

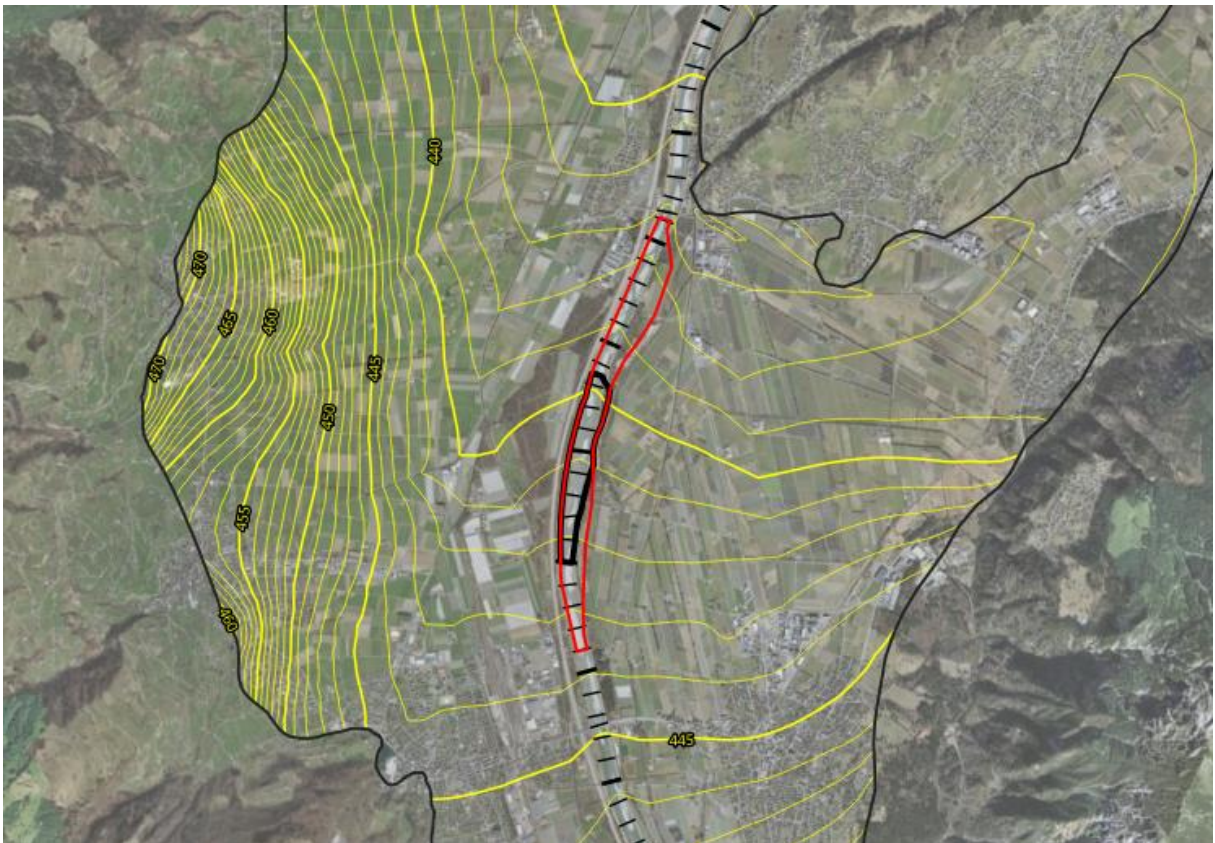
# Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen (km 51.0 – 52.7) – Vorprojekt

---

## Grundwassermodellierung

Technischer Bericht

16. Oktober 2024



Rheinunternehmen  
Amt für Wasser und Energie Kt. SG  
Lämmli brunnenstrasse 54  
9001 St.Gallen

Amt für Bevölkerungsschutz  
Fürstentum Liechtenstein  
Zollstrasse 45  
9490 Vaduz

**TK CONSULT AG**  
Neugasse 136  
CH-8005 Zürich  
Telefon +41 (0)44 288 81 81  
tkc@tkconsult.ch  
www.tkconsult.ch

TKC 27.023

Version	Datum	Sachbear- beitung	Freigabe	Änderungsdokumentation	Verteiler
v1.0	16.10.2024	BAM	KUR	-	Bauherrschaft, Fachex- perten, Begleitplaner

## Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Auftrag	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziel des Auftrags	1
2	Grundlagen	2
2.1	Frühere Studien und Modelle	2
2.2	Projektgrundlagen	2
2.3	Raster- und Vektordaten	2
2.4	Software	2
3	Projektübersicht, Szenarien und allgemeines Vorgehen	3
4	Abflussmodellierung Alpenrhein	5
4.1	Modellaufbau	5
4.2	Ergebnisse	6
5	Grundwassermodellierung	7
5.1	Bestehendes Grundwassermodell	7
5.2	Modellanpassung und Randbedingungen	7
5.3	Ergebnisse	8
5.3.1	Änderung des Grundwasserspiegels	8
5.3.2	Flurabstände	10
5.3.3	Näher abzuklärender Einflussbereich	11
5.3.4	Einfluss auf die bestehenden Grundwasserschutzzonen	12
5.3.5	Entwicklung Grundwasserspiegel und Monitoring	12
6	Schlussbemerkung / Fazit	15

## Anhänge

- Anhang 1: Querprofile Alpenrhein km 48.6 – 54.8
- Anhang 2b: Sohlgeometrie Abflussmodelle Alpenrhein
- Anhang 2b: Modellierter Wasserspiegel Alpenrhein bei  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$
- Anhang 2c: Modellierter Wasserspiegel Alpenrhein bei  $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
- Anhang 2d: Modellierter Wasserspiegel Alpenrhein bei  $Q = 1'000 \text{ m}^3/\text{s}$
- Anhang 3: Modellierter Wasserspiegel Alpenrhein im Längsprofil

## Beilagen

- Beilage 1a: Szenario ISTZUSTAND – Grundwassersituation NW
- Beilage 1b: Szenario ISTZUSTAND – Grundwassersituation MW
- Beilage 1c: Szenario ISTZUSTAND – Grundwassersituation HW
- Beilage 1d: Szenario ISTZUSTAND – Flurabstand HW
  
- Beilage 2a: Szenario ENTWICKLUNG – Grundwassersituation NW
- Beilage 2b: Szenario ENTWICKLUNG – Grundwassersituation MW
- Beilage 2c: Szenario ENTWICKLUNG – Grundwassersituation HW
- Beilage 2d: Szenario ENTWICKLUNG – Flurabstand HW
- Beilage 2e: Szenario ENTWICKLUNG – Näher abzuklärender Einflussbereich
  
- Beilage 3a: Szenario BESTVARIANTE – Grundwassersituation NW
- Beilage 3b: Szenario BESTVARIANTE – Grundwassersituation MW
- Beilage 3c: Szenario BESTVARIANTE – Grundwassersituation HW
- Beilage 3d: Szenario BESTVARIANTE – Flurabstand HW
- Beilage 3e: Szenario BESTVARIANTE – Näher abzuklärender Einflussbereich
  
- Beilage 4a: Szenario ERWEITERUNG – Grundwassersituation NW
- Beilage 4b: Szenario ERWEITERUNG – Grundwassersituation MW
- Beilage 4c: Szenario ERWEITERUNG – Grundwassersituation HW
- Beilage 4d: Szenario ERWEITERUNG – Flurabstand HW
- Beilage 4e: Szenario ERWEITERUNG – Näher abzuklärender Einflussbereich

## **1 Anlass und Auftrag**

### **1.1 Ausgangslage**

Das Rheinunternehmen des Kantons St.Gallen und das Amt für Bevölkerungsschutz Liechtenstein haben die Planungsarbeiten des Aufweitungsprojekts Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen zwischen km 51.0 und 52.7 auf Stufe Vorprojekt vor über zwei Jahren aufgenommen. Da der Alpenrhein eine ausgeprägte Wechselwirkung mit dem Grundwasserleiter des Alpenrheintals aufweist, sind die Auswirkungen der möglichen Aufweitung auf den Grundwasserhaushalt zu untersuchen. Bereits im Jahre 2015 im Rahmen der Voruntersuchung [1] und im Jahre 2020 im Rahmen der Konzeptstudie [2] wurden die Auswirkungen der Aufweitung auf den Grundwasserspiegel abgeschätzt. Im Vorprojekt sollen nun die Auswirkungen mit einem höheren Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung der neuen Geometrievarianten untersucht werden.

### **1.2 Ziel des Auftrags**

Im Rahmen dieses Auftrags wird der Grundwasserspiegel für zwei Planzustände (Bestvariante, Erweiterung Nord/Süd) sowie für den zukünftigen Zustand ohne Aufweitungsmassnahmen modelliert. Für jedes dieser Szenarien liegen Geschiebemodellierungen mit prognostizierten mittleren Sohlenlagen in 129 Jahren von Hunziker Zarn & Partner AG [7][8][9] als Grundlage vor. Dieser Zeitraum wird gewählt, weil die Sohlgeometrie nach 129 Jahren einen stabilen Zustand erreicht. Die Aufweitungsflächen sind in Abbildung 1 dargestellt. Der Bauzustand ist nicht Gegenstand des Vorprojekts. Vielmehr liegt der Fokus dieser Untersuchungen auf der langfristigen Entwicklung des Grundwassersystems. Die Ergebnisse der Szenarien werden mit dem Istzustand bei unterschiedlichen hydrologische Bedingungen verglichen und bewertet.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Frühere Studien und Modelle

- [1] Aufweitung Eschner Aue – Alpenrhein km 51.9 – 54.2 – Grundwassermodellierung – Voruntersuchung der Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt, TK CONSULT AG, 13.01.2015.
- [2] Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Konzeptstudie – Grundwassermodellierung, TK CONSULT AG, 04.05.2020.
- [3] Aufweitung Alpenrhein Sevelen/Vaduz – Machbarkeitsstudie; Grundwassermodellierung, TK CONSULT AG, 31.03.2023.
- [4] IRKA Projektgruppe Grundwasser – Grundwassermodell Alpenrhein – Modellpflege 2024; TK CONSULT AG; in Bearbeitung (Modellzustand 15.03.2024).

