren unterhalb der Blockrampe Auflandungsprozesse. Zwischen 1995 und 2022 landete das Rheinbett dort um rund 1.2 m an. Auch in der letzten Beobachtungsperiode zwischen 2016 – 2022 fand unterhalb der Blockrampe Buchs nochmals eine deutliche Auflandung statt und die Blockrampe weist nur noch einen Höhenunterschied von rund 30 cm auf. Oberhalb der Blockrampe, bis zum Ellhorn dominieren Erosionsprozesse und unterhalb des Projektperimeters landet die Sohle bis zur Illmündung deutlich auf. (Bild 4).

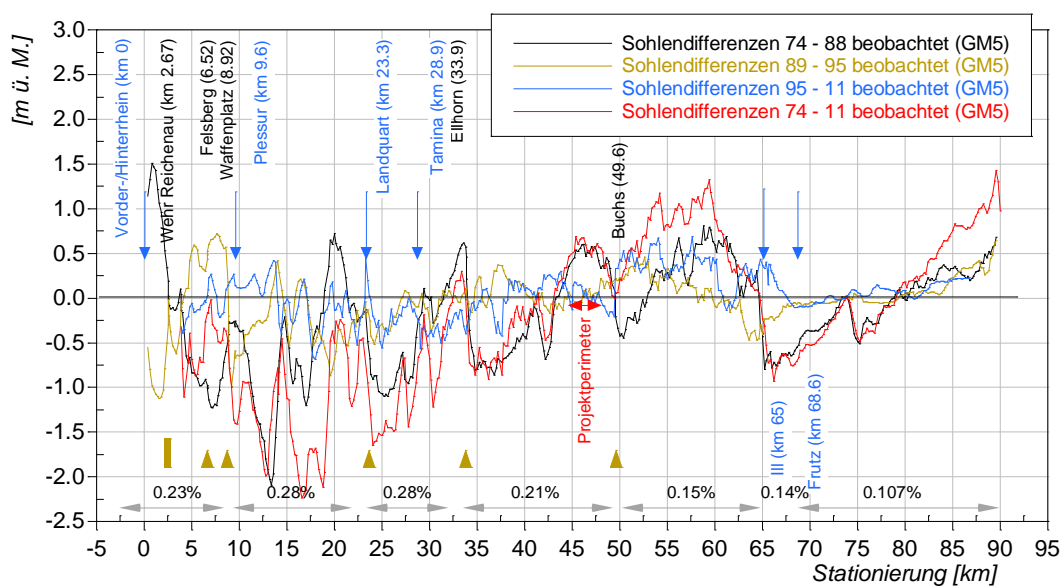


Bild 4: Sohlendifferenzen Alpenrhein für verschiedene Perioden

Mutmassliche weitere Entwicklung Sohlenlage

Aufgrund der Resultate von Abklärungen über den Geschiebehaushalt des Alpenrheins muss bei gleichbleibenden Verhältnissen mit weiteren Anlandungen unterhalb der Blockrampe Buchs gerechnet werden. Oberhalb Blockrampe dürften in Zukunft bei gleichbleibendem Geschiebehaushalt die Eintiefungsprozesse weiter dominieren (siehe auch Kap. 4.2)

2.4 Feststofftransportmodell

Mehrkornmodell

Vom Alpenrhein, zwischen Domat/Ems und dem Bodensee, wurde im Jahr 2016 ein neues Feststofftransportmodell entwickelt /1/. Das eingesetzte Modell wird als Mehrkornmodell betrieben. Mit diesem Mehrkornmodell sollen zukünftige Fragestellungen bearbeitet werden, welche sich auf den Geschiebehaushalt des Alpenrheins auswirken. Dazu gehört z.B. die Prüfung von Aufweitungen, wie sie im Entwicklungskonzept Alpenrhein /2/ vorgeschlagen werden, oder die Koordination von Massnahmen im Zusammenhang mit dem Schweizerischen Gewässerschutzgesetz wie die Abstimmung der Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts auf die Revitalisierungsplanung.

