

HYDROGEOLOGISCHE MODELLIERUNG ALPINER PORENGRUNDWASSERKÖRPER

AM BEISPIEL EINES GRUNDWASSERKÖRPERS IM OBEREN INNTAL

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades eines Master of Science der Erdwissenschaften

VORGELEGT VON:

Anna Katharina Gollowitsch, BSc

BETREUER:

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Steffen Birk

Karl-Franzens Universität Graz, Institut für Erdwissenschaften

Loipersdorf, 2019

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am.....

.....

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

-1- Einleitung	1
-2- Grundlagen.....	2
-2.1.- Lage des Projektgebiets	2
-2.2.- Geologie/Hydrogeologie	2
-2.2.1.- Grundgebirge	3
-2.2.1.1.- Phyllitzone und Ötztal-Kristallinkomplex.....	3
-2.2.1.2.- Nördliche Kalkalpen	3
-2.2.2.- Quartäre Lockergesteine.....	4
-2.2.2.1.- Holozäne Schluff- und Tonsandfazies	4
-2.2.2.2.- Innkiese und Sedimente der pleistozänen Mittelgebirgsterrassen	4
-2.2.2.3.- Innschotterfazies.....	4
-2.2.2.4.- Schwemmkegel, Schuttkegel	5
-2.2.2.5.- Mischfazies.....	5
-2.3.- Oberflächengewässer	5
-2.3.1.- Gemeindegebiet Oberhofen im Inntal.....	6
-2.3.2.- Gemeindegebiet Flauring/Polling in Tirol	6
-2.3.3.- Gemeindegebiet Hatting/Inzing.....	7
-2.3.4.- Gemeindegebiet Petttau	7
-2.4.- Grundwasserganglinien	7
-3- Methodik.....	9
-3.1.- Modelltyp.....	9
-3.2.- Modellstruktur	11
-3.2.1.- Horizontale Modellausdehnung	11
-3.2.2.- Vertikale Modellausdehnung.....	12
-3.3.- Eingabedaten; Rand- und Anfangsbedingungen	12
-3.3.1.- Hydraulische Parameter.....	12
-3.3.2.- Grundwasserneubildung.....	13
-3.3.3.- Wasseraustausch mit Oberflächengewässern.....	14
-3.3.4.- Anfangsbedingungen und Festpotentiale.....	14
-3.3.5.- Randzuflüsse	16
-4- Modellkalibration und Ergebnisse	17
-4.1.- Modellanpassung.....	17
-4.1.1.- Güte der Modellanpassung.....	20

-4.1.1.1.- stationäre Modellkalibration	20
-4.1.1.2.- instationäre Modellkalibration	21
-4.2.-Wasserbilanz des Modellgebiets	22
-5- Auswertung	23
-5.1.- Hydraulische Durchlässigkeiten	23
-5.2.- Grundwasserneubildung.....	26
-5.3.- Leakage Faktoren	28
-5.4.- Randzufluss	29
-5.5.- Grundwasserdynamik	31
-6- Schlussfolgerung	33
Literaturverzeichnis.....	I
Abbildungen, Diagramme und Tabellen.....	III
Anhang	V

DANKSAGUNG

In erster Linie geht mein Dank an meinen Betreuer Prof. Dr. Steffen Birk für seine kritischen wie hilfreichen Anregungen und vor allem für seine Geduld und sein Verständnis. Des Weiteren möchte ich mich bei Mag.Dr. Gerhard Poscher bedanken. Danke Geri, für die Bereitstellung der Daten und für so viele Möglichkeiten, die du mir in meinem jungen beruflichen Leben bietest. Zusätzlich gilt mein Dank Robert der mir mit Tipps und Tricks im Modellaufbau immer wieder ausgeholfen hat. Zu guter Letzt geht ein großes Dankeschön an meine Familie, dafür dass sie mir in allen Höhen und Tiefen immer zur Seite stehen.

-1- Einleitung

Die Anfertigung von Grundwassermodellen rückt immer stärker in den Mittelpunkt der Erkundungs- und behördlichen Einreichphase vieler großer Projekte. Sowohl bei der Trassenwahl von Eisenbahn- und Straßenprojekten als auch beim Wasserkraftwerksbau. Grundsätzlich werden solche Modelle sowohl zur Interpretation des Ist-Zustandes als auch zur Prognose von Veränderungen von Grundwassersystemen eingesetzt (Kinzelbach und Rausch 1995).

In dieser Arbeit soll auf die Interpretation des Ist-Zustandes des im oberen Inntal befindlichen Porengrundwasserleiters westlich von Innsbruck, zwischen Telfs und Zirl, eingegangen werden. Dieser wird zum größten Teil von im Quartär abgelagerten Lockersedimenten, den Innschottern, aufgebaut. Im Bereich des südlichen Talrandes prägen zusätzlich die stark ausgeprägten Schwemmfächer der aus den pleistozänen Mittelgebirgsterrassen beziehungsweise aus dem Ötztalkristallin kommenden Gießen, allen voran die Schwemmfächer des Kanzingbaches und des Enterbaches, die Talfüllung.

In den meisten Fällen sind die Parameter, die für das detaillierte Verständnis eines solchen Grundwasserkörpers notwendig sind, unbekannt und können nur durch den Aufbau eines Modells quantitativ bestimmt werden. Daten für die hydraulische Durchlässigkeit eines Porengrundwasserkörpers sind oft nur punktuell vorhanden (Kinzelbach & Rausch, 1995) und sind je nach durchgeführter Auswertemethode mit Fehlern behaftet. Zusätzlich sind Grundwasserneubildungsraten in den seltensten Fällen gut belegt (Kinzelbach & Rausch, 1995). In einem Grundwassermodell werden die fehlenden Daten so ergänzt, beziehungsweise die vorhandenen Daten angepasst, dass die Simulationsergebnisse in einem noch zu definierenden Sinne die Beobachtungen möglichst gut approximieren (Kinzelbach & Rausch, 1995). In Anbetracht dessen sollen anhand einer Sensitivitätsanalyse die hydraulische Durchlässigkeit und die Grundwasserneubildung auf ihre Empfindlichkeit in Bezug auf die Wasserstandsänderung untersucht werden.

Zusätzlich soll diese Arbeit in den folgenden Kapiteln anhand eines zweidimensionalen Grundwassermodells zu einem besseren Verständnis der hydrogeologischen Situation, vor allem in Bezug auf die Hydrogeologie der quartären Inntalfüllung (Innschotter) und den Einfluss der vorhandenen Schwemmkegel- und Schuttfächer auf die Dynamik des Grundwasserkörpers führen.

Für den Aufbau des Modells kann auf einen großen hydrogeologischen Datenpool, generiert durch ein UVP-Projekt aus den Jahren 2012 und 2013, zurückgegriffen werden.

Chemische Analysen des Grundwassers können auch im Untersuchungsgebiet für eine qualitative Einschätzung der Grundwasserdynamik herangezogen werden. Denn Wasser liegt in der Natur nie in chemisch reiner Form vor. Es löst Stoffe, transportiert diese und fällt sie zum Teil wieder aus. So kommt es zur Umverteilung von Stoffen in den vom Wasser durchflossenen Schichten. Aus Kenntnis solcher Vorgänge sind Folgerungen über die Herkunft und die Bewegung des Grundwassers zu ziehen (Hölting & Coldewey,

2013). Für diese Arbeit werden vor allem die Sulfatwerte betrachtet, um qualitative Aussagen über die Grundwasserzuflüsse zu machen.

-2- Grundlagen

-2.1.- Lage des Projektgebiets

Das Projektgebiet befindet sich im Oberland Tirols, westlich von Innsbruck. Es erstreckt sich über die Gemeinden Oberhofen, Flauring, Polling, Hatting und Inzing auf der orographisch rechten Innseite und über kleine Teile von Telfs und Eigenhofen beziehungsweise über das gesamte Gemeindegebiet von Petttau im Talraum, auf der orographisch linken Innseite (Abbildung 1).