### 2.2 Projektgrundlagen

- [5] Flussbauliche Probleme am Rhein zwischen Reichenau und dem Bodensee im Wandel der Zeit; C. Lichtenhahn – Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, Bern; 1972.
- [6] Querprofil Datensatz Alpenrhein 2011, BAFU.
- [7] A-1384 Aufweitung Sevelen Vaduz – Längenprofil Aufweitung Sevelen Vaduz – mit Aufweitung nach 129 Jahren (Excel-Datei); Hunziker, Zarn & Partner AG, 05.07.2022.
- [8] A-813.3 Aufweitung Schaan Buchs Eschen – Längenprofile/Querprofile Aufweitung Schaan Buchs Eschen Bestvariante (Mormo HZP Run11b) – mit Aufweitung nach 129 Jahren (Excel-Datei); Hunziker, Zarn & Partner AG, 17.01.2024.
- [9] A-813.3 Aufweitung Schaan Buchs Eschen – Längenprofile/Querprofile Aufweitung Schaan Buchs Eschen Bestvariante mit Erweiterung Nord/Süd (Mormo HZP Run14) – mit Aufweitung nach 129 Jahren (Excel-Datei); Hunziker, Zarn & Partner AG, 18.01.2024.
- [10] Aufweitungsflächen als Vektordatei; Hunziker, Zarn & Partner AG, 22.01.2024.
- [11] Piezometerdaten von fünf neuen Bohrungen auf St.Galler Seite des Alpenrheins (September 2023 – Februar 2024); Rheinunternehmen; 29.02.2024.
- [12] Piezometerdaten der Messstelle 14.0.30+D (Januar 2023 – Januar 2024); Amt für Umwelt FL; 08.03.2024.

### 2.3 Raster- und Vektordaten

- [13] Grundwasserschutzzonen und -areale (Stand 2018); Amt für Umwelt FL.
- [14] Grundwasserschutzzonen und -areale (Stand 2021); Amt für Wasser und Energie SG.
- [15] Diverse Kartengrundlagen (<https://wms.geo.admin.ch/>); swisstopo; 2024.
- [16] swissTLM3D (u.a. Gewässernetz); swisstopo; 2024.

### 2.4 Software

- [17] BASEMENT – Version 2.8.2 (2022), Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich.
- [18] SPRING – Version 6.2 (2024), delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten.

### 3 Projektübersicht, Szenarien und allgemeines Vorgehen

Die Aufweitung der **BESTVARIANTE** bei Rhein-km 51.0 – 52.7 sieht sowohl linksseitig (Buchs) als auch rechtsseitig des Alpenrheins (Schaan, Eschen) eine Verschiebung der Dämme vor. Die Breite der Rheinsohle beläuft sich nach Umsetzung des Projekts auf maximal 215 m [8]. Heute weist die Sohlenbreite 90 – 100 m auf [7]. Die Situation ist in Abbildung 1 dargestellt.

Als zweites Szenario soll die **ERWEITERUNG** nach Süden und Norden untersucht werden. Diese Variante sieht eine Aufweitung bei Rhein-km 50.2 – 54.2 vor (Abbildung 1). Die maximale Sohlenbreite beläuft sich dabei auf über 300 m [9]. Die zusätzliche Aufweitung betrifft nur Gebiete rechtsseitig des Alpenrheins (Schaan und Eschen).

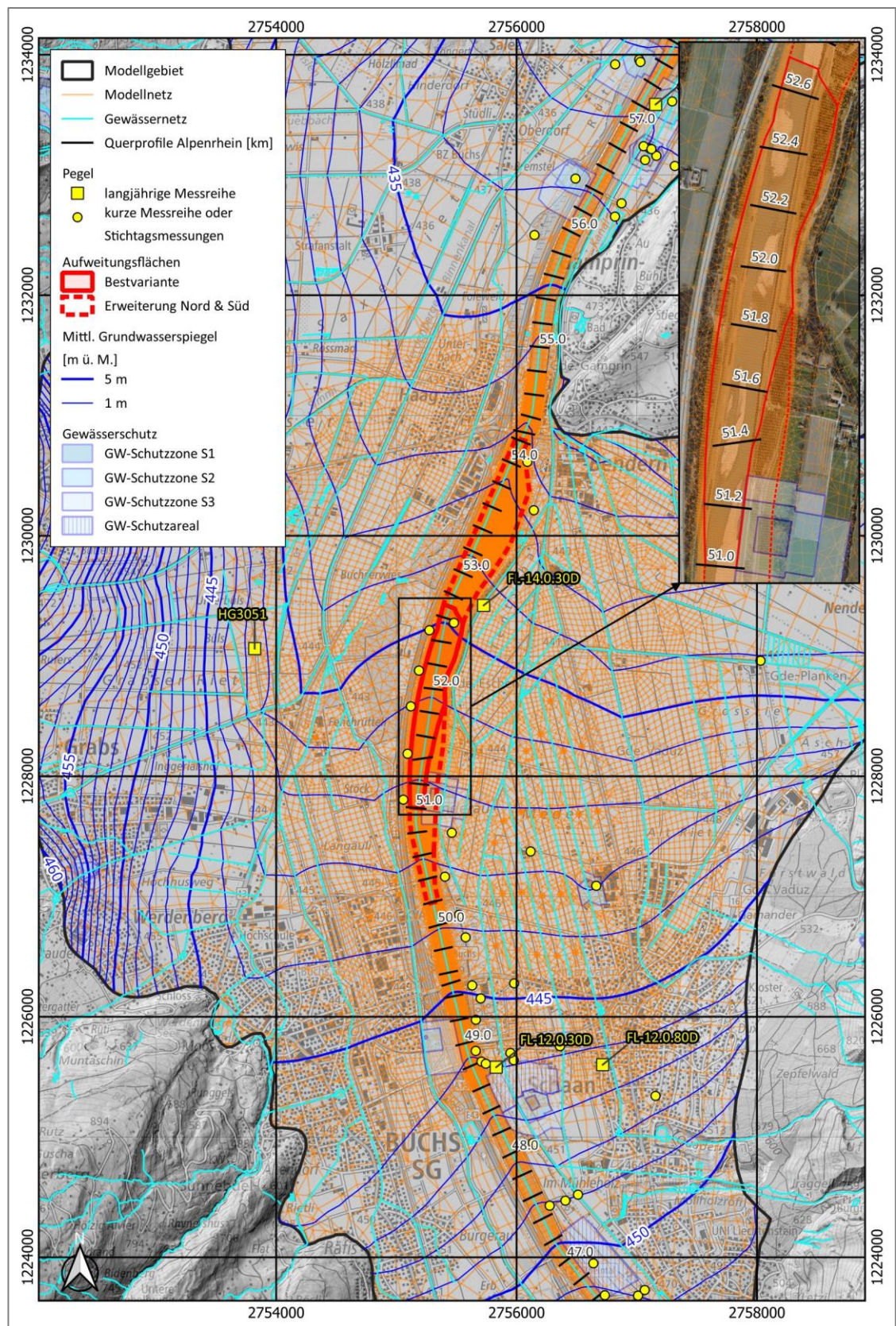
Da die morphologischen Untersuchungen auch ohne Aufweitung stellenweise grosse zukünftige Sohlenveränderungen zeigen [7], wird als weiteres Szenario die natürliche **ENTWICKLUNG** des Istzustands in 129 Jahren modelliert. Dieses Szenario wird neben dem **ISTZUSTAND** mit den Querprofilen des Alpenrheins von 2011 [6] als zusätzlichen Referenzzustand herangezogen. Mittlerweile sind im IRKA-Grundwassermodell aktuellere Querprofile berücksichtigt. Damit die Grundwassermodellierung aber konsistent mit der morphologischen Modellierung ist, werden die Querprofile von 2011 verwendet.

Der Wasserspiegel und die benetzte Breite des Alpenrheins üben einen grossen Einfluss auf den Grundwasserhaushalt aus und müssen daher detailliert berechnet und als Randbedingung bei der Grundwassermodellierung zugewiesen werden. Im Bereich der Aufweitung werden für die Abflussmodellierungen des Alpenrheins 2D-Modelle für die einzelnen Szenarien eingesetzt. Ausserhalb des Aufweitungsperimeters erfolgen die Abflussmodellierungen analog zum IRKA-Modell mit 1D-Hydraulikmodellen [4]. Auf den Modellaufbau und die Ergebnisse wird in Kapitel 4 eingegangen.

Die Grundwassermodellierungen erfolgen instationär und verwenden die vorliegenden hydrologischen Bedingungen der Jahre 2015 – 2016, weil diese Periode mittlere, hohe und niedrige Grundwasserstände umfasst. Für die Berechnung der beschriebenen Szenarien dient das aktuelle zweidimensionale Grundwassermodell Alpenrhein (Stand März 2024) [4] als Grundlage. Das Modell wird grossräumig verfeinert. Im Bereich des Alpenrheins wird das Modellnetz des Abflussmodells des Alpenrheins übernommen, um die berechneten Wasserspiegel direkt als Randbedingung übernehmen zu können. Auf das Grundwassermodell und die Ergebnisse wird in Kapitel 5 eingegangen.

Bauzustände, bei denen unterschiedliche Flusswasserspiegel und Sohlendurchlässigkeiten auftreten können, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Es wird in allen Fällen diejenige Sohlendurchlässigkeit eingesetzt, die aus der Modellkalibrierung [4] resultiert. Der kalibrierte Leakagekoeffizient ( $k_f/d$ ) beträgt im Untersuchungsperimeter  $1.0 \cdot 10^{-4}$  bei Exfiltrations- bzw.  $3.3 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  bei Infiltrationsabschnitten.