Kalibrierung Mehrkornmodell

Das Mehrkornmodell wurde mit den Beobachtungen der Periode von 1996 bis 2010 kalibriert. Als Verifikationsperiode wurde der Zeitraum von 1974 bis 1995 gewählt. Bei der Kalibrierung eines Feststofftransportmodells wird versucht, die beobachteten Sohlenveränderungen mit dem Modell möglichst genau nachzurechnen. In Bild 5 sind für die Kalibrierungsperiode beobachteten und berechneten Sohlenveränderungen mit dem Feststofftransportmodell dargestellt.

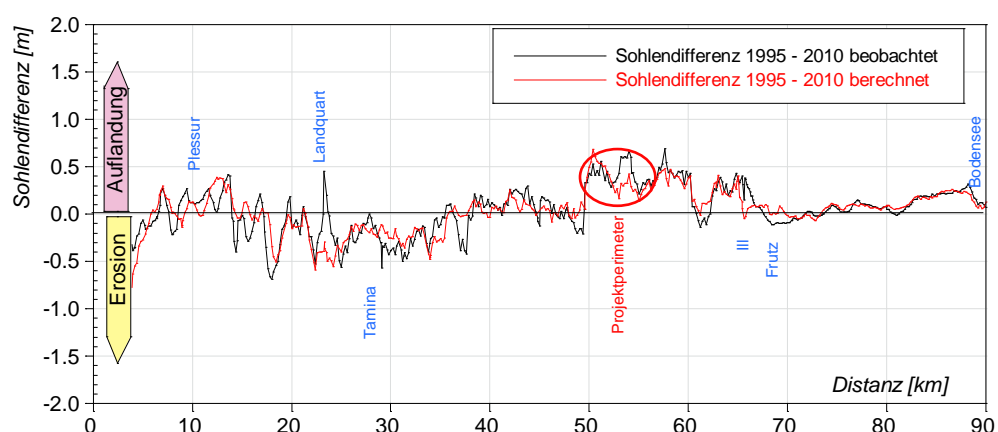


Bild 5: Berechnete und beobachteten Sohlenveränderungen (gleitendes Mittel über 5 Querprofile) für die Kalibrierungsperiode von 1996 bis 2010.

Wie der Vergleich der berechneten und beobachteten Sohlenveränderungen zeigt,

können die grossräumigen Trends gut simuliert werden. Auch innerhalb des Projektperimeters können die Sohlenveränderungen gut wiedergegeben werden.

2.5 Hydraulikmodell

1d-Staukurvenmodell

Die Bestimmung der Auswirkungen der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen auf die Hochwasserspiegel erfolgen mit einem Hydraulikmodell, welches auf den Querprofilaufnahmen 2011 mit der Sohlenlage 2016 basiert. Die Berechnungen erfolgen mit einem 1d-Staukurvenmodell auf Basis HecRas des US Army Corps of Engineers. Mit ihm können Wasserspiegellagen in Flüssen und Bächen bei stationären und instationären Abflüssen für strömende und schiessende Verhältnisse berechnet werden.

Rauheiten

Die hydraulischen Berechnungen basieren auf den Rauheitsbeiwerten der Tabelle 2.

Objekt	Rauheitsbeiwert [$m^{1/3}/s$]
Flusssohle	36 - 37
Böschungen / Vorgrund (Blockwurf)	25
Böschungen (Blockwurf / Blocksatz überdeckt)	32.5
Damm mit Grasbewuchs	32.5
Bewachsene Kiesbänke / Auenvegetation	10

Tabelle 2: Zusammenstellung Rauheiten für die hydraulischen Modellierungen /5/.

2.6 Verbauungen und aktuelle Hochwassergefährdung

Korrektion Alpenrhein ab 1850

Ab 1850 begannen am Alpenrhein die Arbeiten für die systematische Korrektur zwischen Reichenau und dem Bodensee. Während mehrerer Jahrzehnte wurde der Alpenrhein begradigt und kanalisiert.

Sohlabsenkung durch Kiesentnahmen zwischen ca. 1950 und 1972 und Bau der Schwellen Ellhorn & Buchs

Ab 1950 wurde die Sohle des Alpenrheins zur Erhöhung bzw. Sicherstellung der Abflusskapazität durch kommerzielle Kiesentnahmen abgetieft. Die Abtiefung der Sohle führte zur Erstellung des sogenannten Vorgrunds im Perimeter des Kantons St.Gallens und des Fürstentum Liechtensteins. Es handelt sich dabei um einen Unterhaltsweg, welcher auf der Wasserseite der Rheindämme etwa auf dem Niveau der Talebene verläuft und mit Blocksteinen gegen Erosion gesichert ist. Nach dem Einsturz der Brücke Buchs – Schaan im Jahr 1972 wurden die Kiesentnahmen unterhalb der Landquartmündung eingestellt und zur Stabilisierung der Sohle die beiden Schwellen bei Buchs und beim Ellhorn gebaut.