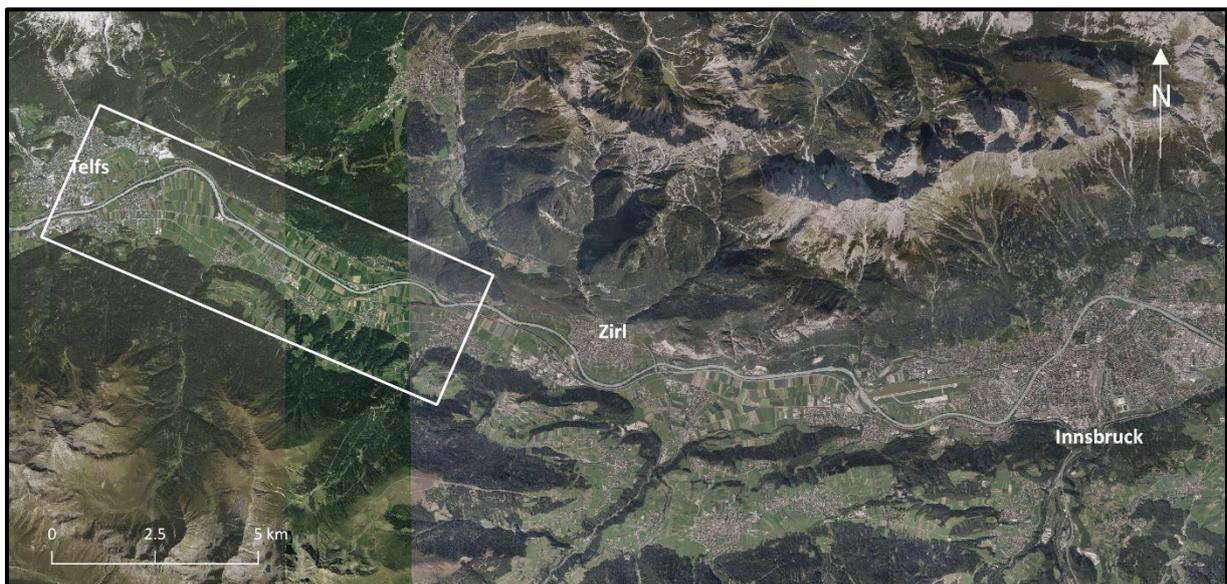


Abbildung 1 Übersicht der Lage des Projektgebiets im oberen Inntal; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

-2.2.- Geologie/Hydrogeologie

Sofern nicht anders angegeben, wurde die Information über die geologischen Gegebenheiten im Projektgebiet aus den Unterlagen des UVP-Projekts RMI – Regionalkraftwerk Mittlerer Inn (ARGE Innkraftwerk [1], 2014) entnommen.

Im Allgemeinen wird das Projektgebiet auf der orographisch linken Innseite (nördlich) von Einhängen des kalkalpinen Seefelder Plateaus, das Teil der nördlichen Kalkalpen ist, sowie orographisch rechts (südlich) von den angrenzenden Mittelgebirgsterrassen und deren kristallinen Festgesteinssockel (Ötztalkristallin) begrenzt. Vor allem auf der orographisch rechten Inntalseite dient dieser kristalline Festgesteinsrahmen mit seiner relativ geringen Durchlässigkeit als Grundwasserstauer. Wie in Kapitel -1- erläutert, soll in dieser Arbeit der Fokus auf die quartäre Talfüllung und deren Hydrogeologie gelegt werden. Alle angetroffenen geologischen Einheiten sind in Abbildung 2 dargestellt. Die für das Grundwassermodell als bedeutend eingestufte Einheiten werden in diesem Kapitel näher beschrieben (ARGE Innkraftwerk [1], 2014).

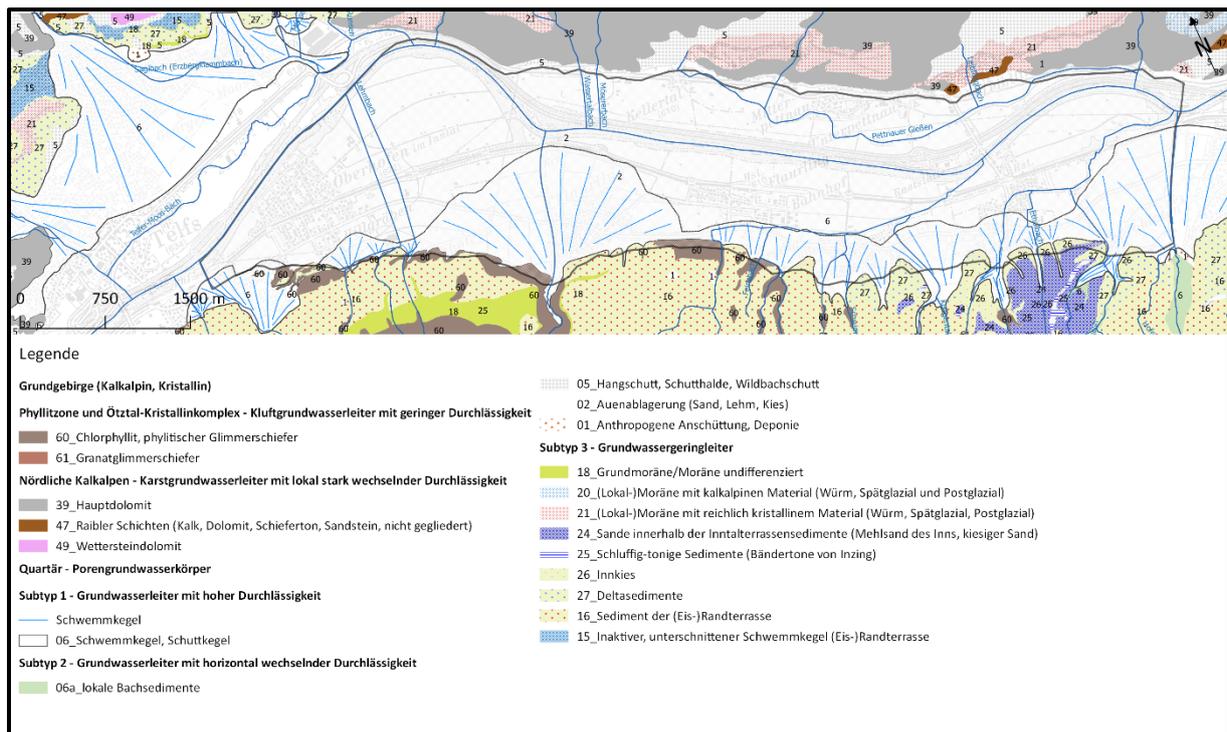


Abbildung 2 Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (bearbeitet nach ARGE Innkraftwerk, 2014)

-2.2.1.- Grundgebirge

-2.2.1.1.- Phyllitzone und Ötztal-Kristallinkomplex

Die Gesteine der Phyllitzone und des Stubai-Ötztal-Komplexes (Ötztalkristallin) bilden, wie oben erwähnt, den Festgesteinsrahmen am Südrand des Projektgebiets. Dabei handelt es sich um Einheiten, die von metamorphen Gesteinsserien gebildet werden. Diese wurden während der variszischen und alpidischen Gebirgsbildung überprägt. In Richtung Osten taucht dieser Festgesteinssockel zunehmend ab (ARGE Innkraftwerk [1], 2014). Diese Einheiten werden als hydrogeologisch gering durchlässiger, kristallin dominierter Kluftgrundwasserleiter beschrieben und aus diesem Grund im Modell als nahezu undurchlässiger Rand angenommen. Diese Einheiten werden lokal im Projektgebiet geringmächtig von den Sedimenten der (Eis-)Randterrasse, Grundmoränensedimenten beziehungsweise undifferenzierten Moränensedimenten überlagert (ARGE Innkraftwerk [3], 2014).