## 4 Abflussmodellierung Alpenrhein

### 4.1 Modellaufbau

Für die Erstellung der 1D- und 2D-Abflussmodelle stehen einerseits der Querprofil Datensatz des Alpenrheins mit vermessenen Querprofilen im Regelabstand von 200 m und andererseits die mittleren resultierenden Sohlen der morphologischen Modellierung sowie die Querprofilgeometrie im Aufweitungsbereich von Hunziker, Zarn & Partner AG [7][8][9] zur Verfügung.

In Abbildung 2 sind die Differenzen der mittleren Sohlen der drei zukünftigen Szenarien gegenüber der mittleren Sohle von 2011 dargestellt. Die morphologischen Untersuchungen zeigen auch ohne Aufweitung (Szenario *ENTWICKLUNG*) stellenweise grosse zukünftige Sohlenveränderungen nach 129 Jahren [7]. Oberhalb von km 48 zeigen sich Eintiefungen von bis zu 1.5 m, unterhalb davon Auflandungen von bis zu 1.5 m. Szenario *BESTVARIANTE* unterscheidet sich nur im Aufweitungsperimeter und in dessen Nahbereich erheblich von der Sohlenentwicklung des Istzustands. Hingegen wird bei Szenario *ERWEITERUNG* sowohl die Erosions- als auch die Auflandungstendenz grossräumig gedämpft. Nur im Aufweitungsperimeter werden grossen Auflandungen von über 2.5 m prognostiziert.

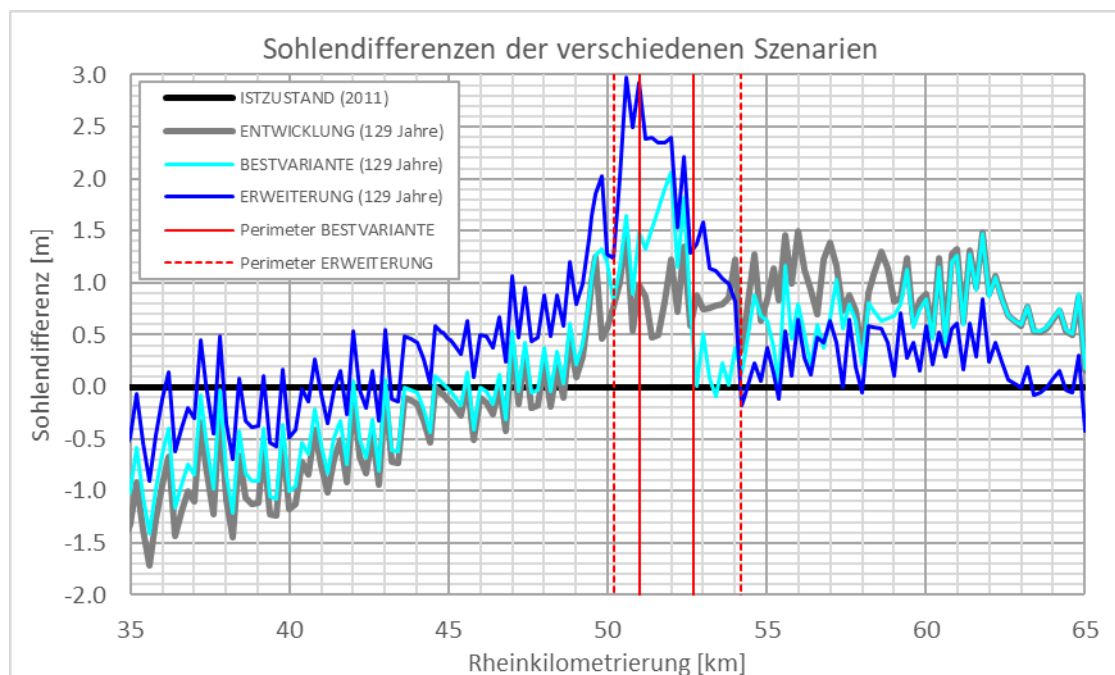


Abbildung 2: Sohldifferenzen der verschiedenen Szenarien

Oberhalb von Rhein-km 50.0 bzw. unterhalb von Rhein-km 54.6 erfolgen die Abflussmodellierungen analog zum IRKA-Modell [4] mit **1D-Abflussmodellen**. Dabei wird bei den drei Prognoseszenarien (*ENTWICKLUNG*, *BESTVARIANTE*, *ERWEITERUNG*) die von Hunziker, Zarn & Partner AG berechnete Sohldifferenz zur bestehenden Sohlengeometrie von 2011 [6] dazu addiert. Mittels Interpolation werden Zwischenquerprofile eingefügt, damit die Abstände zwischen den Querprofilen maximal 50 m beträgt. Auch im Abschnitt von Rhein-km 50.0 – 54.6, wo die Wasserspiegelberechnung mit 2D-Modellen erfolgt (siehe unten), werden die Querprofile mit der gleichen Methode angepasst, falls es sich nicht um ein Aufweitungs-Querprofil handelt.

Die prognostizierten, durch die Geschiebemodellierung erzeugten Querprofile weisen ebene (mittlere) Sohlenlagen auf, auf deren Basis die Modellierung kleiner Abflüsse unrealistische benetzte Breiten und somit zu grosse Infiltrationsflächen ermitteln würde. Aus diesem Grund wurde im Bereich der Aufweitungsstrecke von Hunziker, Zarn & Partner AG eine Niedrigwasserrinne in die Querprofile eingearbeitet. Dabei wurden die Erkenntnisse, die bei der Untersuchung der Mastrilser Auen im Rahmen der Aufweitung Maienfeld/Bad Ragaz gewonnen wurden, berücksichtigt. In Anhang 1 sind die Querprofile aller Szenarien von km 48.6 – 54.8 dargestellt.

Für den Bereich von Rhein-km 48.6 – 54.8 wird mittels Interpolation anhand der Querprofil Datensätze pro Szenario ein **2D-Abflussmodell** aufgebaut. Die Netzauflösung beträgt in Querrichtung maximal 5 m und in Längsrichtung maximal 10 m. Die Geländehöhen der vier Abflussmodelle sind in Anhang 2a abgebildet. Um die Beeinflussung der oberen und unteren Randbedingung auszuschliessen, werden nur die berechneten Wasserspiegel des Abschnitts von Rhein-km 50.0 – 54.6 aus den 2D-Modellen bei der Grundwassermodellierung verwendet.

Die 1D- und 2D-Abflussmodellierungen erfolgen mit der Software BASEMENT [17]. Analog zum IRKA-Modell [4] wird für alle Querprofile ein Rauigkeitsbeiwert von  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  angenommen. Durch schrittweises Erhöhen des Zuflusses bei der oberen Randbedingung werden zunächst pro Szenario Wasserspiegel-Abfluss-Beziehungen für jedes Querprofil bzw. jeden Modellknoten berechnet. Anschliessend werden diese Beziehungen angewandt, um mittels gemessener Abflussdaten der Periode 2015 – 2016 [4] Ganglinien des Rheinwasserspiegels zu errechnen.

## 4.2 Ergebnisse

Anhang 2b-2d zeigt die Ergebnisse der 2D-Abflussmodellierung mit den berechneten Wasserspiegeln und benetzten Breiten bei unterschiedlichen Abflüssen im Alpenrhein. Bei geringen Abflüssen ( $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ ) unterscheidet sich die benetzte Breite zwischen den Szenarien nur geringfügig. Bei grossen Abflüssen ( $Q = 1'000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) hingegen ist die benetzte Breite bei den Aufweitungsszenarien (*BESTVARIANTE*, *ERWEITERUNG*) stellenweise wesentlich grösser als bei den Szenarien *ISTZUSTAND* und *ENTWICKLUNG*.

Ein Vergleich der Szenarien bzgl. der Wasserspiegellage bei unterschiedlichen Abflüssen zeigen die Längsprofile in Anhang 3. Bei hohen Abflüssen ist der Anstieg des Wasserspiegels bei den Aufweitungsszenarien gegenüber dem *ISTZUSTAND* wesentlich geringer als bei geringen Abflüssen. Grund dafür ist die flachere Wasserspiegel-Abfluss-Beziehungen aufgrund des breiteren Gerinnes.

Ausserhalb des Aufweitungsbereichs verhält sich der Anstieg bzw. die Absenkung des Wasserspiegels analog zur Auflandung bzw. Erosion der mittleren Sohle (vgl. Abbildung 2).

## 5 Grundwassermodellierung

### 5.1 Bestehendes Grundwassermodell

Als Grundlage dient das bestehende 2D-Grundwassermodell Alpenrhein (Stand März 2024), das den gesamten Grundwasserleiter zwischen Reichenau und Bodensee abbildet [4]. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt im Projektperimeter im südlichen Bereich rund 40 m und nimmt gegen Norden hin bis auf rund 10 m ab. Die aktuelle Kalibrierungsperiode ist 2013 – 2022. Die Kalibrierung stützt sich im unmittelbaren Nahbereich der geplanten Aufweitung auf nur einen Pegel mit langjähriger Messreihe ab (siehe Abbildung 1). Der Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem Grundwasserspiegel ist in Abbildung 3 dargestellt. Ein weiterer Pegel mit langjähriger Messreihe liegt rund 1'500 m westlich der Aufweitung. Die kalibrierten Durchlässigkeiten (k-Werte) betragen im Projektperimeter  $1 - 3 \cdot 10^{-3}$  m/s.

### 5.2 Modellanpassung und Randbedingungen

Das bestehende Grundwassermodell wird grossräumig verfeinert. Im Bereich der Aufweitung wird das Modellnetz des 2D-Abflussmodells des Alpenrheins (siehe Kap. 4) übernommen. Ausserhalb der Aufweitung ist die räumliche Diskretisierung der Rheinsohle bereits ausreichend fein aufgelöst. In Abbildung 1 ist ein Teil des Modellnetzes dargestellt.