Uferverbauungen

Die Ufer sind durchgehend mit einem Damm und mit einem entsprechenden Erosionsschutz auf dem Vorgrund verbaut. Der Damm weist kaum Vegetation auf.

*Hochwasser-
gefährdung*

Der Abschnitt innerhalb des Projektperimeters weist eine sehr grosse Abflusskapazität auf, welche deutlich über dem EHQA liegt. Beidseitig besteht bis zum EHQA keine Hochwassergefährdung durch den Prozess Überflutung am Alpenrhein. Hingegen ist die Dammstabilität im Projektperimeter grösstenteils ungenügend. Sickerströmungen können zu einem hydraulischen Grundbruch oder zu einer Böschungsinstabilität führen /7/.

3 Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen

3.1 Projektvarianten

Die Geschiebemodellierungen erfolgten primär mit der Bestvariante sowie mit der Ergänzung Nord und Süd. In Bild 6 sind die Sohlenbreiten der Bestvariante mit den Ergänzungen Nord & Süd im Vergleich mit der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen aus dem EK Alpenrhein dargestellt. Die maximalen Sohlenbreiten sind bei der Bestvariante deutlich breiter als im EK Alpenrhein, mit der Ergänzung Nord / Süd ist die Aufweitung auch deutlich länger als im EK Alpenrhein.

Bei den Geschiebemodellierungen wurden folgende Varianten berechnet:

- Bestvariante Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen zwischen km 51 – 52.7 mit einer maximalen Sohlenbreite von ca. 230 m (mittlere Breite ca. 190 m).
- Bestvariante Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen, nach 10 Jahren Ergänzung Nord und nach weiteren 10 Jahren Ergänzung Süd mit einer maximalen Sohlenbreite von ca. 305 m (mittlere Breite ca. 220 m).

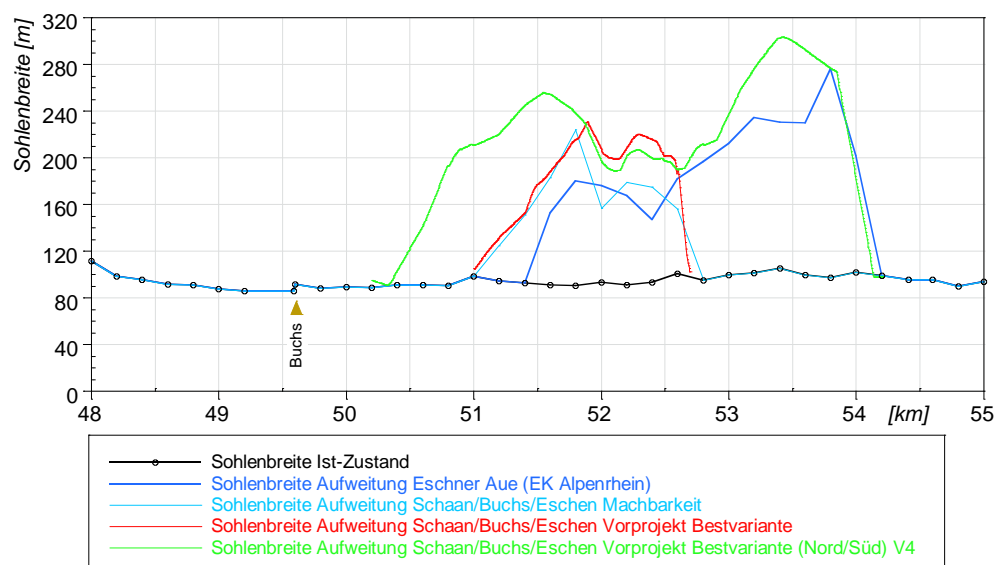


Bild 6: Sohlenbreiten Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen im Vergleich mit dem Ist-Zustand.

