

Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen - Konzeptstudie

Grundwassermodellierung

Technischer Bericht

4. Mai 2020



Rheinunternehmen
z.Hd. Daniel Dietsche
Rheinbaustrasse 2
9443 Widnau

Amt für Bevölkerungsschutz
z.Hd. Emanuel Banzer
Zollstrasse 45
FL-9490 Vaduz

TK CONSULT AG

Neugasse 136

CH-8005 Zürich

Telefon +41 (0)44 288 81 81

tkc@tkconsult.ch

www.tkconsult.ch

TKC 24.007

Version	Datum	Sachbearbeitung	Freigabe	Änderungs- dokumentation	Verteiler
1.0	04.05.2020	NUR	COS	-	Amt für Bevölkerungsschutz FL Rheinunternehmen (digital)

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Auftrag	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziel des Auftrages	1
2	Grundlagen	2
2.1	Berichte	2
2.2	Daten Alpenrhein	2
2.3	Digitale Daten	2
3	Methodik und Szenarien	3
3.1	Methodik	3
3.2	Rechenfälle	4
4	Berechnung Wasserspiegel Alpenrhein	5
4.1	Simulationsprogramm	5
4.2	2D-Abflussmodell	5
4.3	Ergebnisse	6
5	Berechnung Grundwasserspiegel	8
5.1	Simulationsprogramm	8
5.2	2D-Grundwassermodell	8
5.3	Ergebnisse	8
6	Schlussbemerkung / Fazit	9

Beilagen

- Beilage 1: Grundwasserspiegeldifferenzen
- Beilage 2: Flurabstand Zustand Ist heute, mittlerer Grundwasserspiegel
- Beilage 3: Ganglinien an ausgewählten Standorten

1 Anlass und Auftrag

1.1 Ausgangslage

Bereits im Jahre 2015 wurde im Rahmen einer Voruntersuchung die Auswirkungen der Aufweitung auf den Grundwasserspiegel abgeschätzt [1]. Dabei zeigte sich, dass ein kritischer Anstieg des Grundwasserspiegels möglich ist. Die Konzeptstudie soll nun die Auswirkungen mit einem höheren Detaillierungsgrad untersuchen. Grundlage für die Modellierung bilden die Ergebnisse der morphologischen Untersuchung von Hunziker, Zarn & Partner AG [6]. In der Konzeptstudie ist eine Aufweitung nur im rot markierten Bereich in Abbildung 1 und nicht mehr im gesamten ursprünglichen Perimeter geplant.