Um die Interaktion zwischen Alpenrhein und Grundwasserleiter zu simulieren, wird analog zum IRKA-Grundwassermodell [4] ein Leakage-Konzept angewendet (Cauchy-Randbedingung), welches die abflussabhängige, räumlich variierende Benetzung der Gewässersohle berücksichtigt. Die Modellknoten, die zu einem bestimmten Zeitschritt nicht benetzt sind, werden bei der Berechnung deaktiviert. Die aus der 1D-Abflussmodellierung resultierenden Wasserspiegel werden für die Grundwassermodellierung als Randbedingung räumlich auf die Modellknoten interpoliert. Der Wasserspiegel aus der 2D-Abflussmodellierung können direkt übernommen werden, da die Modellknoten im Grundwassermodell identisch sind.

Neben der Gerinnegeometrie und dem Wasserspiegel des Alpenrheins werden für die unterschiedlichen Szenarien keine anderen Randbedingungen variiert. Für die Neubildung, den Randzufluss und die Wasserspiegel der übrigen Gewässer wird der instationäre Datensatz gemäss IRKA-Modell [4] angesetzt.

Die Modellierung der vier Szenarien erfolgt zweidimensional und instationär mittels der Software SPRING [18] für die Zeitperiode 2015 – 2016. Diese Periode umfasst mittlere, hohe und niedrige Grundwasserstände. Die Zeitschrittweite ist ein Tag.

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Änderung des Grundwasserspiegels

In Abbildung 3 sind die Ganglinien der modellierten Grundwasserstände beim Pegel 14.0.30D (Standort siehe Abbildung 1) dargestellt. Beim *ISTZUSTAND* zeigt sich eine Schwankungsamplitude von rund 2 m.

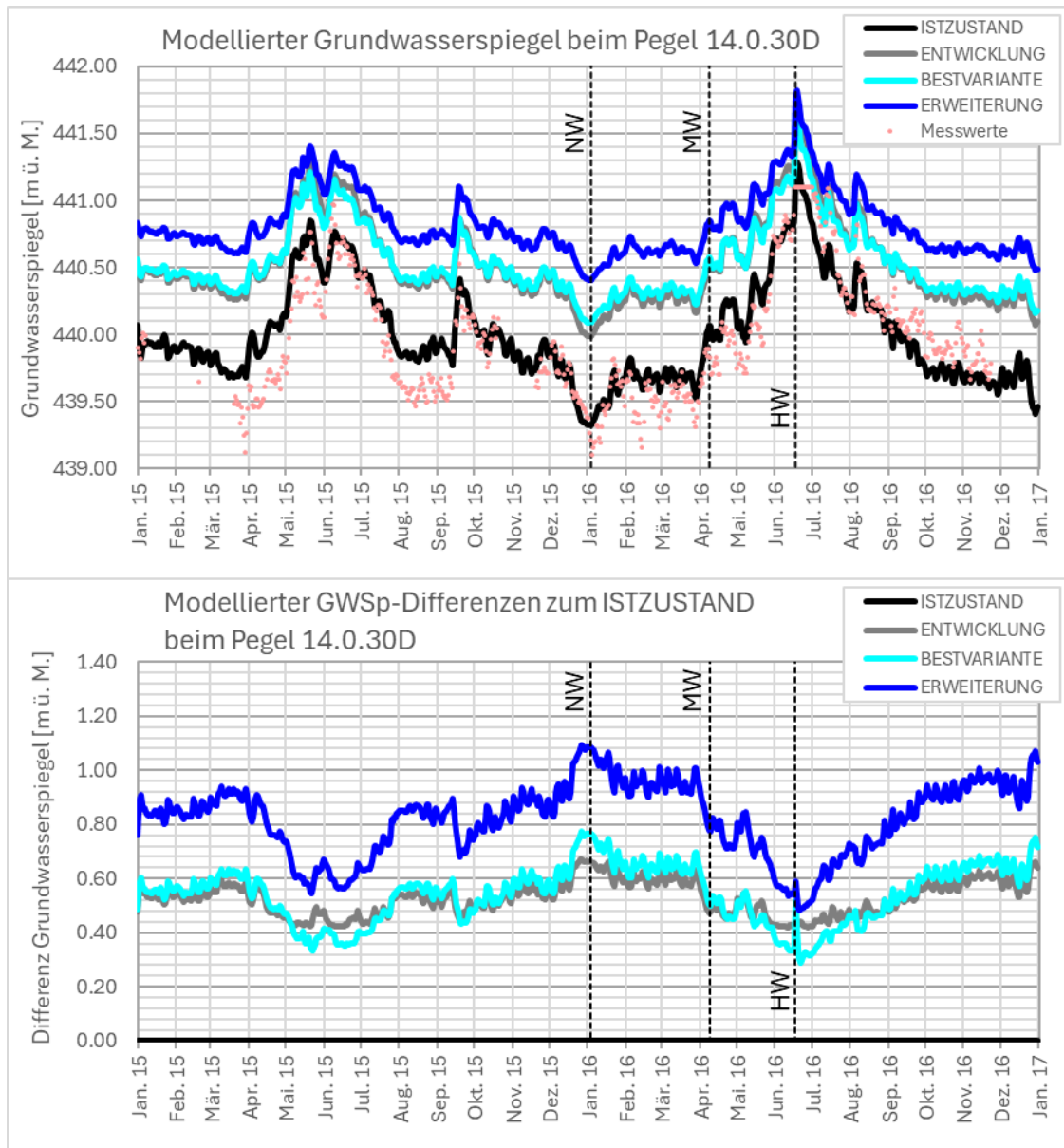


Abbildung 3: Modellierter Grundwasserspiegel bzw. Differenz zum ISTZUSTAND beim Pegel 14.0.30D

Auffallend ist zudem, dass der Grundwasserspiegelanstieg der einzelnen Szenarien (*ENTWICKLUNG*, *BESTVARIANTE*, *ERWEITERUNG*) gegenüber dem *ISTZUSTAND* nicht konstant ist, sondern vom aktuellen Grundwasserniveau abhängt. Bei hohen Grundwasserständen ist der Anstieg um einiges geringer als bei niedrigen Grundwasserständen. Dies ist einerseits da-

rauf zurückzuführen, dass die dämpfende Wirkung der Binnengewässer bei Hochwasser stärker ausgeprägt ist und sich der zusätzliche Grundwasserspiegelanstieg im Nahbereich des Alpenrheins weniger weit ausdehnen kann als bei niedrigen Grundwasserständen. Andererseits steigt bei den Aufweitungsszenarien der Rheinwasserspiegel durch die flachere Wasserspiegel-Abfluss-Beziehungen (vgl. Kap. 4.2) und dadurch der Grundwasserspiegel bei Hochwasser gegenüber dem *ISTZUSTAND* weniger stark an.

Die Beilagen 1a-1c (*ISTZUSTAND*), 2a-2c (*ENTWICKLUNG*), 3a-3c (*BESTVARIANTE*) und 4a-4c (*ERWEITERUNG*) zeigen in Situationsplänen die Isohypsen des Grundwasserspiegels und die Art des Wasseraustauschs zwischen Oberflächengewässer und Grundwasserleiter (Exfiltration, Infiltration) zu den gewählten Auswertungszeitpunkten (siehe Abbildung 3) bei niedrigen (NW), mittleren (MW) und hohen Grundwasserständen (HW). Bei den Szenarien *ENTWICKLUNG*, *BESTVARIANTE* und *ERWEITERUNG* ist zudem die Grundwasserspiegeldifferenz zum *ISTZUSTAND* dargestellt.

Der Grundwasserspiegel im *ISTZUSTAND* zeigt grossräumig betrachtet mehrheitlich auf den Alpenrhein senkrecht ausgerichtete Isohypsen, d.h. eine parallel zum Alpenrhein gerichtete Grundwasserströmung. Nur in den Randgebieten von St.Gallen (Grabs, Gams, Sennwald) ist die Strömungsrichtung senkrecht zur allgemeinen Ausrichtung des Rheintals. Der Hauptgrundwasserstrom zeigt im Bereich der geplanten Aufweitung ein Gefälle von 1.6 ‰. Die Art des Wasseraustauschs zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser ändert sich je nach hydrologischer Situation. Bei Niedrigwasser wechselt sich im Alpenrhein im Bereich der geplanten Aufweitung Infiltration und Exfiltration ab. Bei Mittel- und Hochwasserzuständen zeigt der Alpenrhein hingegen fast ausschliesslich Infiltration. Bei Hochwasser kommt es bei wesentlich mehr Binnengewässerabschnitten zu Exfiltration als bei niedrigen Verhältnissen, wo mehrheitlich nur der Werdenberger bzw. Liechtensteiner Binnenkanal drainierend wirken.

Die Grundwasserspiegeländerungen bei Szenario *ENTWICKLUNG* spiegelt die natürliche Entwicklung der Rheinsohle (siehe Abbildung 2) wider. Oberhalb von Rhein-km 48 sind ohne Aufweitung ein Absinken des Grundwasserspiegels über die ganze Talebene zu erwarten. Diese Absenkung beträgt unterhalb der Ellhornschwelle stellenweise mehr als 1.0 m und reduziert sich talabwärts. Unterhalb von Rhein-km 48 ist mit einem steigenden Grundwasserspiegel zu rechnen. Der Anstieg beläuft sich hierbei ebenfalls auf bis zu 1.0 m. Im Vergleich zur Ausdehnung der Grundwasserspiegelabsenkung erstreckt sich die Ausdehnung des Anstiegs nicht über die gesamte Talebene, da die Binnengewässer durch Exfiltration für eine Stabilisierung des Grundwasserspiegels sorgen.