4 Auswirkungen der Massnahmen

4.1 Konzept und Annahmen Feststofftransportmodell

Ziel Langzeitsimulationen

Die Beurteilung der Auswirkung der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen auf den Geschiebehaushalt und die Sohlenlage im Alpenrhein erfolgt mit dem 1d-Feststofftransportmodell mittels verschiedener Szenarien. Das Ziel ist, mittels Langzeitsimulationen die überregionalen Auswirkungen der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen auf den Geschiebehaushalt zu ermitteln. Für die Beurteilung der Auswirkungen dient der Referenzzustand.

Dauer Langzeit-simulationen

Um das Verhalten der Sohle an die neuen Breitenverhältnisse langfristig zu analysieren, wurde für alle Varianten die Periode 1974 – 2016 dreimal hintereinander simuliert was einer Modellierungszeit von 129 Jahren entspricht.

Referenzzustand

Die prognostizierte Endsohle mit der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen wird mit der Prognose des Ist-Zustandes verglichen. Für diesen Referenzzustand wird der heutige Zustand mit der Startsohle 2011 mit der Abflussganglinie derselben Periode (1974 – 2016) und denselben Modellannahmen wie im Projektzustand dreimal hintereinander simuliert und ausgewertet.

Modellannahmen

Für die Prognosen der Auswirkungen der Aufweitung auf den Geschiebehaushalt wurden folgende Annahmen getroffen:

- Startgeometrie ausserhalb der Aufweitung entsprechend den Querprofilaufnahmen von 1995/96 mit der Sohlenlage 2011
- Angepasste Breitenverhältnisse im Bereich der Aufweitungen (siehe Bild 6), keine Vorwegnahme des Versatzes im Längenprofil
- Abflussregime der Periode von 1974 bis 2016 (43 Jahre), dreimal hintereinander simuliert
- Geschiebeeintrag der Zuflüsse mittels Geschiebeganglinie, wie sie aus der Modellkalibrierung der Periode von 1996 bis 2010 resultierte
- Geschiebeentnahmen nicht wie zwischen 1974 und 2016 beobachtet, sondern entsprechend dem Mittelwert der aktuell konzessionierten Entnahmemengen, das heisst eine substantielle Reduktion gegenüber den effektiven Entnahmen vor 1995

4.2 Auswirkungen auf Sohlenlage und Geschiebehaushalt

Projektgeometrie im Feststofftransportmodell

Durch eine Verbreiterung des Alpenrheins mit der Realisierung der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen entsteht durch die Abnahme der Geschiebetransportkapazität eine Anpassung des Gefälles der Sohle bzw. des Längenprofils. Es entsteht innerhalb der Aufweitung ein sogenannter Versatz und eine Gefällszunahme in der Sohle. Diese Anpassung der Sohle an die neuen Breitenverhältnisse wurde mit dem Feststofftransportmodell untersucht. Die Projektvariante wurde mit einem Trapezprofil mit ebener Sohle integriert.

Entwicklung massgebende Sohlenlage in Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen

Die Berechnung erfolgte mit dem kalibrierten Feststofftransportmodell für die Periode 1974 – 2016 (dreimal hintereinander simuliert). In Bild 7 ist die Entwicklung der Sohlenlage innerhalb der Aufweitung mit insgesamt drei Berechnungsperioden hintereinander dargestellt. Wie das Längenprofil zeigt, erfolgt die Anpassung des Gefälles an die geänderten Breitenverhältnisse vor allem in der ersten Berechnungsperiode. In den folgenden 2 Berechnungsperioden sind die Anpassungen des Längenprofils innerhalb der Aufweitung nur noch geringfügig.