-2.2.1.2.- Nördliche Kalkalpen

Den Festgesteinsrahmen im orographisch linken (nördlichen) Projektgebiet bilden durchgehend die Nördlichen Kalkalpen. Diese werden fast ausschließlich von mesozoischen, überwiegend marinen Ablagerungsgesteinen der Tethys gebildet. Im untersuchten Gebiet ist davon die Inntaldecke aufgeschlossen. Diese gilt als höchste Einheit der unterschiedlichen Decken der Nördlichen Kalkalpen, die während der Gebirgsbildung verfaultet und übereinander geschoben wurden. Aus der Inntaldecke treten im Projektgebiet, vom Liegenden ins Hangende, der Wettersteindolomit, die Raibler Schichten und am dominantesten der Hauptdolomit auf. Die stratigraphisch jüngeren Einheiten, wie der Hauptdolomit, sind vor allem im zentralen Bereich und in den tiefen Lagen zu finden. Dies liegt daran, dass sich das

Projektgebiet, strukturell gesehen, am Südrand der Seefelder Senke befindet. Zu den Seiten hin findet der Wechsel zu den stratigraphisch tieferen Einheiten, Raibler Schichten und Wettersteindolomit, statt (ARGE Innkraftwerk [1], 2014). Der dominierend auftretende Hauptdolomit wird aufgrund der teilweisen Verkarstung und der hohen Klüftigkeit, im Vergleich zum südlich auftretenden Kristallin, als lokal höher durchlässig beschrieben (ARGE Innkraftwerk [3], 2014).

-2.2.2.- Quartäre Lockergesteine

-2.2.2.1.- *Holozäne Schluff- und Tonsandfazies*

Die gering durchlässigen, feinsandigen Schluffe und Tone der holozänen Schluff- und Tonsandfazies bilden die tiefste sedimentäre Einheit des Inntals im Untersuchungsgebiet. Aufgrund ihrer hydrogeologischen Eigenschaften können diese als Grundwasserstauer dienen. Im Westen des Untersuchungsraumes befinden sich diese in einer Tiefe von ca. 30,0 – 40,0m und erreichen im Osten eine Tiefe von ca. 50,0 – 60,0m (ARGE Innkraftwerk [1], 2014).

-2.2.2.2.- *Innkiese und Sedimente der pleistozänen Mittelgebirgsterrassen*

Im östlichen Bereich des Projektgebiets bilden die Innkiese und die pleistozänen Mittelgebirgsterrassensedimente eine vom Gletscher beeinflusste sedimentäre Einheit. Sowohl bei den Sedimenten der Mittelgebirgsterrassen als auch bei den stark sandigen Innkiesen handelt es sich um Sedimente, die vor dem letzten Eisvorstoß abgelagert wurden. Grundsätzlich wurden die Innkiese in Form eines flachen Deltas sedimentiert, dabei ist östlich von Telfs, eine Abnahme von Innsedimenten in Richtung Osten festzustellen (Poscher, 1993). Beide Sedimentkörper wurden in weiterer Folge vom würmzeitlichen Gletscher überfahren. Durch die Auflast des Gletschereises sind die Sedimente überkonsolidiert und dicht bis sehr dicht gelagert. Ihnen wird eine wesentlich geringere hydraulische Durchlässigkeit zugeordnet als den postglazial abgelagerten fluviatilen Innschottern. Anhand seismischer Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich diese Mittelgebirgsterrassen bis unter das heutige Talniveau, teilweise von fluviatilen Inntalsedimenten bedeckt, fortführen lassen. Diese Sedimente werden aufgrund ihrer geringen hydraulischen Durchlässigkeit als Grundwassergeringleiter beziehungsweise Grundwasserstauer angesehen (ARGE Innkraftwerk [3], 2014).

-2.2.2.3.- *Innschotterfazies*

Die fluviatilen Kiese der Innschotterfazies bilden den Hauptteil des quartären Porenaquifers im Inntal in diesem Bereich (ARGE Innkraftwerk [3], 2014). Meist sind diese durch geschichtete, weitgestufte, fluviatile und zumeist feinkornarme Innkiese charakterisiert. Teilweise treten sandige Lagen auf, selten sind schluffige bis tonige Linsen eingeschaltet. Diese Kiese treten typischerweise in mehreren Zehnermetern mächtigen Lagen, bis in eine Tiefe von ca. 45,0 – 70,0m auf und sind nahezu im gesamten Oberinntalabschnitt zu finden. Sie fallen in einem flachen Winkel nach Osten ein (ARGE Innkraftwerk [1], 2014). Diesen Sedimenten wird eine durchschnittliche hydraulische Durchlässigkeit von $5,0 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$

zugeordnet (Herdina, 2008). Die Bedeutung dieser Einheiten wird erst in den Profilschnitten deutlich, da sie an der Oberfläche kaum angetroffen werden (siehe Anhang 5 bis Anhang 22).

-2.2.2.4.- Schwemmkegel, Schuttkegel

Eine der jüngsten Strukturen sind die Schwemmkegel des Arzklambaches, Kanzingbaches und des Enterbaches, die vor allem auf der orographisch rechten Inntalseite einen nahezu durchgehenden Saum bilden. Auf der orographisch linken Seite des Inns treten diese Strukturen nur im Bereich von Telfs auf. Durch einige Murenabgänge über viele Jahre konnten diese Strukturen entstehen. Diese Murentätigkeit ist aber aufgrund von Geschiebesperren und Verbauungen heute inaktiv. In den hydrogeologischen Längs- und Querprofilen (siehe Anhang 5 bis Anhang 22) werden den Sedimenten dieser Einheiten noch höhere Durchlässigkeiten zugeordnet als den Sedimenten der Innschotterfazies. Sie werden als weitgestufte Kiese angesprochen (ARGE Innkraftwerk [1], 2014).

-2.2.2.5.- Mischfazies

Die Abfolge der Innschotterfazies wird bereichsweise durch die in die Talflanken vordringenden Sedimente der Schwemmfächer aus den pleistozänen Mittelgebirgsterrassen beziehungsweise aus dem kristallinen Grundgebirge unterbrochen. Dieser Verzahnungsbereich der Innsedimente und der Sedimente der Schwemmfächer sind am orographisch rechten Inntalrand wesentlich stärker ausgeprägt. Im Bereich des Kanzingbaches kommt es sogar zu einer Ausdehnung dieser Einheiten bis auf die orographisch linke Innuferseite (ARGE Innkraftwerk [1], 2014).

Der oberflächennahe quartäre Porenquifer des Oberinntals wird zusammenfassend vor allem durch die teilweise hoch durchlässigen Lockergesteine der in Kapitel -2.2.2.3- bis -2.2.2.5.- erwähnten, holozänen Talfüllung gebildet. Die in der geologischen Karte im oberen Inntal (Abbildung 2) weit verbreiteten Auenablagerungen spielen für das Grundwassermodell nur eine geringe Rolle, da es sich dabei nur um geringmächtige, oberflächliche Ablagerungen des Inns auf Talniveau handelt. Den Grundwasserstauer bilden die in Kapitel -2.2.1- definierten Einheiten des umgebenden Grundgebirges, beziehungsweise die quartären Lockersedimente der holozänen Schluffsand- und Tonfazies (Kapitel -2.2.2.1.-) und die verdichteten Innkiese und Sedimente der pleistozänen Mittelgebirgsterrassen (Kapitel -2.2.2.2.-) (ARGE Innkraftwerk [1], 2014).