Die Ergebnisse der *BESTVARIANTE* zeigen oberhalb von Rhein-km 48 tendenziell eine geringere Absenkung des Grundwasserspiegels bzw. unterhalb von Rhein-km 53 einen geringeren Anstieg als die Ergebnisse von Szenario *ENTWICKLUNG*. Nur im Bereich der Aufweitung ist ein grösserer Anstieg des Grundwasserspiegels zu erwarten. Im Hochwasserfalls beträgt die Differenz allerdings nur maximal 0.20 m, wie Abbildung 4 zeigt.

Bei Szenario *ERWEITERUNG* kommt es gegenüber Szenario *ENTWICKLUNG* unterhalb der Ellhornschwelle zu einer wesentlich geringer ausgeprägten Absenkung des Grundwasserspiegels. Wesentlich geringer ist auch der Anstieg des Grundwasserspiegels unterhalb der Aufweitung. Dieses Aufweitungsszenario stabilisiert grossräumig betrachtet neben der Rheinsohle (vgl. Kap. 4.2) auch den Grundwasserspiegel. Allerdings ist im Bereich der Aufweitung ein Anstieg



des Grundwasserspiegels gegenüber dem *ISTZUSTAND* von bis zu 1.25 m zu erwarten. Gegenüber Szenario *ENTWICKLUNG* beträgt der Anstieg bei Hochwasser im Nahbereich des Alpenrheins über 0.50 m, wie Abbildung 5 zeigt.

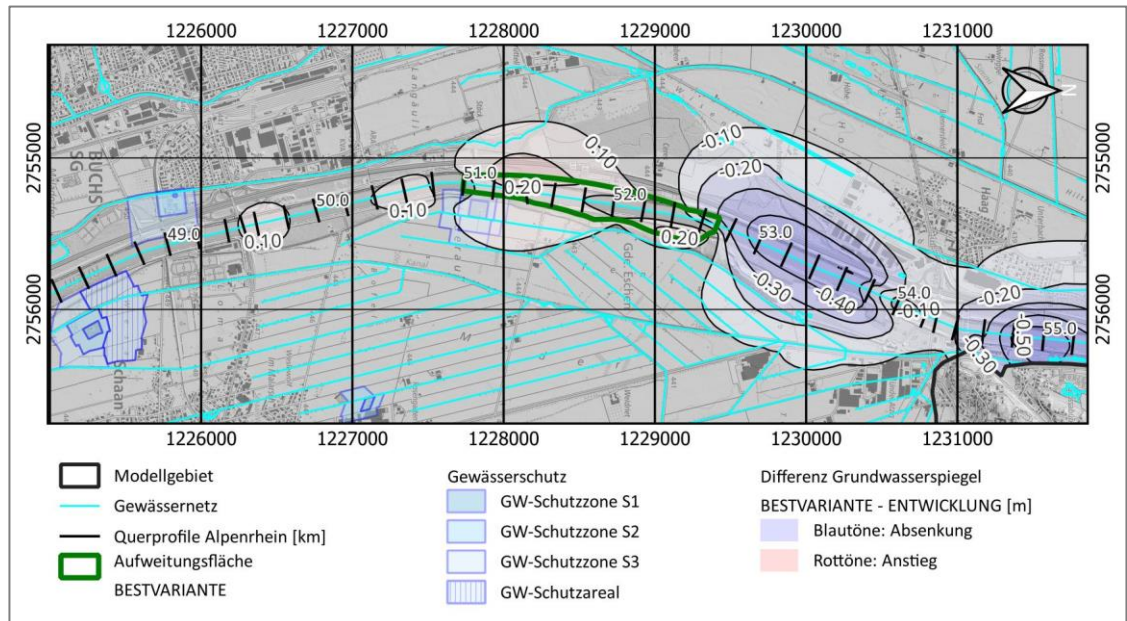


Abbildung 4: Differenz Grundwasserspiegel BESTVARIANTE – ENTWICKLUNG bei Hochwasser (HW)

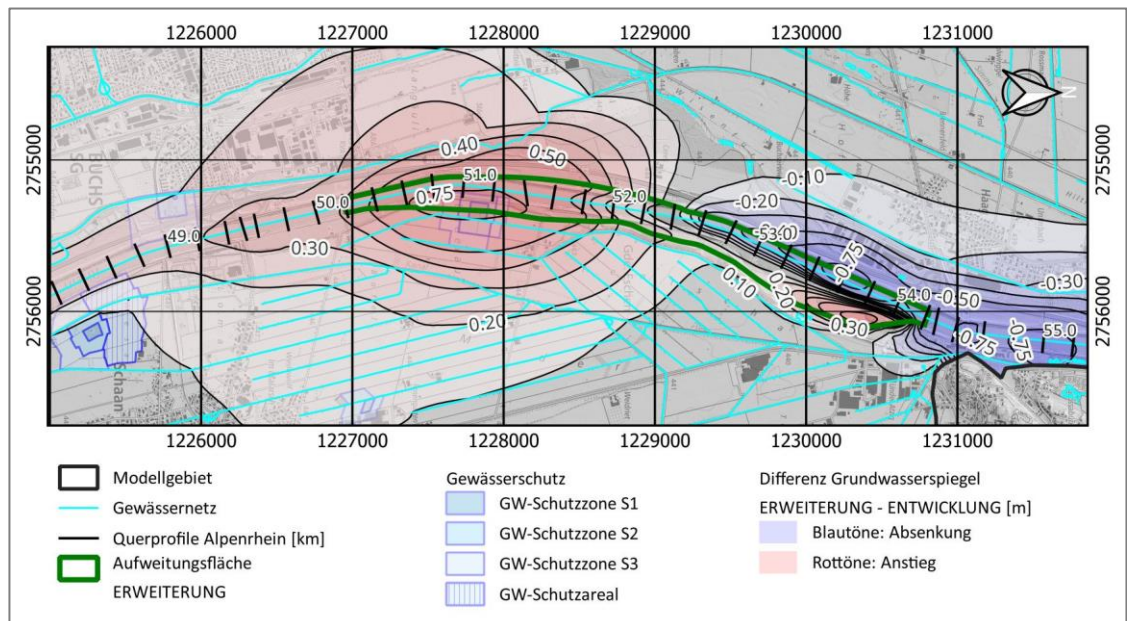


Abbildung 5: Differenz Grundwasserspiegel ERWEITERUNG – ENTWICKLUNG bei Hochwasser (HW)

### 5.3.2 Flurabstände

Die Flurabstände (Abstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasseroberfläche) bei hohen Grundwasserständen sind in den Beilagen 1d, 2d, 3d und 4d für die einzelnen Szenarien dargestellt. Gebiete mit negativen Flurabständen (in den Beilagen blau eingefärbt) entsprechen dabei einer Vernässung des Bodens bis zur Geländeoberkante oder hydraulisch gespannten Verhältnissen mit einem Grundwasserpotential, das über der Geländeoberkante liegt.

Im *ISTZUSTAND* beträgt der Flurabstand in der Talebene im Bereich des Aufweitungsperimeters mehrheitlich 0 – 2 m, wo sich auch Teile der Siedlungsgebiete von Buchs, Schaan und Haag befinden. Negative Flurabstände werden im Rietgebiet von Schaan und Eschen modelliert. Im Bereich von Grabs, Gams und Sennwald ist das Modell aufgrund der geringen Messstellendichte, des steilen Grundwassergefälles und der Nichtberücksichtigung der kleineren Drainagekanäle mit grösserer Unsicherheit behaftet, weshalb es hier durchaus denkbar ist, dass die Ausdehnung der negativen Flurabstände überschätzt wird. Dies hat aber auf die Aussagekraft der Ergebnisse in der Talebene keinen Einfluss.

Der Flurabstand der Szenarien *ENTWICKLUNG*, *BESTVARIANTE* und *ERWEITERUNG* verringert sich in der Talebene im Bereich des Aufweitungsperimeters gegenüber dem *ISTZUSTAND* entsprechend dem Anstieg des Grundwasserspiegels.

### 5.3.3 Näher abzuklärender Einflussbereich

Die Relevanz von Flurabstand und Grundwasseranstieg bedingt sich gegenseitig und ist zusätzlich von der Art der Landnutzung abhängig. Welche Bereiche im Untersuchungsgebiet näher abzuklären sind, ergibt sich daher aus eben diesen drei Einflussfaktoren. Für die Ermittlung des näher abzuklärenden Einflussbereichs werden die gleichen Kriterien angewandt wie im Rahmen des Aufweitungsprojekts Sevelen/Vaduz [3], da im Projektperimeter der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen ähnliche Grundwasserverhältnisse vorherrschen. Bereiche mit einem Grundwasseranstieg von mehr als 0.2 m bei einem Flurabstand von weniger als 3 m in Siedlungsgebieten bzw. 1 m in Landwirtschaftsgebiet falls demnach in die Kategorie «näher abzuklärender Einflussbereich». Zusätzlich sind in diesen Plänen Pufferzonen mit einem GW-Anstieg von mehr als 0.1 m sowie alle Bereiche mit niedrigem Flurabstand (< 3 m, bzw. < 1 m) dargestellt.

Die Beilagen 2e, 3e und 4e zeigt die näher abzuklärenden Einflussbereiche für die Szenarien *ENTWICKLUNG*, *BESTVARIANTE* und *ERWEITERUNG*. Folgende Punkte können festgehalten werden:

- Grössere Flächen des **Siedlungsgebiets von Haag** zeigen im Szenario *ENTWICKLUNG* näher abzuklärende Einflussbereiche. Bei der *BESTVARIANTE* ist die Fläche wesentlich kleiner. Im Szenario *ERWEITERUNG* ist Haag nicht mehr betroffen.
- Im **Siedlungsgebiet von Buchs** ergibt sich bei Szenario *ERWEITERUNG* ein grossflächiger näher abzuklärender Einflussbereich. Im Szenario *BESTVARIANTE* und insbesondere im Szenario *ENTWICKLUNG* ist diese Fläche wesentlich geringer.
- Im **Siedlungsgebiet von Schaan** ergibt sich bei Szenario *ERWEITERUNG* eine wesentlich geringere Fläche des näher abzuklärenden Einflussbereichs als in Buchs. Bei den Szenarien *BESTVARIANTE* und *ENTWICKLUNG* verschwindet diese Fläche fast vollständig.
- Im **Landwirtschaftsgebiet in der Talebene** wird für Szenario *ERWEITERUNG* die grösste Ausdehnung des näher abzuklärenden Einflussbereichs modelliert. Bei Szenario *ENTWICKLUNG* verschiebt sich dieses Gebiet gegenüber den beiden anderen Szenarien Richtung Norden.