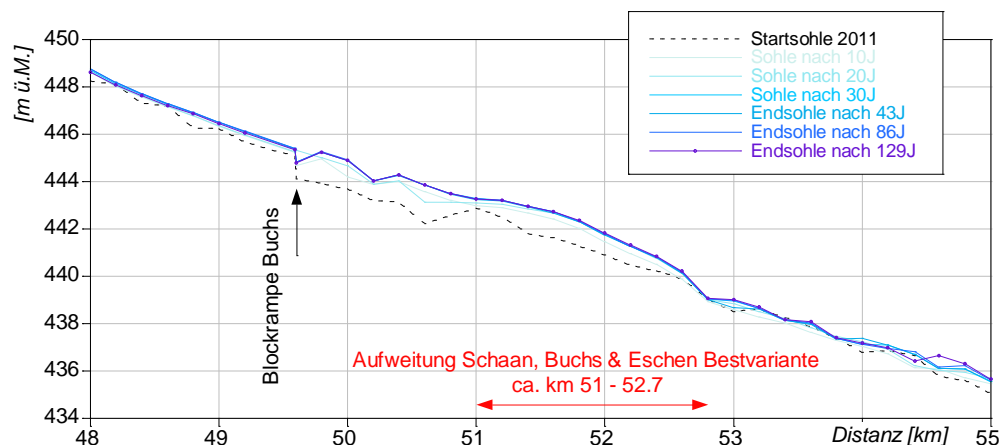


Bild 7: Entwicklung Sohlenlage mit Aufweitung Schaan, Buchs Eschen für drei Berechnungsperioden mit den Abflussverhältnissen 1974 – 2016.

Überregionale Auswirkungen auf die Sohlenlage mit der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen

In Bild 8 sind die Sohlendifferenzen zwischen dem Ellhorn und der Illmündung mit der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen (nur Bestvariante und inkl. Erweiterung Nord & Süd, siehe auch Kap. 3.1) und in Bild 9 die Sohlendifferenzen für den Referenzzustand für die drei Berechnungsperioden dargestellt. Im Bereich der Aufweitung sind maximale Auflandungen für die Bestvariante von ca. 1.1 m, inkl. Erweiterung Nord & Süd sind Auflandungen von bis zu 2.2 m zu erwarten. Durch die Auflandungen innerhalb der Aufweitung kann der anhaltende Auflandungstrend unterhalb der Aufweitung bis zur Illmündung verlangsamt werden. In den ersten Jahrzehnten nach Realisierung ist mit einer Erosion zu rechnen. Oberhalb der Blockrampe Buchs wirkt die Aufweitung leicht sohlstabilisierend, d.h. der Erosionstrend kann etwas verlangsamt werden. Mit der Bestvariante sind die Auflandungsvolumina nicht so

ausgeprägt und die Auflandungen sind ab km 60 abwärts auf etwa demselben Niveau wie im Referenzzustand.

Ohne Aufweitung setzt sich der Erosionstrend weiter fort und die Sohle tieft sich maximal um 1.3 m ein was ebenfalls rund 1 cm / Jahr entspricht.

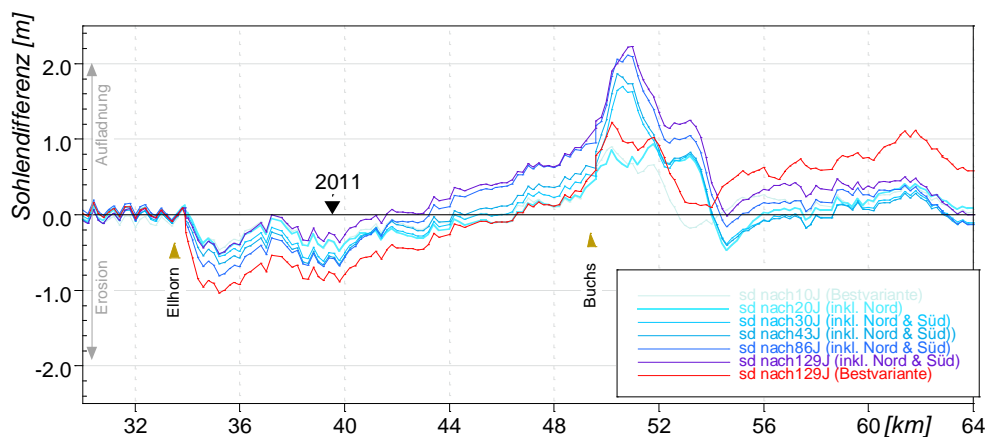


Bild 8: Sohldifferenzen mit Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen für verschiedene Szenarien (siehe auch Kap. 3.1).