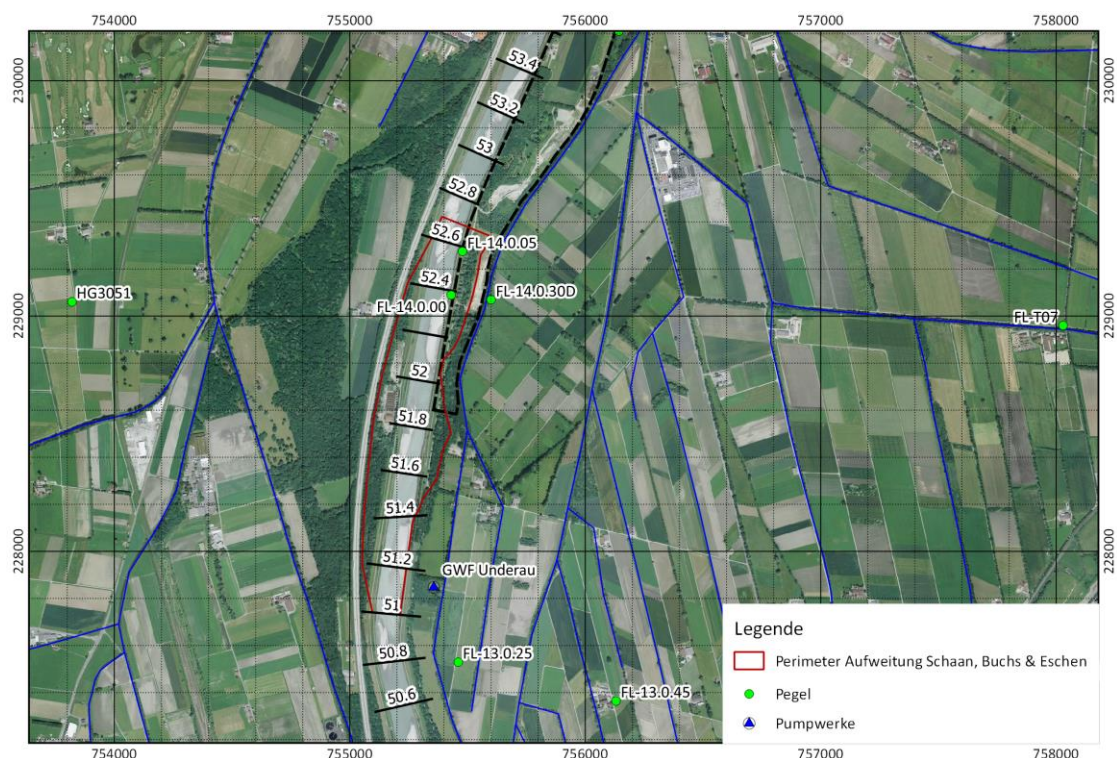


Abbildung 1: Übersicht Perimeter Aufweitung Eschner Au

1.2 Ziel des Auftrages

Im Rahmen dieses Auftrags werden die Auswirkungen der geplanten Aufweitung auf den Grundwasserspiegel berechnet. Dazu wird das aktuelle 2D-Grundwassermodell Alpenrhein [3] eingesetzt. Der Wasserspiegel des Alpenrheins, als Randbedingung bei der Grundwassermodellierung, wird anhand eines 2D-Abflussmodells berechnet. Modelliert werden drei Szenarien (Ist-Geometrie heutige Sohlenlage, Ist-Geometrie Endsohlenlage, geplanter Zustand Endsohlenlage). Die Modellierung erfolgt instationär. Für die Grundwassermodellierung wird das Grundwassermodell Alpenrhein (Stand 2018) [3] herangezogen.

2 Grundlagen

2.1 Berichte

- [1] Aufweitung Eschner Aue – Alpenrhein km 51.9 – 54.2 – Grundwassermodellierung – Voruntersuchung der Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt, TK CONSULT AG, Januar 2015.
- [2] Aufweitung Alpenrhein Maienfeld/Bad Ragaz – Vertiefte Abklärung Grundwasser – Modellierung der Grundwasserverhältnisse, Hunziker, Zarn und Partner AG & TK CONSULT AG, März 2017.
- [3] Grundwassermodell Alpenrhein – Modellpflege 2018, TK CONSULT AG, Dezember 2018.
- [4] Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen, Konzeptstudie, Hunziker, Zarn und Partner AG, März 2020.

2.2 Daten Alpenrhein

- [5] Querprofildatensatz Alpenrhein 2011, BAFU, Oktober 2017.
- [6] Querprofildatensatz Alpenrhein km 48.0 – 60.0 für Szenario Ist, Ist in 63 Jahren und Plan in 63 Jahren (Geometrie Aufweitung Eschen Grundwassermodell Abgabe.xlsx), Hunziker, Zarn und Partner AG, 29. November 2019.
- [7] Abflussdaten Messstelle Trübbach, Kanton St.Gallen, Juli 2018.

2.3 Digitale Daten

- [8] Standorte Grundwasserentnahmen und Grundwasserschutzzonen, Amt für Umwelt und Natur, Kanton Graubünden, 2009.
- [9] Landeskarte 1:25'000, swisstopo, 2017.
- [10] Landeskarte 1:10'000, swisstopo, 2017.