-2.3.- Oberflächengewässer

In Abbildung 3 werden alle relevanten Fließgewässer im oberen Inntal zwischen Oberhofen und Inzing dargestellt. Alle für das zu erstellende Grundwassermodell als relevant definierten Oberflächengewässer werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

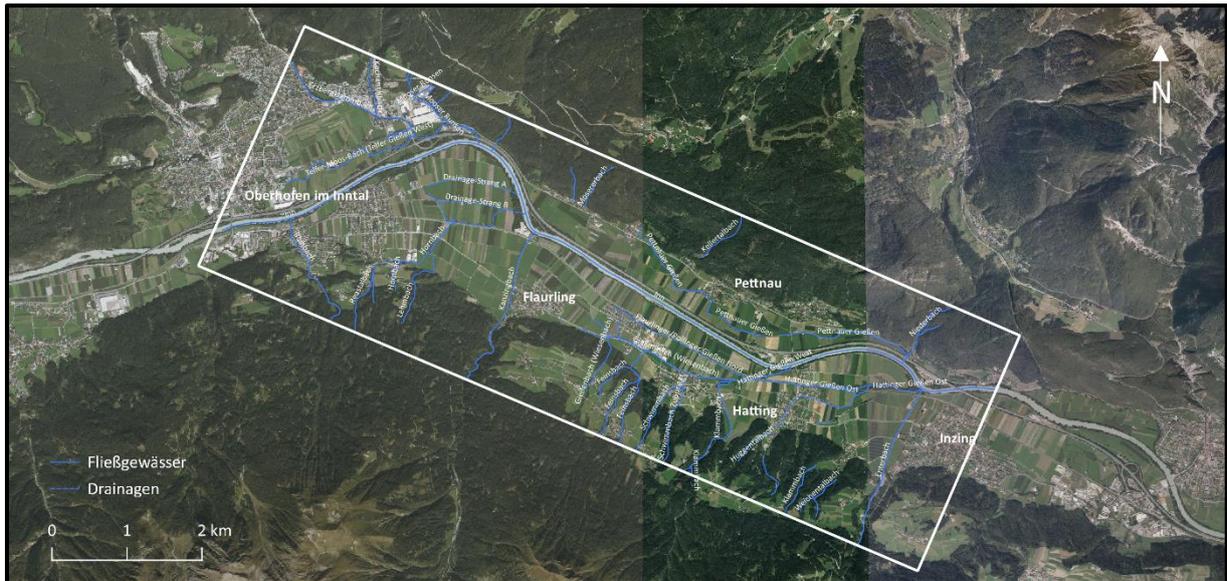


Abbildung 3 relevante Fließgewässer innerhalb des Projektgebiets; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

-2.3.1.- Gemeindegebiet Oberhofen im Inntal

Die Fließgewässer *Reasenbach*, *Hornbach* und *Lehmbach* im Gemeindegebiet von Oberhofen entwässern die südlich des Inntals anstehenden und überwiegend aus den von pleistozänen Sedimenten aufgebauten Mittelgebirgsterrassen. Alle drei werden am südlichen Talrand gefasst und verrohrt bis zum *Drainage-Strang C* geleitet. Dieser entwässert zusätzlich die südlich des Bahndamms gelegenen Felder durch mehrere Durchlässe. Die *Drainage-Stränge A und B* entwässern die weiter nördlich gelegenen landwirtschaftlichen Flächen (ARGE Innkraftwerk [2], 2014).

-2.3.2.- Gemeindegebiet Flaurling/Polling in Tirol

Das Einzugsgebiet des, an der Gemeindegrenze zwischen Oberhofen und Flaurling verlaufenden, *Kanzingbaches* schließt die über 2800 m.ü.A hohen Gipfel des Rietzer Grieskogels, des Seejochs und der Peider Spitze ein. Dieser Bach weist ein sehr großes Sedimentdargebot auf und bildet daher auch einen der größten Schwemmfächer im Inntal zwischen Oberhofen und Inzing (ARGE Innkraftwerk [3], 2014). Nach seiner relativ kurzen Fließstrecke mündet dieser direkt in den *Inn*. Eine große Rolle spielt der *Gießenbach*, welcher den Vorfluter für alle Seitenbäche der südlichen Inntalflanke von den ersten Wasseraustritten und Quellen östlich des *Kanzingbaches* bis einschließlich des *Klammabaches* bildet. Dazu gehören innerhalb des betrachteten Gebiets auch der *Feinsbach* und der *Schwimmbach*. Des Weiteren werden die *Drainage Flaurling Süd* und der *Flaurlinger Gießen Mitte* in den *Gießenbach* eingeleitet. Der *Gießenbach* fließt in weiterer Folge nach Zusammentreffen mit dem *Flaurlinger/Pollinger Gießen Nord*, der als Entwässerungsgraben für Oberflächenwässer bahnparallel verläuft, durch das Gemeindegebiet von Polling direkt in den *Inn* (ARGE Innkraftwerk [2], 2014).

-2.3.3.- Gemeindegebiet Hatting/Inzing

Der *Hattinger Gießen Ost* und der *Hattinger Gießen Nord* verlaufen südlich und nördlich des Bahndamms und entwässern diesen. Die Speisung über das Grundwasser ist je nach Grundwasserstand wahrscheinlich. Der *Hattinger Bach* bildet die Vorflut für alle Bäche aus der südlichen Talflanke zwischen dem *Klammbach* und dem *Enterbach*. Dazu gehören der *Mühlbach* oder *Huggentalbach*, der *Dorfbach*, der *Ethalbach* und der *Klammbach*. Teilweise werden diese auch über Drainageleitungen in den *Hattinger Bach* eingeleitet, welcher danach über das Schutzgebiet *Gaisau* in den *Inn* fließt. Im Gemeindegebiet Inzing bildet der *Enterbach*, wie der *Kanzingbach* im Gemeindegebiet Flaurling, aufgrund seines großen Sedimentdargebots einen großen Schwemmfächer, über den der *Enterbach* durch das Inntal in den *Inn* fließt. Auch dieser entwässert ein Einzugsgebiet bis auf eine Höhe von 2800 m.ü.A. (ARGE Innkraftwerk [2], 2014).

-2.3.4.- Gemeindegebiet Pettnau

Das Gemeindegebiet Pettnau wird von zwei Fließgewässern geprägt. Der *Oberflächenwasserkanal*, welcher am nördlichen Talrand verläuft, fasst den Großteil der orographisch linken Seitenzubringer und sammelt somit einen großen Teil der Wasserzutritte beziehungsweise Abflüsse aus den nördlichen Kalkalpen. Die Wässer der Hochwielquellen, welche im nördlichen Talhang des Inntales aus der Lockergesteinsauflage entspringen fließen zu einem Gerinne, dem *Pettnauer Gießen*, zusammen. Im Verlauf des Pettnauer Gießens kommt es im Bereich des Gießenauwaldes und auch auf Höhe der Autobahnausfahrt Pettnau zu kartierten Grundwasserzutritten. Kaum eine Rolle spielt der *Niederbach*. Dieser hat nur eine sehr kurze Fließstrecke im Inntal, bevor er nach dem Zusammenfluss mit dem Pettnauer Gießen in den *Inn* mündet.

-2.4.- Grundwasserganglinien

Für die erste Einschätzung der Grundwasserdynamik wurde der Jahresgang der Wasserstände einzelner Referenzmessstellen in Diagramm 1 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur Referenzmessstellen dargestellt. Diese repräsentieren Zonen unterschiedlicher hydraulischer Durchlässigkeit innerhalb des Porengrundwasserkörpers (Schwemmfächer, Mischfazies, Innschotter). Man erkennt deutlich den Anstieg der Wasserstände von April 2012 bis zu einem Maximum im Juni 2012. Danach kommt es zu einer kontinuierlichen Abnahme der Wasserstände bis April 2013. Dieser Trend ist sowohl an den Messungen der Grundwasserpegelständen als auch an den Pegelmessstellen des Inns sichtbar.

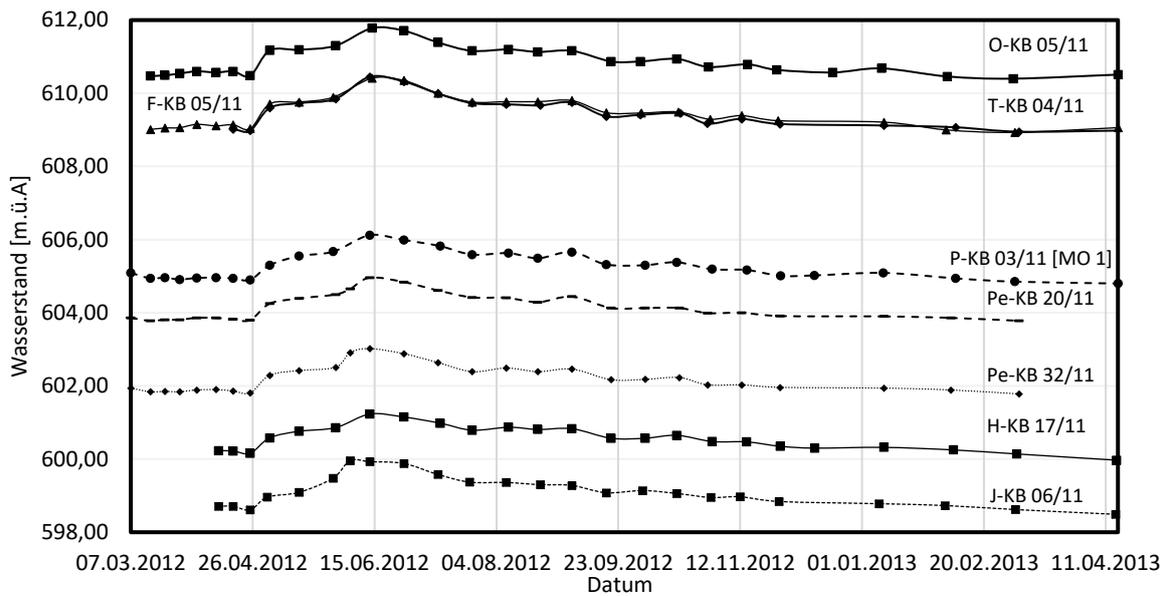


Diagramm 1 Grundwasserstandganglinien von Referenzmessstellen aus den unterschiedlichen Einheiten des Porenaquifers innerhalb des Projektgebiets