### 5.3.4 Einfluss auf die bestehenden Grundwasserschutzzonen

Im Folgenden wird eine qualitative Aussage zu den Grundwasserschutzzonen und -arealen bzw. deren Fassungen gemacht. Eine quantitative Betrachtung mit dem Grundwassermodell ist nicht Inhalt dieses Auftrags und muss im Rahmen der weiteren Planung des Aufweitungsprojekts erfolgen.

Wie die Beilagen zeigen, liegen die Schutzzonen des Grundwasserpumpwerks **Unterau Schaan** direkt neben dem Alpenrhein. Bei der Realisierung einer erweiterten Aufweitung verschiebt sich der Rheindamm um rund 100 m nach Osten, wodurch die Schutzzonen und das Pumpwerk aufgehoben werden müssten. Bei den Szenarien *ENTWICKLUNG* und *BESTVARIANTE* zeigt sich ein erhöhter Grundwassergradient zwischen Alpenrhein und den Binnenkanälen, wodurch sich die Aufenthaltsdauer des Grundwassers zwischen Alpenrhein und Infiltration verringert und der Anteil an Rheinwasser im Pumpwerk erhöht wird.

Die Schutzzonen der Grundwasserfassung **Rheinau Buchs** liegen rund 1'800 m oberhalb der Aufweitungsfläche der Bestvariante bzw. 900 m oberhalb der Aufweitungsfläche der Erweiterung. Bei allen drei Szenarien ergibt sich ein erhöhter Grundwassergradient zwischen Alpenrhein und den Binnenkanälen, wodurch bzgl. Beeinflussung der Fassung das Gleiche gilt wie beim Grundwasserpumpwerk Unterau Schaan, wenn auch weniger ausgeprägt. Die grösste Beeinflussung ist bei Szenario *ERWEITERUNG* zu erwarten.

Das Grundwasserpumpwerk **Wiesen Schaan** bzw. dessen Schutzzonen liegen auf der rheinabgewandten Seite des Liechtensteiner Binnenkanals, wo sich der Grundwasserspiegel bzw. -gradient durch die Szenarien kaum ändert. Dadurch ist davon auszugehen, dass es zu keiner oder nur einer geringfügigen Beeinflussung kommt.

Auf die weiter weg liegenden Schutzzonen und -areale wird nicht im Detail eingegangen. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass im Bereich, wo der Rheinwasserspiegel sinkt, auch der Anteil an Rheinwasser in den Fassungen abnehmen wird. Ein erhöhter Rheinwasseranteil ist in Bereichen mit erhöhtem Rheinwasserspiegel zu erwarten (z.B. Schutzzonen Oberau und Spetzau in Ruggell, Schutzzonen Rüti und Herbrig in Sennwald, Schutzzonen Neufeld in Rüthi, Schutzareal Älberli Au-Sand in Rüthi).

### 5.3.5 Entwicklung Grundwasserspiegel und Monitoring

Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, sind im IRKA-Grundwassermodell mittlerweile aktuellere Querprofile von 2022 berücksichtigt [4]. Damit die Grundwassermodellierung aber konsistent mit der morphologischen Modellierung ist, wurden für die Grundwassermodellierung die Querprofile von 2011 verwendet. An dieser Stelle wird zusammenfassend die Entwicklung des Rheinwasserspiegels und des Grundwasserspiegels in der Zeit von 2011 – 2022 dargestellt.

In Abbildung 6 ist die Differenz der mittleren modellierten Rheinwasserspiegel dargestellt, die sich aus der 1D-Abflussmodellierung mit den Querprofilen 2022 und den Querprofilen von 2011 ergeben. Im Aufweitungsperimeter ergeben sich mit dem neuen Querprofil Datensatz rund 0.5 m höhere Wasserspiegel, was auf die Auflandung seit 2011 in diesem Bereich zurückzuführen ist.

Der Grundwasserspiegel beim Pegel 14.0.30D, der sich im unmittelbaren Nahbereich der geplanten Aufweitung befindet, zeigt ebenfalls einen ansteigenden Trend (Abbildung 7). Möglicherweise ist der Anstieg auf den erhöhten Rheinwasserspiegel zurückzuführen. Allerdings können auch andere Gründe dafür verantwortlich sein (z.B. Veränderung bei den Binnengewässern). Jedenfalls kann ein ähnlicher Trend bei anderen Pegeln nicht festgestellt werden (z.B. HG3051 auf St.Galler Seite des Rheins).

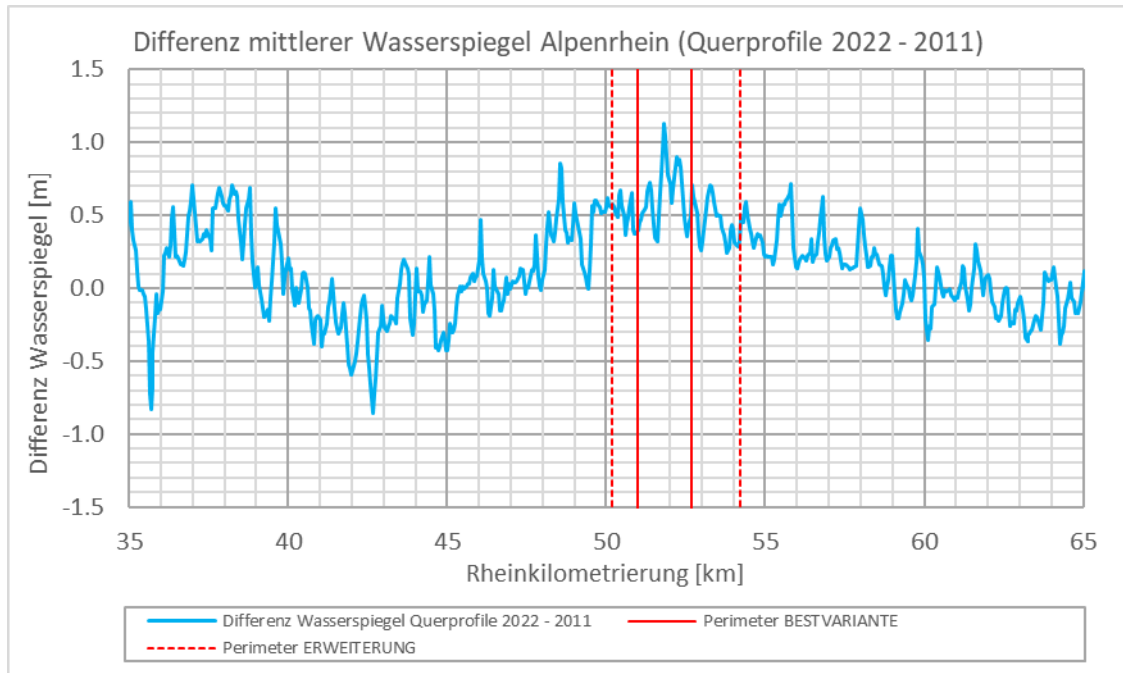


Abbildung 6: Differenz mittlerer Wasserspiegel Alpenrhein (Querprofile 2022 - 2011)

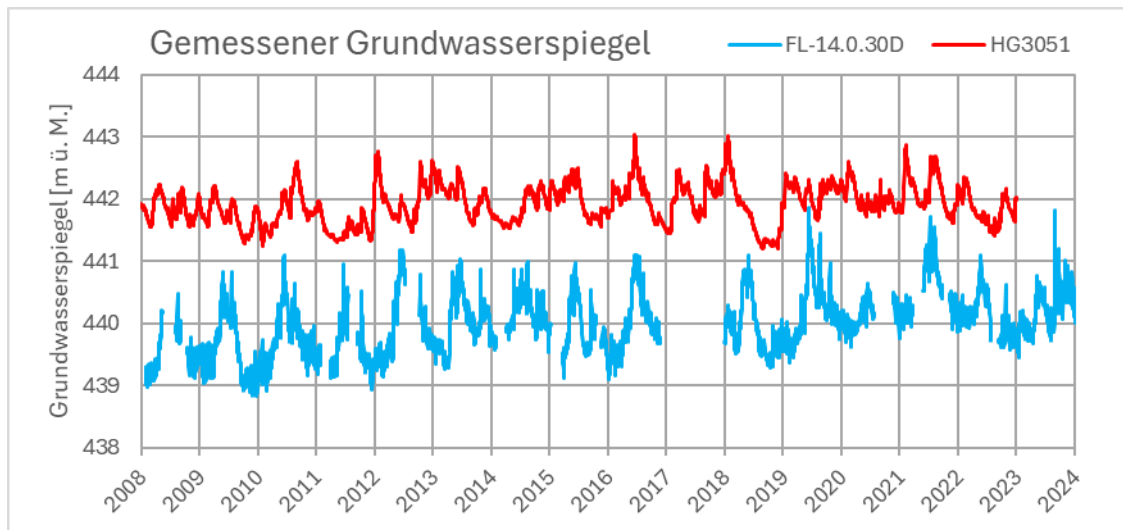


Abbildung 7: Gemessener Grundwasserspiegel bei den Pegeln mit langjähriger Messreihe

Für die weitere Planung des Projekts ist ein verfeinertes Grundwassermonitoring beidseits des Alpenrheins nötig. Der Kanton St.Gallen hat bereits fünf neue Piezometer entlang des Alpenrheins im Bereich der geplanten Aufweitungsfäche installiert (siehe Abbildung 1). Bei diesen Piezometer werden der Grundwasserstände seit 2023 aufgezeichnet.