3 Methodik und Szenarien

3.1 Methodik

Für die Berechnung der Grundwasserverhältnisse wird das bestehende 2D-Grundwassermodell Alpenrhein zwischen Buchs SG und Sennwald (Rhein-km 48 – 54) verfeinert, sodass es den Gegebenheiten der geplanten Aufweitung Rechnung trägt. Um dabei die (veränderte) Infiltration im Bereich der Aufweitung zu simulieren, wird ein elementbezogenes Leakage-Konzept angewendet (Cauchy-Randbedingung), welches die abflussabhängige, räumlich variierende Benetzung der Gewässersohle berücksichtigt. Hierzu ist eine möglichst detaillierte Kenntnis der Flusswasserspiegel notwendig. Diese sogenannte Vorflutpotentiale sind neben den Parametern für die hydraulische Durchlässigkeit der Sohle (Leakagekoeffizient) für die Menge des infiltrierenden Flusswassers massgebend.

Vorgängig zur Grundwassermodellierung erfolgt die Berechnung der Alpenrheinwasserspiegel mit Hilfe eines 2D-Abflussmodells für unterschiedliche hydrologische Bedingungen (Kapitel 4). So können die berechneten Flusswasserspiegel an den benetzten Modellknoten detailliert und direkt als Randbedingung des Grundwassermodells verwendet werden.

Bei der Erstellung bzw. Anpassung der zwei Berechnungsnetze (Abfluss- und Grundwassermodell) sind die Sohlenlagen des Gerinnes zu berücksichtigen (Kapitel 4.2). Hierzu sind neben den vorliegenden Querprofilen der derzeitigen Gerinnegeometrie [5] die resultierenden, mittleren Sohlenlagen unter Berücksichtigung einer Niedrigwasserrinne [6] einzuarbeiten. Bei der Abflussmodellierung wird für jedes Szenario ein eigenes Netz mit einer Auflösung von maximal 10 m Kantenlänge erstellt. Im Grundwassermodell wird der Alpenrhein im Bereich der Aufweitung auf eine Kantenlänge von maximal 20 m diskretisiert (Abbildung 2). Die Resultate der Abflussberechnung werden räumlich auf dieses Netz interpoliert.