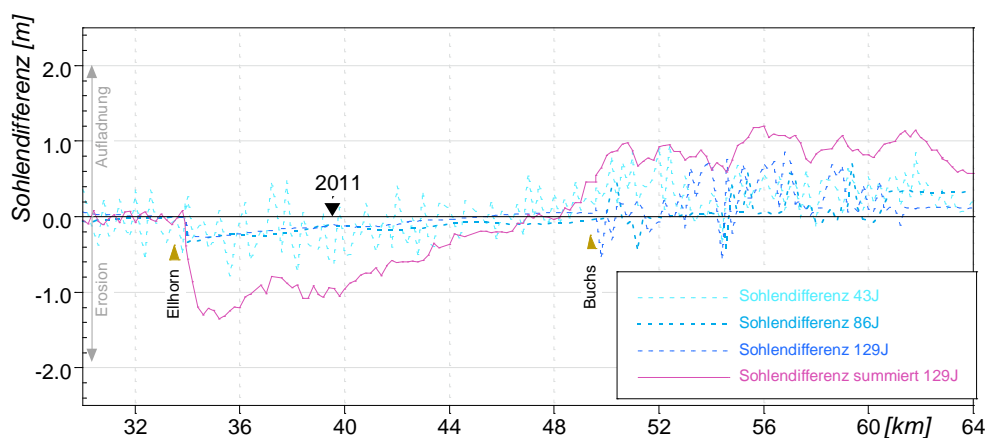


Bild 9: Sohldifferenzen Referenzzustand für drei Berechnungsperioden.

4.3 Auswirkungen auf Hochwasserspiegel und Abflusskapazität

Staukurvenmodell mit Aufweitung

Um den Einfluss der neuen Breitenverhältnisse und Sohlenlage auf den Hochwasserspiegel bestimmen zu können, wurde die Aufweitung mit der Endsohlenlage aus den Geschiebemodelierungen in das 1d-Hydraulikmodell integriert (siehe Kap. 2.5) und die Wasserspiegel für ein Hochwasser HQ₁₀₀ (Abfluss 2550 m³/s) und EHQA (4400 m³/s) mit dem entsprechenden Hochwasserspiegel für den Ist-Zustand verglichen. Die hydraulischen Berechnungen wurden für die Bestvariante

durchgeführt. Es ist zu erwarten, dass ein beachtlicher Teil der Aufweitung nach der Realisierung wieder einwächst und dementsprechend ist auch ein Einfluss auf den Wasserspiegel zu erwarten. Gemäss den Vorgaben des Projektteams wurde angenommen, dass ab einer Sohlenbreite von 170 m aufkommende Auenvegetation in der Hydraulik berücksichtigt wird. Im hydraulischen Modell wurde dies mit einer erhöhten Rauheit umgesetzt.

Hochwasserspiegel mit Aufweitung

Trotz höherer Sohlenlage mit der Aufweitung ist aufgrund der grösseren Sohlenbreite eine leichte Absenkung des Hochwasserspiegels zu erwarten (Bild 10). Am unteren Ende Aufweitung kann beim Übergang in den kanalisierten Abschnitt ein leichter Aufstau des Wasserspiegels auftreten. Aufgrund der Rückwärtsauflandung oberhalb der Aufweitung ist dementsprechend der Hochwasserspiegel um das Mass der Rückwärtsauflandung höher.