Die Messstellen J-KB 06/11 und F-KB 02/11 repräsentieren die Schwemmfächersedimente. Die Sedimente der Mischfazies werden durch die Messstellen P-KB 03/11 und H-KB 17/11 dargestellt. Die Messstellen T-KB 04/11, O-KB 05/11, Pe- KB 20/11 und Pe-KB 32/11 befinden sich innerhalb der Innschotterfazies. Unabhängig von der Geologie weisen alle Messstellen einen nahezu identen Schwankungsverlauf auf.

-3- Methodik

-3.1.- Modelltyp

Aus der Problemstellung und der Verfügbarkeit von Daten resultieren der Modelltyp, der Grad der Detailliertheit des Modells, seine räumliche Erstreckung und die erforderliche Diskretisierung (Kinzler & Rausch, 1995). Für diese Arbeit konnte die hohe Datendichte der wasserwirtschaftlichen Beweissicherung des vorangegangenen UVP-Projekts genutzt werden.

Im Zuge der oben angeführten wasserwirtschaftlichen Beweissicherung wurden von Anfang März 2012 bis Ende April 2013 im wöchentlichen beziehungsweise 14-tägigen Rhythmus und in weiterer Folge 4-wöchigen Rhythmus Daten von Grundwasser und Oberflächengewässern generiert. Es wurden an insgesamt 103 Grundwassermessstellen an 111 Messorten Wasserstand, Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit gemessen (Abbildung 4). An einzelnen Messstellen wurden in unterschiedlichen Tiefen die Messungen durchgeführt. An den 48 Oberflächengewässermessstellen (Abbildung 4) wurden, zusätzlich zu den oben genannten Parametern, nach Möglichkeit auch Durchflussmessungen durchgeführt (ARGE Innkraftwerk [4], 2014). Die Messstellenbezeichnung erfolgte nach der Position im jeweiligen Gemeindegebiet (Tabelle 1).

Oberhofen	O-KB
Telfs	T-KB
Flauring	F-KB
Polling	P-KB
Pett nau	Pe-KB
Hatting	H-KB
Inzing	J-KB

Tabelle 1 Bezeichnung der Messstellen entsprechend der Position in den unterschiedlichen Gemeindegebieten



Abbildung 4 Messstellen der Wasserwirtschaftlichen Beweissicherung in den Jahren 2012 und 2013; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

Des Weiteren wurden an ausgewählten Messstellen in der zweiten Hälfte des Jahres 2012 und zu Beginn des Jahres 2013 Proben entnommen. Das angetroffene Grundwasser wurde auf die chemische

Zusammensetzung in Bezug auf die Parameter Natrium, Chlorid, Nitrat, Kalzium, Magnesium, Sulfat und auf den O^{18} -Gehalt untersucht. Die beprobten Messpunkte werden in Abbildung 5 dargestellt (ARGE Innkraftwerk [4], 2014). In dieser Arbeit wird aber nur auf die gemessenen Sulfatwerte und deren Herkunft Bezug genommen werden.

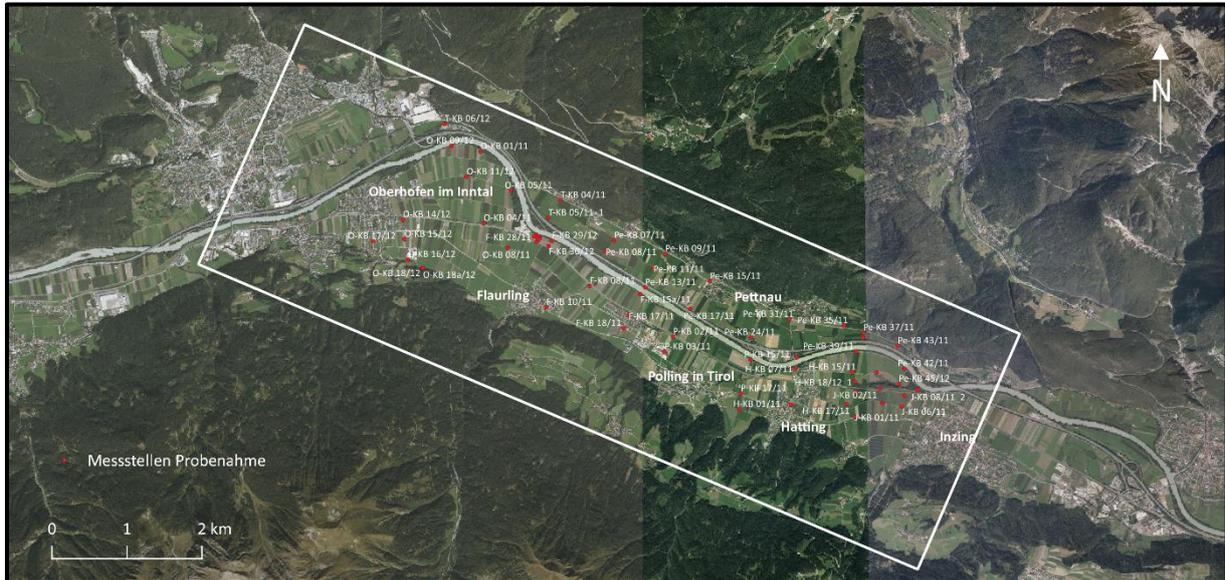


Abbildung 5 Lageplan mit den Positionen der beprobten Messstellen; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

Aufgrund dieser günstigen Datengrundlage konnte ein instationäres Modell aufgebaut werden. Zusätzlich wird die instationäre Kalibrierung eines Modells mit Hilfe von Zeitreihen von Piezometerhöhen als grundsätzlich günstig angesehen (Kinzelbach & Rausch, 1995). Dieser instationären Kalibrierung wird die Kalibration eines stationären Zeitschrittes vorangestellt. Für das instationäre Modell wurden Monatszeitschritte gewählt, also ein Schritt sind 2 744 830 Sekunden, das entspricht 1,04 Monate.

Für das Modell wurde ein zweidimensionaler Ansatz gewählt. Alle Parameter werden daher für die gesamte Aquifermächtigkeit definiert (Birk, 1998). Die in Anhang 16 bis Anhang 22 angeführten hydrogeologischen Profilschnitte zeigen, dass eine vertikale Diskretisierung des Aquifers im Modell nicht notwendig ist. Für den Modellaufbau wurde das Grundwasser als ungespannt dargestellt.

Das instationäre Grundwassermodell, nach der Finiten-Differenzen Methode, wurde mit Hilfe der Software „ModelMuse“ (U.S.Geological Survey, 2019) aufgebaut. Die Berechnung und Kalibration des Modells erfolgte mit der Software MODFLOW-2005 (U.S. Geological Survey, 2005). Der instationären Kalibration des Modells wurde eine stationäre Simulation vorangestellt. Für die Aufbereitung der Eingabedaten wurden hauptsächlich „Microsoft-Excel“ und „QGIS“ (QGIS Entwicklerteam, 2018) verwendet. Die Kartendaten, wie Orthofotos und das digitale Höhenmodell von Tirol, wurden dem Tiroler Rauminformationssystem „TIRIS“ entnommen (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).