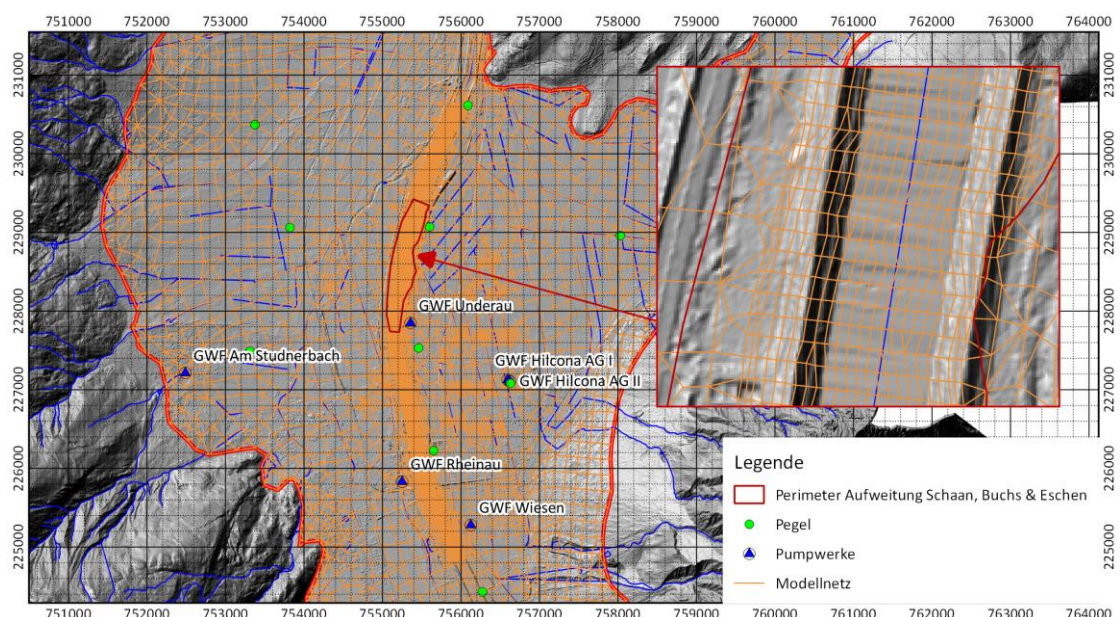


Abbildung 2: 2D-Grundwassermodell, Netzverfeinerung im Flussbereich

Der geplante Zustand (Endsohlenlage) wird anschliessen mit dem heutigen Zustand (Ist-Geometrie heutige Sohlenlage) sowie den prognostizierten Verhältnisse ohne Aufweitung (Ist-Geometrie Endsohlenlage) verglichen. Dies geschieht für unterschiedliche hydrologische Zustände. Die Analyse und Bewertung erfolgten schliesslich mittels der berechneten Differenzen des Grundwasserspiegels (Kap. 5.3).

3.2 Rechenfälle

Im Rahmen dieses Auftrags soll die aus der morphologischen Untersuchung hervorgehende Variante mit einer Aufweitung zwischen Rhein-km 51.0 und 52.7 untersucht werden [6]. Die maximale Sohlenbreite beläuft sich auf rund 220 m (km 51.7 – 51.9). Aktuell ist eine Sohlenbreite von 80 – 100 m vorhanden [5].

Als Vergleichsgrundlage für das Szenario «Plan», welches einen Zustand nach 63 Jahren darstellt, dient neben dem heutigen Ist-Zustand ebenfalls der Ist-Zustand mit der prognostizierten Endsohlenlage nach 63 Jahren («Ist 63»). Dabei steht der Querprofil Datensatz des Alpenrheins von 2011 [5] und die von HZP berechnete mittlere Endsohlenlage [6] zur Verfügung. Zum besseren Verständnis wird der Zustand «Ist 63» ausserdem mit dem heutigen Ist-Zustand verglichen. Für alle Szenarien werden die Auswirkungen bei minimalen (0 %-Quantil), mittleren (50 %-Quantil) und maximalen Grundwasserverhältnissen (100 %-Quantil) ausgewertet.

Bei der Modellierung wird immer von der Endsohlenlage ausgegangen, die von Hunziker, Zarn und Partner AG (HZP) berechnet wurde [6]. Bauzustände, bei denen unterschiedlichen Flusswasserspiegel und Sohlendurchlässigkeiten auftreten können, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Es wird in allen Fällen diejenige Sohlendurchlässigkeit eingesetzt, die aus der Modellkalibrierung [3] resultiert. Der kalibrierte Leakagekoeffizient (k_f/d) beträgt im Untersuchungsperimeter $3.3 \cdot 10^{-5}$ bei Exfiltrations- bzw. $3.3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ bei Infiltrationsabschnitten.

Neben der Gerinnegeometrie und dem Wasserspiegel des Alpenrheins werden keine anderen Randbedingungen variiert. Für die Neubildung, den Randzufluss und die Wasserspiegel der übrigen Gewässer wird der instationäre Datensatz der Periode 2015 – 2016 gemäss [3] angesetzt.