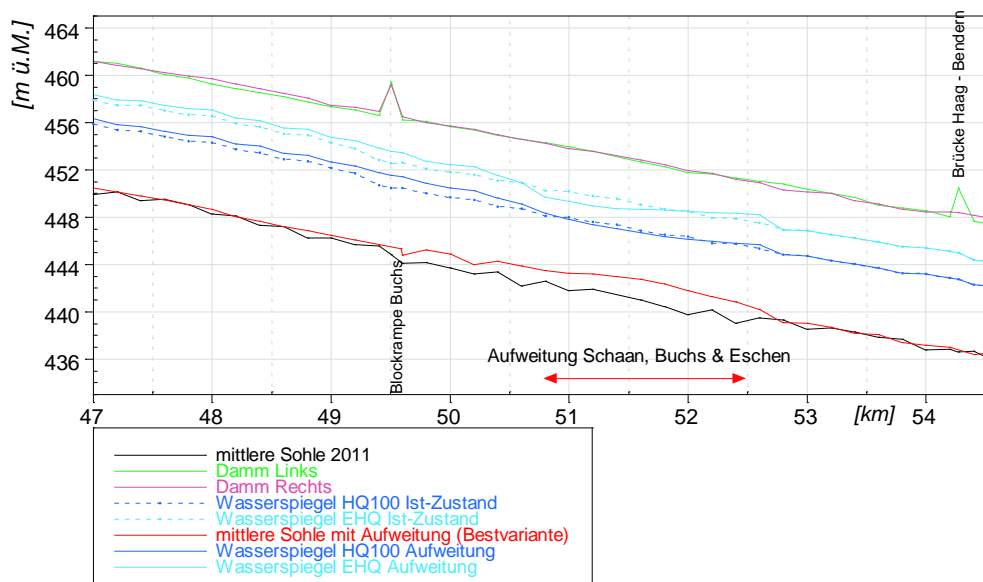


Bild 10: Wasserspiegel HQ₁₀₀ und EHQA mit Aufweitung Bestvariante im Vergleich zum Wasserspiegel Ist-Zustand.

4.4 Morphologische Kolke

Methodik

Die geplante Verbreiterung des Alpenrheins führt zu einer Änderung der Morphologie. Deshalb muss auch mit einer Veränderung der Kolkiefen und Bankhöhen gerechnet werden. Weil die Morphologie von der Breite und vom Abfluss abhängig ist, bestimmen diese beiden Parameter auch die Kolkiefen und die Bankhöhen.

Die morphologischen Kolkiefen und Bankhöhen wurden mit dem Verfahren von Zarn bestimmt /12/. Die Berechnungen erfolgten mit Normalabfluss für verschiedene Breiten und Abflüsse entsprechend den Verhältnissen in der geplanten Aufweitung. Am Ende der Aufweitung muss aufgrund des Aufstau des Wasserspiegels und entsprechender

Beschleunigung im Übergangsbereich in den Kanal mit einem Verengungskolk gerechnet werden. Der Verengungskolk wird nach dem Verfahren nach Bezzola abgeschätzt.

Resultate Kolkiefen und Bankhöhen

Die Resultate der Kolkberechnungen sind in Bild 11 dargestellt. Für den Ist-Zustand, mit den alternierenden Kiesbänken und einer Bettbreite von rund 100 m, resultieren die maximalen Kolkiefen von ca. 3.5 m bei einem Abfluss von 500 m³/s. Für die untersuchten Breiten von 120 bis 220 m variieren die Kolkiefen zwischen 3.5 und knapp 6 m. Die Änderung der Kolktiefe mit zunehmendem Abfluss ist breitenabhängig. Bei der Auslegung des Uferschutzes auf diese Resultate ist Folgendes zu beachten:

- Die Kolkiefen und Bankmächtigkeiten beziehen sich auf die mittlere Sohle.
- Dargestellt ist das 5%-Fraktile bei der Kolktiefe und das 95%-Fraktile bei der Bankhöhe. Die Wahrscheinlichkeit, dass die ausgewiesenen Werte übertroffen werden, liegt theoretisch bei 5%.
- Der maximale Kolk ist zeitlich und räumlich begrenzt.
- In den Kolkversuchen waren die Ufer senkrecht, was vermutlich zu tieferen Kolken führt als eine befestigte Uferböschung mit einer Neigung von z.B. 2:3 /12/.
- Ein wesentlicher Unterschied zur aktuellen Morphologie mit den alternierenden Bänken ist, dass mit der Aufweitung die Kolkiefen mit steigendem Abfluss zunehmen und nicht mehr abnehmen. Das Kolk- und Seitenerosionsrisiko bei Hochwasser mit Schadenpotential nimmt deshalb ohne adäquaten Uferschutz gegenüber heute zu.

Aufgrund dieser Überlegungen wird das 5%-Fraktile für den Kolk bzw. das 95%-Fraktile für die Bank als Richtgrösse für die Bemessung empfohlen.