Zudem wird eine detaillierte Aufnahme der Binnengewässer empfohlen, um deren Interaktion mit dem Grundwasserleiter besser zu verstehen und zuverlässiger abbilden zu können. Dadurch lässt sich die Ausdehnung des Grundwasserspiegelanstiegs mit dem Modell noch zuverlässiger abbilden.



## 6 Schlussbemerkung / Fazit

Die Untersuchungen von Hunziker, Zarn & Partner AG zeigen, dass auch bei der natürlichen Entwicklung des Istzustands grosse Erosionen und Auflandungen zwischen der Ellhornschwelle und der Illmündung zu erwarten sind. Die aus der Grundwassermodellierung resultierenden Änderungen des Grundwasserspiegels spiegeln diese Entwicklung wider.

Die Modellergebnisse der Bestvariante des Aufweitungsprojekts Schaan, Buchs & Eschen unterscheiden sich grossräumig betrachtet nur geringfügig von den Ergebnissen der natürlichen Entwicklung. Lediglich im Nahbereich der Aufweitungsfläche wirkt sich das Projekt negativ aus, was die maximalen Grundwasserstände anbelangt. Der zusätzliche Anstieg schätzt das Grundwassermodell auf maximal 0.20 m.

Demzufolge kann festgehalten werden, dass vermutlich schon bei der natürlichen Entwicklung der Rheinsohle Massnahmen zur Dämpfung der maximalen Grundwasserstände erforderlich sein werden (z.B. Geschiebemanagement, Erhöhung Drainagewirkung Binnengewässer). Die Bestvariante würde gegenüber der natürlichen Entwicklung langfristig betrachtet wahrscheinlich keine zusätzlichen Massnahmen erfordern. Vorbehalten ist der Bauzustand, der hier nicht untersucht wurde.

Eine wesentlich grössere Beeinflussung geht von der zusätzlich untersuchten Variante mit einer Erweiterung der Aufweitung nach Süd und Nord aus. Zusätzliche Massnahmen zur Dämpfung der maximalen Grundwasserstände wären bei dieser Ausführung vermutlich notwendig. Insbesondere beim Grundwasserpumpwerk Unterau Schaan, das sich direkt neben dem Alpenrhein befindet, ist zu erwarten, dass sich durch den Grundwasserspiegelanstieg die Fliesszeiten und Rheinwasseranteile leicht verändern werden. Dies müsste in einer weiteren Phase detailliert untersucht werden.

Weiter ist festzuhalten, dass sich die Rheinsohle bzw. der Grundwasserspiegel gegebenenfalls anders entwickeln wird, falls weitere Aufweitungen am Alpenrhein realisiert werden. Dies muss ebenfalls Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Zürich, 16. Oktober 2024

Verfasser: Michael Ballmer

TK CONSULT AG



Dr. Rouven Künze  
Geschäftsführer  
rouven.kuenze@tkconsult.ch  
044 288 81 88

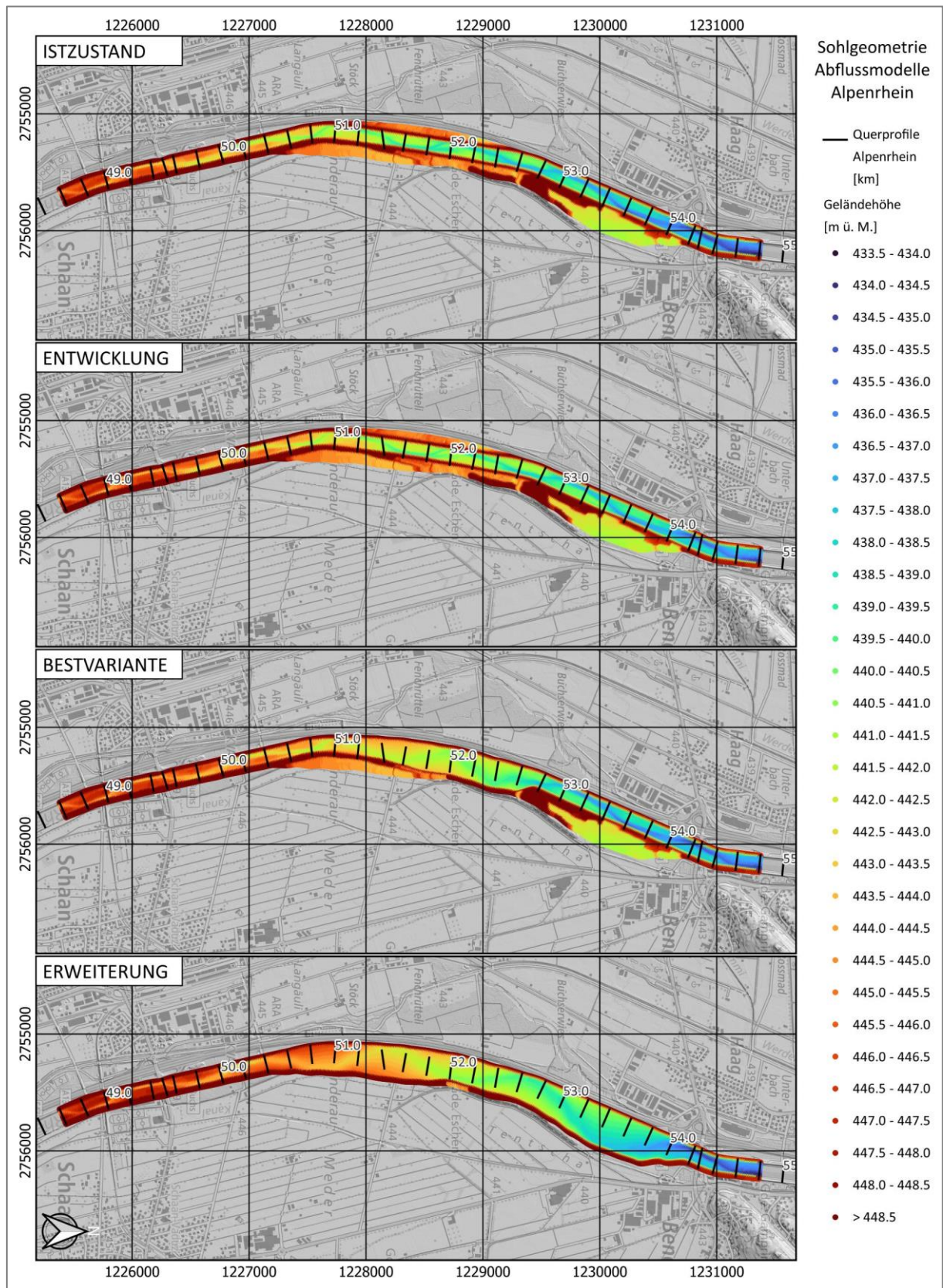


Michael Ballmer  
Projektleiter  
michael.ballmer@tkconsult.ch  
044 288 81 84

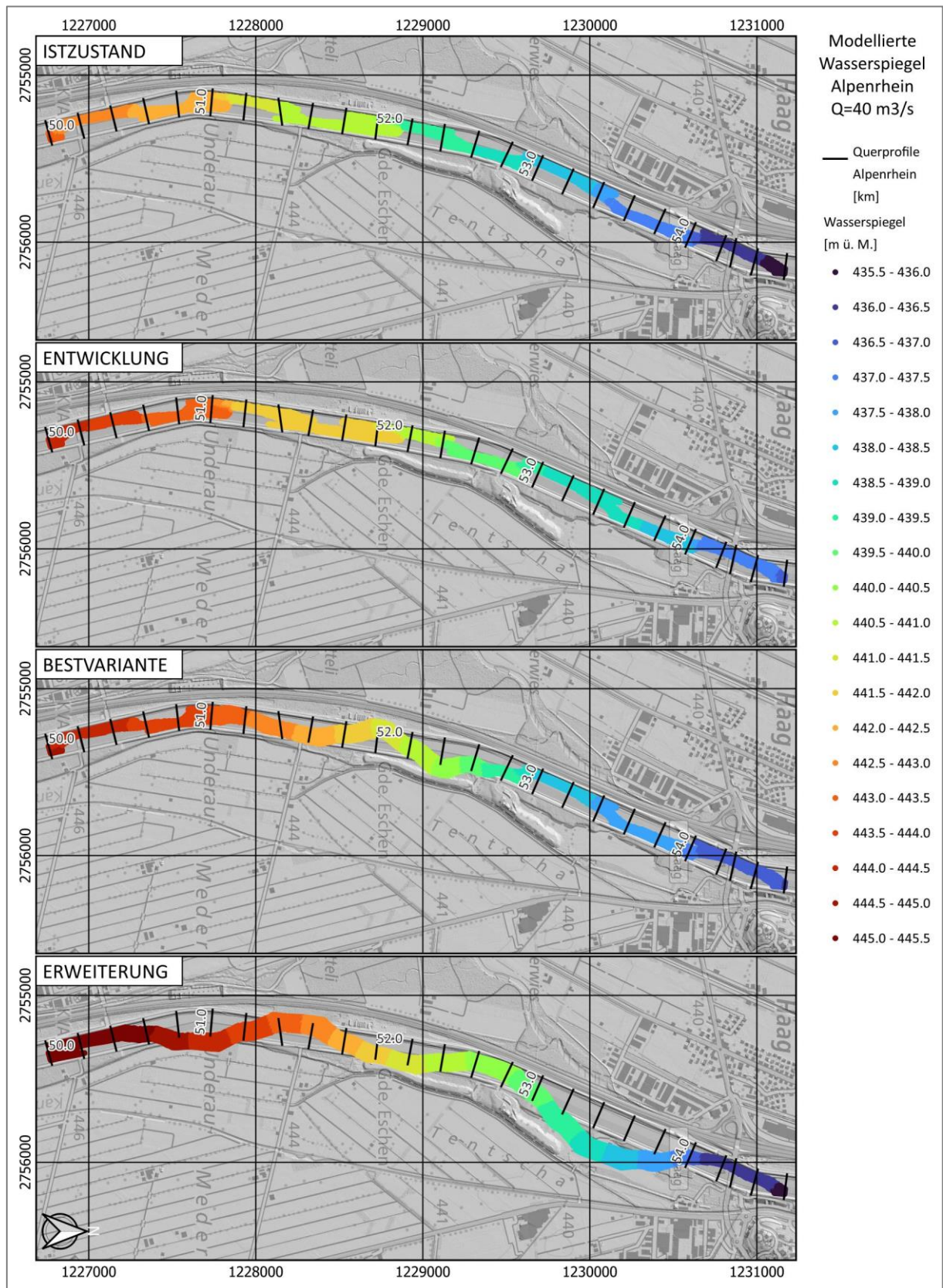
## Anhang 1: Querprofile Alpenrhein km 48.6 – 54.8

- **Schwarz:** Szenario ISTZUSTAND
- **Grau:** Szenario ENTWICKLUNG
- **Türkis:** Szenario BESTVARIANTE
- **Blau:** Szenario ERWEITERUNG

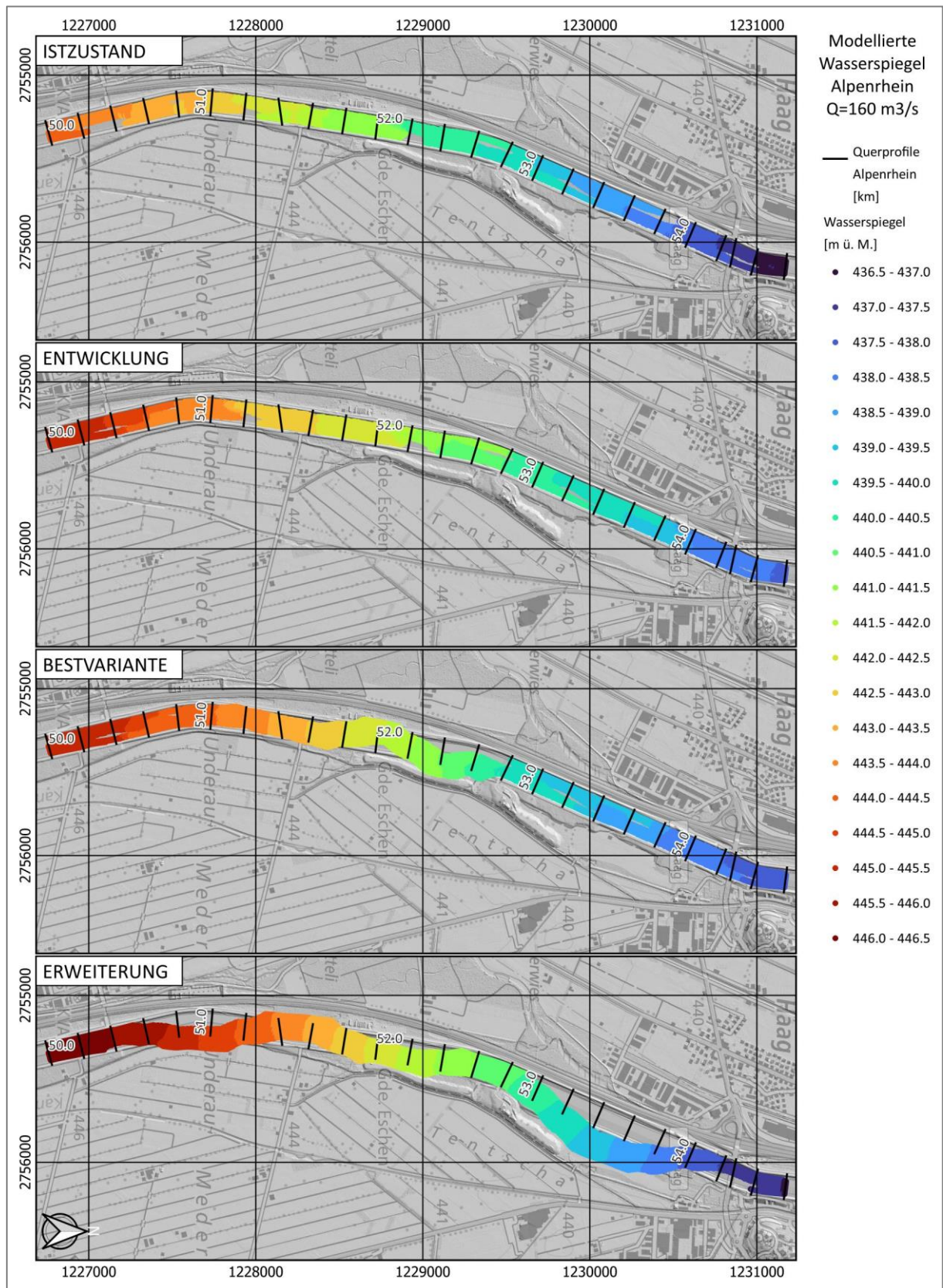
## Anhang 2a: Sohlgeometrie Abflussmodelle Alpenrhein



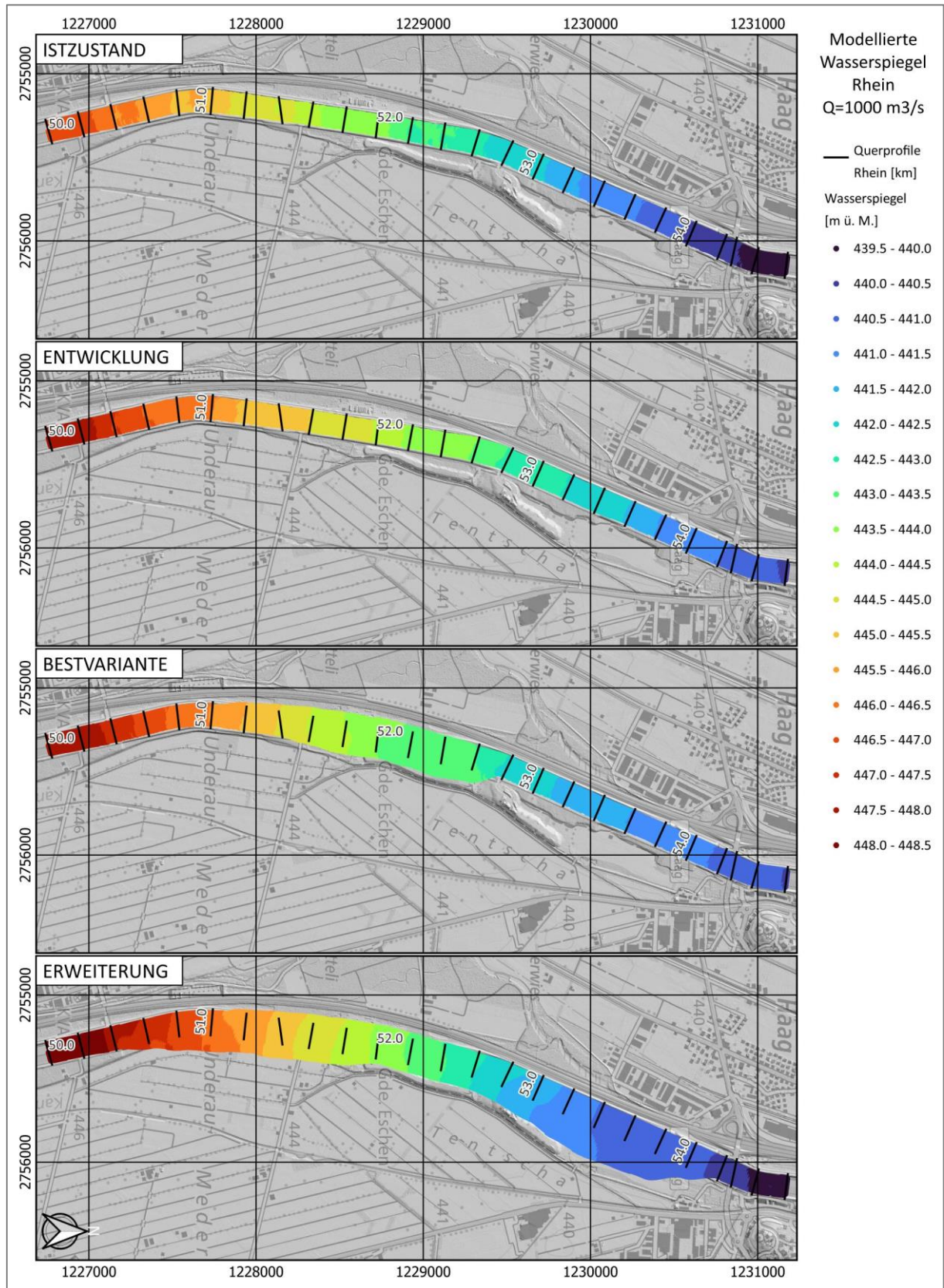


**Anhang 2b: Modellierte Wasserspiegel Alpenrhein bei  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$** 



**Anhang 2c: Modellierte Wasserspiegel Alpenrhein bei  $Q = 160 \text{ m}^3/\text{s}$** 



**Anhang 2d: Modellierte Wasserspiegel Alpenrhein bei  $Q = 1'000 \text{ m}^3/\text{s}$** 

**Anhang 3: Modellierte Wasserspiegel Alpenrhein im Längsprofil**