4 Berechnung Wasserspiegel Alpenrhein

4.1 Simulationsprogramm

Für die 2D-Abflussmodellierung wird das Programm BASEMENT [http://www.basement.ethz.ch] Version 2.7 eingesetzt, welches von der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW, ETH Zürich) entwickelt und vertrieben wird. Das Programm löst die Grundgleichungen der Hydrodynamik mit Hilfe eines tiefengemittelten Berechnungsansatzes (Flachwassergleichungen) nach der Methode der Finiten Volumen. Dabei wird die Variation der Fliessgrößen in vertikaler Richtung vernachlässigt. Basis der Simulationen bildet ein zweidimensionales Berechnungsmodell, das Topographie und Fliesswiderstand (Rauigkeitsbeiwert) des Untergrundes in Form von beliebig angeordneten Drei- oder Vierecken diskretisiert.

4.2 2D-Abflussmodell

In Abbildung 3 ist die mittlere Sohle von 2011 («Ist heute») zusammen mit den von Hunziker, Zarn & Partner prognostizierten mittleren Endsohlenlagen der beiden Zustände («Ist 63» und «Plan») dargestellt. Die Aufweitung bewirkt zwischen Rhein-km 50.0 und 51.5 eine Erhöhung bzw. Abtiefung der Sohle von maximal 0.8 m (rot gestrichelt). Der Vergleich des Plan-Zustands mit dem heutigen Ist-Zustand zeigt eine Erhöhung von bis zu 1.75 m. Betrachtet man jedoch die Differenz zwischen dem Zustand «Ist 63» und «Ist heute», wird ersichtlich, dass die natürliche Dynamik des Alpenrheins bereits für eine Erhöhung der Sohle in den nächsten 63 Jahren sorgt. Für detailliertere Informationen bezüglich der Geschiebemodellierung wird auf den Bericht von Hunziker, Zarn und Partner AG [4] verwiesen.