-3.2.- Modellstruktur

Die im Zuge der geologischen Erkundung generierten Daten dienen als Grundlage zur Definition der vertikalen beziehungsweise auch horizontalen Ausdehnung des Grundwassermodells. Anhand der gewonnenen Bohrprofile, geophysikalischen Untersuchungen sowie Oberflächenkartierungen wurden geologische und hydrogeologische Tallängs- und Talquerprofile (siehe Anhang 5 bis Anhang 22) erstellt und für die Definition der vertikalen und horizontalen Modellausdehnung herangezogen.

Aufgrund der Datengrundlage und der benötigten Rechenleistung wurde für das Modell eine konstante Zellweite von 20,0m definiert. Auf diese Weise wurde ein Modellnetz von 499 Spalten und 124 Zeilen angefertigt.

-3.2.1.- Horizontale Modellausdehnung

Die horizontale Modellausdehnung wird vor allem durch die in Kapitel -2.1.- beschriebenen vorherrschenden geologischen Einheiten, deren Verbreitung und der im Modellgebiet auftretenden Topografie, definiert. Im westlichen/nordwestlichen Bereich des Modellgebiets, im Bereich Telfs, stellt zudem der Inn eine Modellgrenze dar (Abbildung 6). Dabei ergaben sich die in Tabelle 2 angeführten Dimensionen. Der Modellrand und die darin befindlichen Gemeindegrenzen werden in Abbildung 6 dargestellt.

von [Inn km]	325,7
bis [Inn km]	314,6
Breite maximal	1640,0 m
Breite minimal	337,0 m
Umfang	22,717 km
Fläche	13,93 km ²

Tabelle 2 Randdaten des Modellgebiets+

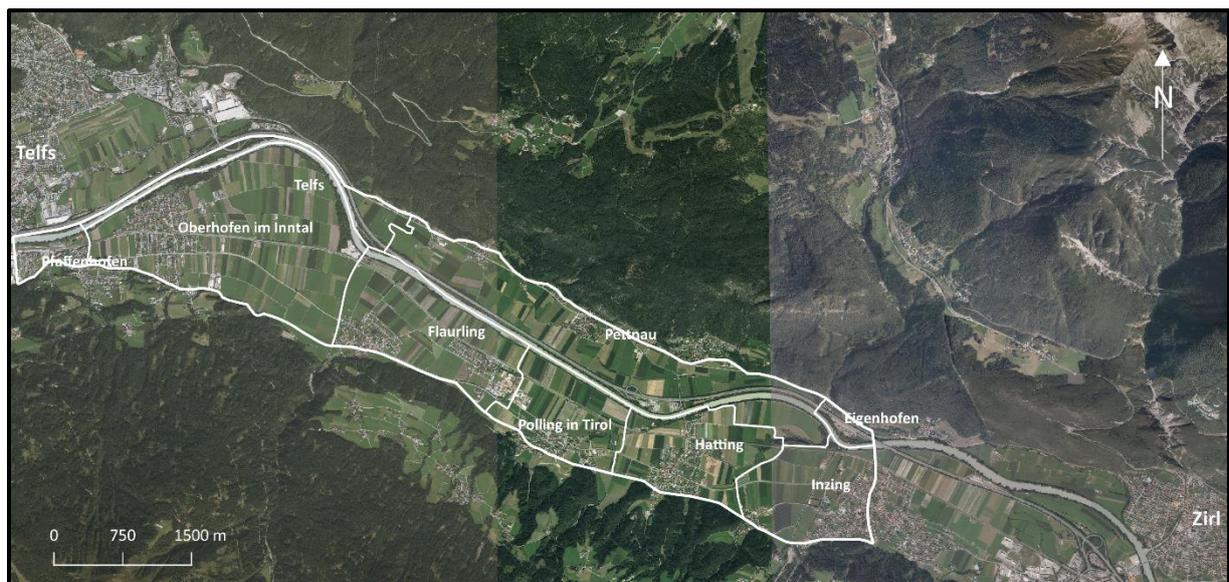


Abbildung 6 Lageplan des Modellgebiets mit den Gemeindegrenzen der betroffenen Gemeinden; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

-3.2.2.- Vertikale Modellausdehnung

An der Oberfläche erfolgte die Abgrenzung des Modellgebiets auf Grundlage der gemessenen Grundwasserpegelstände vom 07.03.2012. Diese wurden mittels *Modelmuse* interpoliert und flächendeckend dargestellt.

In der Tiefe wird der hoch durchlässige Quartäraquifer von vier unterschiedlichen geologischen Einheiten begrenzt. Im zentralen Bereich definieren die feinsandigen Schluffe und Tone der holozänen Schluffsand- und Tonfazies, wie in Kapitel -2.2.2.1.- genauer erläutert, den Stauhohizont und damit den zentralen Teil der Unterkante des Oberinntal-Aquifers. Insbesondere entlang des orographisch rechten Inntalrandes bilden die, in Kapitel -2.2.2.2.- erklärten, feinkornanteilreichen und glazial überkonsolidierten Sedimente der pleistozänen Mittelgebirgsterrassen mit ihrer vergleichsweise geringen hydraulischen Durchlässigkeit die Unterkante des Aquifers. Sowohl am orographisch rechten als auch linken Inntalrand formen die vergleichsweise gering durchlässigen kristallinen Einheiten des Ötztalkristallins/Phyllitzone beziehungsweise die kalkalpinen Gesteine der nördlichen Kalkalpen den Festgesteinsrahmen und somit den Rand des Porengrundwasserleiters (Abbildung 7). Die aus den Bohrungen entnommenen Daten wurden mittels *Modelmuse* interpoliert und konnten so flächendeckend als Stauhohizont dargestellt werden.

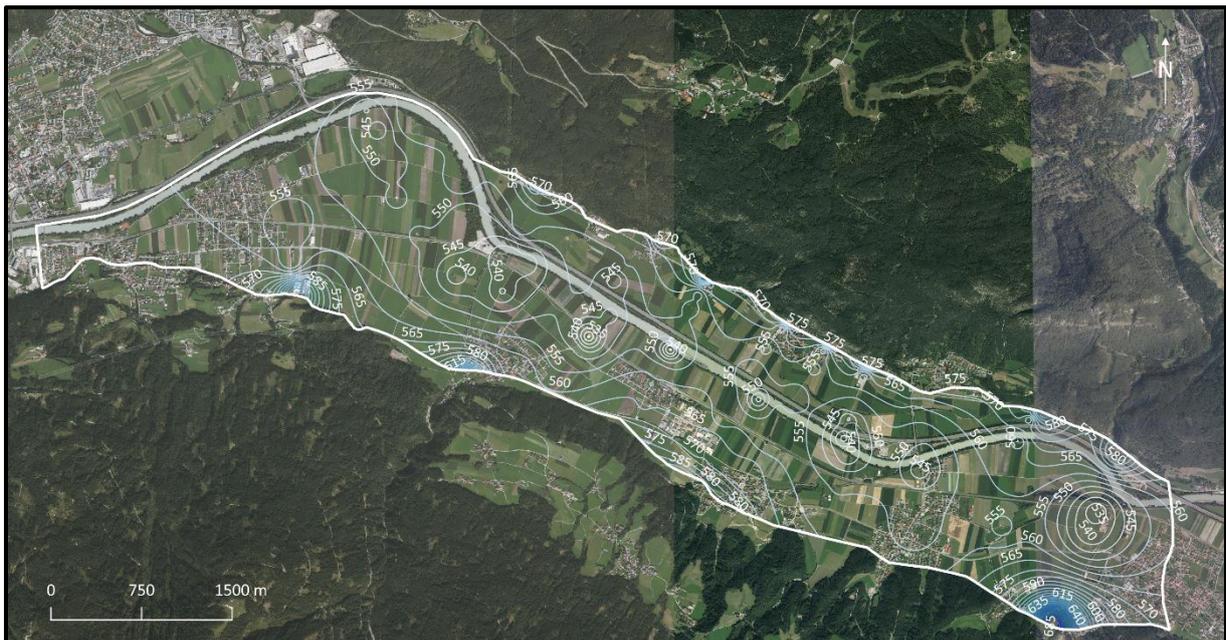


Abbildung 7 Oberkante der Grundwasser stauenden Schichten; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