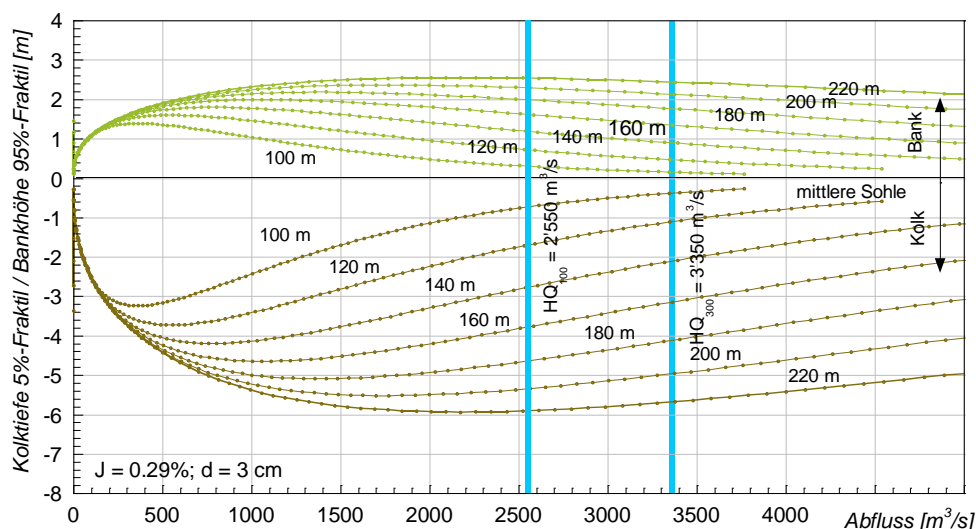


Bild 11: Kolkiefen und Bankhöhen in Abhängigkeit des Abflusses für verschiedene Breiten.

Resultate Verengungskolk

Die Abschätzungen des Verengungskolk zeigen, dass bei einem Hochwasser HQ₁₀₀ – HQ₃₀₀ mit einem Verengungskolk von 1.5 – 2 m gerechnet werden muss. Der

Verengungskolk ist am Ende der Aufweitung, im Beginn der Kanalstrecke, maximal. Dies bedeutet, dass für die Dimensionierung des Kolk schutzes unterhalb der Aufweitung die Verengungskolk tiefe noch zu den morphologischen Kolk tiefen des Ist-Zustandes addiert werden muss. Die Länge des Verengungskolkes wird auf rund 200 m abgeschätzt. Mit zunehmender Distanz ab Ende der Aufweitung nimmt der Verengungskolk deutlich ab.

5 Diskussion

Einordnung in EK Alpenrhein

Wie das Entwicklungskonzept der IRKA und vor allem die daran beteiligten Institutionen zeigen (Kanton Graubünden, Land Vorarlberg, Kanton St. Gallen, Fürstentum Liechtenstein, Republik Österreich, Schweizerische Eidgenossenschaft, IRR), hat der Alpenrhein eine überregionale bis internationale Bedeutung. Innerhalb des Entwicklungskonzepts Alpenrhein ist die Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen eine von fünf Aufweitungen zwischen Landquart und Illmündung. Durch die breite Aufweitung kann sich ein gewässertypisches verzweigtes Flussbett mit strukturreichen Haupt-/Seitenarmen sowie grossflächigen, teilweise bewachsenen Kiesbänke ausbilden. Dadurch finden praktisch alle strömungsliebenden, teilweise auch indifferenten Lebensgemeinschaften des Hauptflusssystems einen geeigneten Lebensraum.

Flussbauliche Beurteilung

Der Standort der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen befindet sich einer Auflandungsstrecke. Bei einer Realisierung der Aufweitung führen die morphologischen Einflüsse (temporäre Geschiebeablagerungen in der Aufweitung und Rückwärtsauflandung) zu einer Verlangsamung der Auflandungstendenz unterhalb der Aufweitung aber auch zu einer Rückwärtsauflandung oberhalb der Aufweitung. Die Auflandung innerhalb der Aufweitung bzw. die Rückwärtsauflandung kann aber auch zu grösseren Grundwasseranstiegen und zu Dammstabilitätsproblemen führen. Deshalb soll eine mögliche Geschiebebewirtschaftung im Rahmen der Projektierung der Aufweitung weiterverfolgt werden. Die Abstimmung der Geschiebebewirtschaftung erfolgt übergeordnet auf dem Abschnitt Ellhorn und Illmündung in einer separaten Untersuchung.

Anhang

Übersicht

Anhang 1 Projektperimeter Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen

21

Anhang 1: Projektperimeter Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen