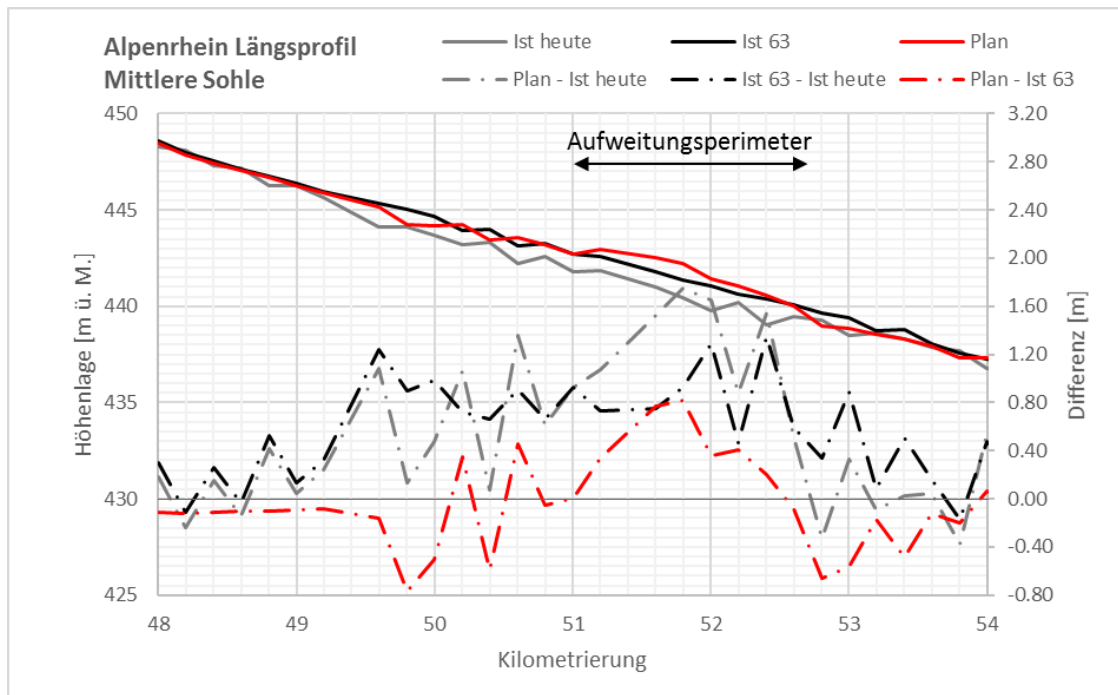


Abbildung 3: Vergleich mittlere Sohle, Ist- und Projektzustand

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 hat HZP in die Querprofile eine Niedrigwasserrinne eingearbeitet [6]. Dabei wurden die Erkenntnisse, die bei der Untersuchungen im Rahmen der Aufweitung Maienfeld/Bad Ragaz gewonnen wurden [2], berücksichtigt. Abbildung 4 zeigt beispielhaft für Querprofil km 51.8 die vermessene Geometrie 2011 (Ist heute), die korrigierte Geometrie anhand der Endsohlenlage von HZP (Ist 63) sowie die berechnete Geometrie des Projektzustands (Plan).

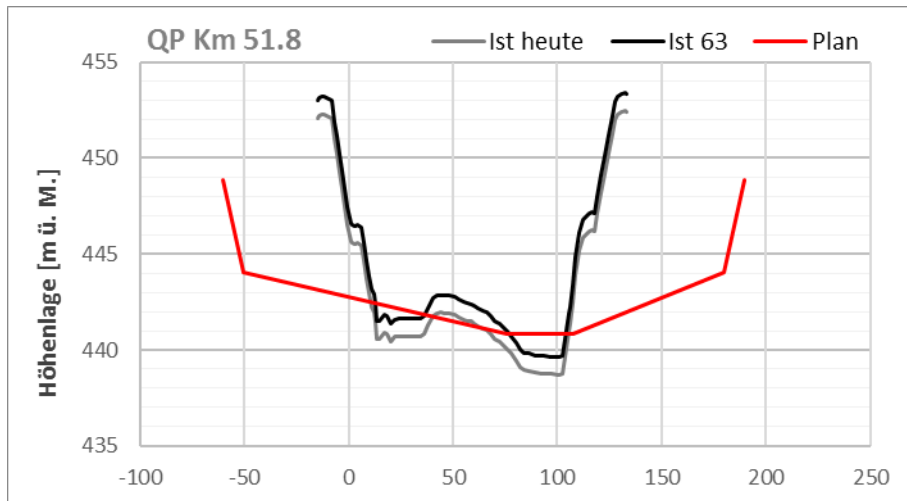


Abbildung 4: Vergleich Querprofil 33.4 – Ist- und Projektzustand

Für den Abschnitt zwischen Rhein-km 48.0 und 54.0 wird das 2D-Berechnungsnetz für die Abflussmodellierung aufgebaut. Zwischen den einzelnen Querprofilen werden die Höhenkoten interpoliert. In Querrichtung bzw. Längsrichtung weisen die Modellknoten ein Regelabstand von 10 m auf. Es resultiert ein Berechnungsnetz mit rund 13'500 Modellknoten und 25'700 Elementen.

4.3 Ergebnisse

Wie in Kapitel 3.2 erläutert, erfolgt die Modellierung für die Periode 2015-2016. Abbildung 5 zeigt den Vergleich zwischen den Szenarien bei mittlerem Abfluss. Die Erhöhung des Wasserspiels durch die Aufweitung ist aufgrund der Verbreiterung geringer als die Erhöhung bei den Sohlenlagen (vgl. Abbildung 3). Die Absenkung bleibt in einem ähnlichen Bereich.

Die aus der 2D-Abflussmodellierung resultierenden Wasserspiegel werden für die Grundwassermodellierung als Randbedingung räumlich interpoliert. Die Modellknoten, die nicht benetzt sind, werden bei der Berechnung deaktiviert.