-3.3.- Eingabedaten, Rand- und Anfangsbedingungen

-3.3.1.- Hydraulische Parameter

Für die Modellierung des Porenaquifers im Projektgebiet sollen den in Kapitel -2.2.- genannten geologischen Einheiten die für den Modellaufbau notwendigen hydraulischen Durchlässigkeiten zugeordnet werden. Dazu wurden an allen Bohrungen, mit Ausnahme der wieder verfüllten Bohrungen,

zweistufige Pumpversuche durchgeführt, deren Auswertung im Zuge des UVP-Projekts anhand der Dupuit-Thiem Gleichung (Thiem, 1906 nach Dupuit, 1863) erfolgte. Auf Basis dieser berechneten Werte und unter zu Hilfenahme der hydrogeologischen Querprofile (Anhang 16 bis Anhang 22) wurden Bereiche mit unterschiedlichen hydraulischen Durchlässigkeiten definiert.

Da es sich um ein instationäres, über die die gesamte Ausdehnung ungespanntes Modell handelt, muss zusätzlich die Speicherfähigkeit des Grundwasserkörpers beschrieben werden. Dazu wird ein Speicherkoeffizient („specific yield“) des ungespannten Grundwasserleiters definiert. Im freien Grundwasser entspricht dieser dem speichernutzbaren Hohlraumanteil, also der Wasserabgabe pro Formationsvolumen, die bei Erniedrigung des Druckes um 1m Wassersäule erfolgt (Hölting & Coldewey, 2013). Aufgrund des hohen Anteils der Innschotterfazies im Gebiet wurde ein Speicherkoeffizient von 0,24 angenommen. Dieser Wert wurde aus der unten angeführten Abbildung 8 entnommen.

Material	No. of analyses	Range	Arithmetic mean
Gravel (fine)	33	0.13–0.40	0.28
Gravel (medium)	13	0.17–0.44	0.24
Gravel (coarse)	9	0.13–0.25	0.21

Abbildung 8 typische Werte für den Speicherkoeffizient nach (Morris & Johnson, 1967) aus (Anderson, et al., 2015)

-3.3.2.- Grundwasserneubildung

Unter der Grundwasserneubildung wird der Zugang von in den Boden infiltriertem Wasser zum Grundwasser verstanden (DIN 4049-3). Diese ist generell abhängig von klimatischen Gegebenheiten (Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer etc.), den hydrogeologischen Eigenschaften und Bodeneigenschaften des Untergrundes, der Flächennutzung und der Orographie (Hölting & Coldewey, 2013). Die Berechnung der Evaporationsrate erweist sich als schwierig. Zumal es wenig Möglichkeiten der Kontrolle gibt, ob die Rechenwerte den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen, da die echten Verdunstungswerte nur selten zu erfassen sind (Hölting & Coldewey, 2013). Die erste Abschätzung der Grundwasserneubildung erfolgte aus Mangel an Daten über den sehr simplen Ansatz:

$$GWN = N - E$$

GWN...Grundwasserneubildung, N...Niederschlag, E...potentielle Evapotranspiration (Gleichung 1)

Die Daten für den Niederschlag wurden aus dem digitalen Jahrbuch der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für den definierten Zeitraum entnommen. Fecht, Höfle, Starnberger, & Kaser (2004) berechneten für dasselbe Gebiet nach Thornthwaite (1948) die monatliche potentielle Evapotranspiration, welche für die Abschätzung der Grundwasserneubildung in diesem Gebiet herangezogen wurde. Für die Kalibration des stationären Zeitschrittes wurde ein durchschnittlicher Wert von 425,75mm/Jahr angenommen. Für das instationäre Modell wurde die Grundwasserneubildung kalibriert und wird in Kapitel -4.1.- näher beschrieben.

-3.3.3.- Wasseraustausch mit Oberflächengewässern

Unter Leakage (engl. Leakage) versteht man nach DIN 4049-3 einen großflächigen Übergang von Grundwasser von einem Grundwasserstockwerk in ein anderes durch einen Grundwasserhemmer. Diese Definition kann auch auf vergleichbare hydrogeologische Verhältnisse übertragen werden. Daher spricht man auch bei der Grundwasserinfiltration von, beziehungsweise Exfiltration in ein Oberflächengewässer oder einer Drainage ebenfalls von Leakage (Hölting & Coldewey, 2013). Als geringer durchlässige Schicht zwischen zwei Wasserkörpern wird die Kolmationsschicht an der Sohle eines Flusses oder ein Gewässerverbau in Form von Sohlshalen gesehen (Hölting & Coldewey, 2013). Der Leakagekoeffizient [α_L in 1/s] wird als

$$\alpha_L = \frac{k_f}{l} \quad \text{(Gleichung 2)}$$

k_f ...Durchlässigkeitsbeiwert der Leakageschicht [m/s]; l ...Mächtigkeit der Leakageschicht [m]

definiert. Der Leakagekoeffizient spielt generell in der numerischen Grundwassermodellierung eine sehr große Rolle, ist aber praktisch nicht direkt messbar (Kinzelbach & Rausch, 1995). Um anhand der Modelleichung Werte für die Interaktion der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser bestimmen zu können, wurden alle Fließgewässer und Drainagen im Projektgebiet über einen Leakageansatz im Modell abgebildet. Da für die angeführten Oberflächengewässer noch keine Werte aus der Literatur entnommen werden konnten, wurden als erste Orientierung für die Leakagekoeffizienten [1/s] die Wertebereiche aus der nachfolgenden Tabelle 3 herangezogen.

kleine Flüsse oder Bäche	$5,0 \cdot 10^{-8}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5}$ 1/s
Flüsse mit ausgeprägter sandiger Sohle	ca. $1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/s

Tabelle 3 Wertebereich des Leakagekoeffizienten (Hölting & Coldewey, 2013)

-3.3.4.- Anfangsbedingungen und Festpotentiale

Als Anfangsbedingungen wurden die gemessenen Wasserstände vom 7.3.2012 mittels Modelmuse interpoliert und als Startwerte für die Berechnung des stationären Wasserspiegels herangezogen. Aus der stationären Modellsimulation resultierten die in Abbildung 9 dargestellten Wasserstände.

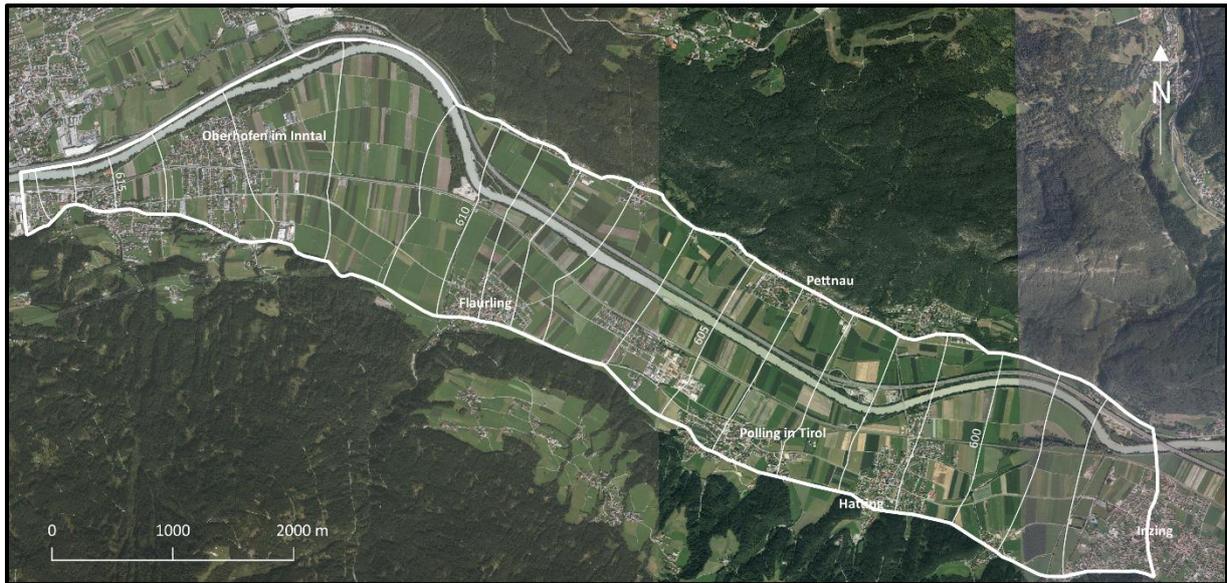


Abbildung 9 Wasserstände aus der stationären Modellsimulation in m.ü.A. Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