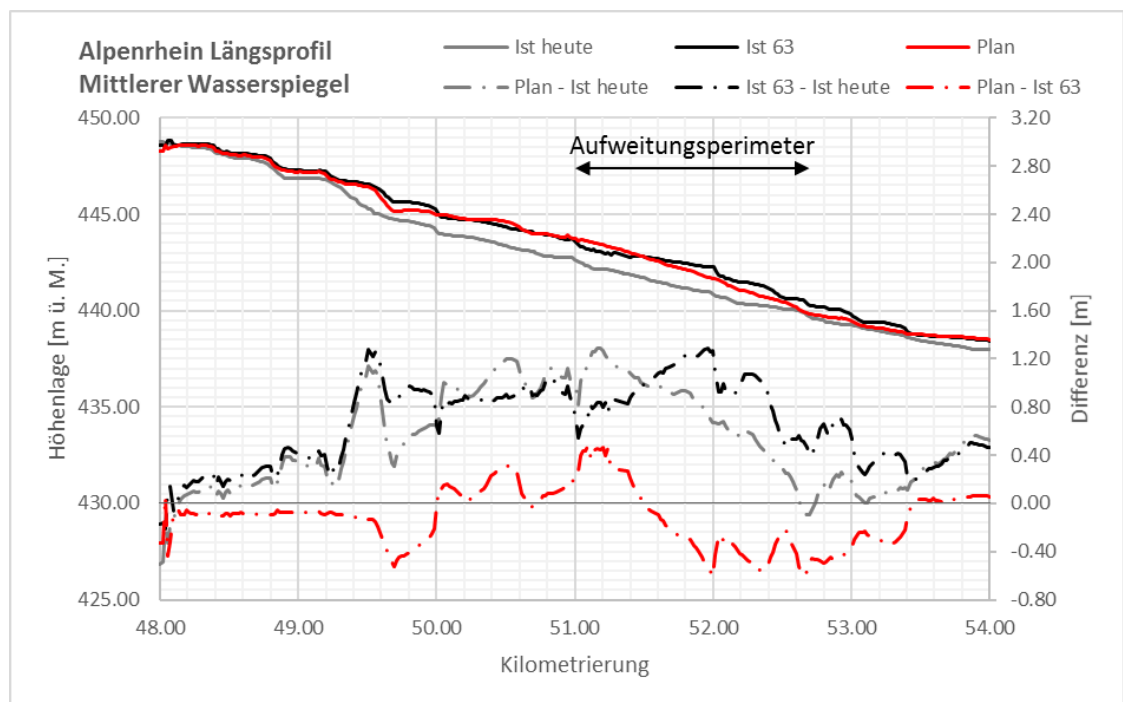


Abbildung 5: Vergleich mittlerer Wasserspiegel, Ist- und Projektzustand

5 Berechnung Grundwasserspiegel

5.1 Simulationsprogramm

Die Simulationen im Rahmen der Grundwassermodellierung werden mit der Software SPRING Version 4.32 (delta-h GmbH, 2017) durchgeführt. Das Programm löst die stationäre oder instationäre 2D/3D-Grundwassergleichung nach der Methode der Finiten Elemente.

5.2 2D-Grundwassermodell

Als Grundlage dient das bestehende 2D-Grundwassermodell Alpenrhein, das den gesamten Grundwasserleiter zwischen Reichenau und Bodensee abbildet [3]. Das Modellnetz im Gebiet zwischen Buchs SG (km 48.0) und Sennwald (54.0) wird entlang des Alpenrheins inkl. geplanter Aufweitung stark verfeinert. In Abbildung 2 ist das Modellnetz dargestellt. Die instationären Randbedingungen werden für die Periode 2015-2016 gemäss [3] übernommen.

5.3 Ergebnisse

Grundlage für die Bewertung der geplanten Aufweitung ist die Beurteilung des minimalen, mittleren und maximalen Grundwasserstands aus der Berechnungsperiode 2015-2016. In Beilage 1 sind neben den Isohypsen auch die resultierenden Differenzen des Grundwasserspiegels für die Vergleiche «Ist 63 – Ist heute», «Plan – Ist heute» und «Plan – Ist 63» dargestellt. Beilage 2 zeigt die Flurabstände für den heutigen Ist-Zustand bei mittlerem Grundwasserspiegel. In Beilage 3 sind an ausgewählten Standorten die Ganglinien der modellierten Periode für alle 3 Szenarien dargestellt. Bezüglich der Flurabstände im Projektgebiet zeigt sich, dass geringe Flurabstände nur im unbesiedelten Gebiet vorhanden sind. In diesem Gebiet existieren bereits Drainagegräben.

Betrachtet man den Unterschied zwischen dem prognostizierten Ist-Zustand und dem heutigen Zustand zeigt sich, dass der Grundwasserspiegel ansteigt, auch wenn keine Massnahmen umgesetzt werden. Bei Hochwasser beträgt der Anstieg maximal 0.7 m, bei Mittelwasser 1.1 m und bei Niedrigwasser sogar 1.3 m. Die flächige Darstellung sowie die Ganglinien zeigen, dass sich dieser vor allem auf den Nahbereich des Rheins beschränkt.

Wird der Plan-Zustand mit dem heutigen Zustand verglichen, ergeben sich ähnliche Werte was den maximalen Anstieg betrifft, die Ausdehnung des Anstiegs ist aber geringer.

Der Vergleich zwischen dem Ist-Zustand nach 63 Jahren und dem Plan-Zustand zeigt, dass die Auswirkungen, welche durch die Aufweitung verursacht werden, sehr klein sind. Entsprechende der Veränderung der Sohle und der Wasserspiegel zeigt sich auch beim Grundwasser im unteren Bereich der Aufweitung eine Absenkung und im oberen Bereich ein leichter Anstieg. Bei Hochwasser beträgt der Anstieg maximal 0.4, die Absenkung 0.5 m, bei Mittelwasser 0.4 bzw. 0.7 m und bei Niedrigwasser jeweils 0.6 m. Die räumliche Ausdehnung der Differenzen bleibt sehr gering.

6 Schlussbemerkung / Fazit

Für die Konzeptstudie der Aufweitung Schaan, Buchs & Eschen sollen deren Auswirkungen auf die Grundwasserpotentiale erneut betrachtet werden. Die Rahmenbedingungen haben sich dabei gegenüber der Voruntersuchung verändert. Die grösste Veränderung betrifft den verkürzten Projektperimeter. Die durch die morphologische Untersuchung von Hunziker, Zarn & Partner AG ermittelten mittleren Sohlen des Endzustands nach 63 Jahren sowohl für den Ist- als auch für den Plan-Zustand dienen dabei als Input. Die Wasserspiegel des Alpenrheins werden für beide Endzustände sowie für den heutigen Ist-Zustand mit einem 2D-Ablussmodell berechnet. Die resultierenden Wasserspiegel werden bei der 2D-Grundwassermodellierung instationär für die Periode 2015-2016 angesetzt. Dazu wird das bestehende Grundwassermodell Alpenrhein verwendet und lokal im Bereich der Aufweitung verfeinert.

Die Modellierungen zeigen, dass der resultierende Anstieg der Grundwasserspiegel vor allem durch die natürliche Dynamik des Alpenrheins über die nächsten 63 Jahre verursacht wird. Ein Anstieg würde auch ohne die Umsetzung der Aufweitung erfolgen. Die Veränderungen aufgrund der Aufweitung sind gering und bewirken sowohl ein Anstieg (0.4 m bei Hochwasser bis 0.6 m bei Niedrigwasser), als auch eine Absenkung des Grundwasserspiegels (0.5 m bei Hochwasser bis 0.6 m bei Niedrigwasser).

Zürich, 4. Mai 2020

Verfasser: R. Nüssli, M. Ballmer

TK CONSULT AG

Steffen Corbe
Geschäftsführer
corbe@tkconsult.ch
044 288 81 87

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