Das Modellgebiet wird am oberstromigen und unterstromigen Rand durch zeitlich variable Festpotentiale begrenzt. Dazu wurden die Daten der Innpegelmessstellen Telfs (Fußgängersteg) und Zirl den online Daten des hydrographischen Dienstes Österreichs (eHYD) entnommen (Tabelle 4). Da sich die Innpegelmessstelle Zirl außerhalb des Modellrandes befindet, müssen die Wasserstände auf den Modellrand projiziert werden. Dazu wurde die Differenz der Höhe des Innufers beim Innpegel Telfs und die Höhe des Innufers am Modellrand aus dem TIRIS entnommen und zu den gemessenen Wasserständen addiert. Bei vorgegebenen Wasserspiegeln handelt es sich um eine Randbedingung 1. Art (Dirichlet-Bedingung).

Datum	oberstromiger Rand	unterstromiger Rand	Datum	oberstromiger Rand	unterstromiger Rand
07.03.2012	617,33	596,17	25.07.2012	618,10	597,33
15.03.2012	617,41	596,37	08.08.2012	618,74	597,06
03.04.2012	617,25	596,16	21.08.2012	618,18	597,75
11.04.2012	617,76	596,50	04.09.2012	618,13	597,17
18.04.2012	617,48	596,70	18.09.2012	617,92	597,04
26.04.2012	617,77	596,37	03.10.2012	617,79	596,83
03.05.2012	617,87	596,68	17.10.2012	617,98	596,69
09.05.2012	618,04	596,80	30.10.2012	617,50	596,90
15.05.2012	618,28	596,99	14.11.2012	617,67	596,38
30.05.2012	618,33	597,29	28.11.2012	617,61	596,54
05.06.2012	618,46	597,26	12.12.2012	617,44	596,44
08.06.2012	618,40	597,45	20.12.2012	617,59	596,28
13.06.2012	618,28	597,40	09.01.2013	617,44	596,46
27.06.2012	618,57	597,27	16.01.2013	617,54	596,28
04.07.2012	618,14	597,55	06.02.2013	617,82	596,17
11.07.2012	618,36	597,06	24.04.2013	617,35	596,44

Tabelle 4 oberstromige und unterstromige Modellränder mit den aus dem eHYD entnommenen Pegelständen

-3.3.5.- Randzuflüsse



Abbildung 10 abgegrenzte Bereiche für die berechneten Randzuflüsse; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

Die Randzuflüsse über den nördlichen und südlichen Modellrand ins Projektgebiet wurden aus den langjährigen mittleren Jahressummen der Niederschlagshöhen zwischen 1980 und 2000 beziehungsweise aus den langjährigen mittleren Verdunstungshöhen zwischen 1961 und 1990, in den angrenzenden Einzugsgebieten vom Institut für Geographie der Universität Innsbruck als Auszüge des Tirol Atlas errechnet und bereitgestellt. Dazu wurde der Modellrand in einzelne Teileinzugsgebiete unterteilt. Diese sind im nördlichen Randbereich von NB bis NM und im südlichen Randbereich von SB bis SY definiert (Abbildung 10). Die berechneten Werte sind in Tabelle 5 aufgelistet. Da es sich bei der Randbedingungen um einen unsicheren, schwer zu definierendem Parameter handelt, wurde dieser als zeitlich unabhängiger langjähriger Durchschnittswert definiert.

Bereich	Q_T [l/s]	q_T [l/s·m]	Bereich	Q_T [l/s]	q_T [l/s·m]	Bereich	Q_T [l/s]	q_T [l/s·m]
NB – NC	1,50	0,002411576	SC – SD	0,43	0,001462585	SN – SO	0,95	0,002339901
NC – ND	8,61	0,008359223	SD – SE	3,61	0,002949346	SO – SP	0,57	0,00118503
ND – NE	26,92	0,06058744	SE – SF	1,06	0,004076923	SP – SQ	1,07	0,0073937
NE – NF	10,47	0,00583612	SF – SG	0,38	0,002146893	SQ – SR	0,31	0,001703297
NF – NG	6,22	0,008056995	SG – SH	0,08	0,000536913	SR – SS	3,56	0,005798046
NG – NH	1,38	0,004646465	SH – SI	1,35	0,002915767	SS – ST	1,28	0,002504892
NH – NI	1,70	0,002741935	SI – SJ	9,27	0,011168675	ST – SU	0,16	0,000717489
NI – NJ	0,55	0,002956989	SJ – SK	1,01	0,001756522	SU – SV	0,77	0,00240625
NJ – NK	5,51	0,004218989	SK – SL	0,17	0,001005917	SV – SW	1,36	0,002162162
NK – NL	4,28	0,018212766	SL – SM	0,07	0,00037037	SW – SX	1,53	0,002487805
SB – SC	0,85	0,002098765	SM – SN	0,32	0,004637681	SX – SY	3,17	0,003522222

Tabelle 5 berechnete durchschnittliche Randzuflüsse

-4- Modellkalibration und Ergebnisse

Dem Problem der unvollständigen oder unbekanntenen Aquiferdaten widmet sich die Modellkalibrierung. Dabei werden die fehlenden Daten so ergänzt, dass die Simulationsergebnisse in einem noch zu definierenden Sinne, die Beobachtungen möglichst gut approximieren. Dazu wurde eine Kalibrierung durch einen Prozess des sukzessiven Probierens und Korrigierens „von Hand“ vorgenommen. Bei der Genauigkeitsanforderung sollte zusätzlich bedacht werden, dass auch Grundwasserstandsmessungen fehlerbehaftet sein können (Kinzelbach & Rausch, 1995).

Eine gebräuchliche Definition für die Güte der Anpassung ist die mittlere quadratische Abweichungssumme MQA, dies sich aus n Messwerten wie folgt berechnet (Kinzelbach & Rausch, 1995):

$$MQA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i^g - h_i^b)^2$$

h^g ...gemessene Piezometerhöhen, h^b ...berechnete Piezometerhöhen

(Gleichung 3)

-4.1.- Modellanpassung

Das schwerwiegendste Problem der Modellkalibrierung ist die Mehrdeutigkeit (Kinzelbach & Rausch, 1995). Aus diesem Grund soll in den folgenden Kapiteln eine Sensitivitätsanalyse einzelner Parameter durchgeführt werden.

Pro Eichschritt soll nur ein Parameterwert verändert werden (Hölting & Coldewey, 2013). Als erster Parameter, der im Zuge der Modellkalibration geeicht werden soll, wurde die Grundwasserneubildung eingestuft. Dabei wurde für die erste Annäherung die errechnete durchschnittliche Grundwasserneubildung von 425,75mm/Jahr flächendeckend angenommen.

Da die in Diagramm 1 dargestellten Wasserstandsschwankungen regional einen ähnlichen Verlauf anzeigen, wurde die Annahme getroffen, dass die flächendeckende Grundwasserneubildung und nicht die lokalen Randzuflüsse aus dem südlichen und nördlichen Modellrand für die Schwankungen verantwortlich ist. Aus diesem Grund wurde die Grundwasserneubildung angepasst, um eine möglichst gute Annäherung der simulierten Werte an die gemessenen Werte zu erreichen. Im Vergleich von Diagramm 1 und Diagramm 2 zeigt sich, dass der Wasserstand im Jahresgang nicht mit der aus den Literaturdaten errechnete Grundwasserneubildung gekoppelt ist.

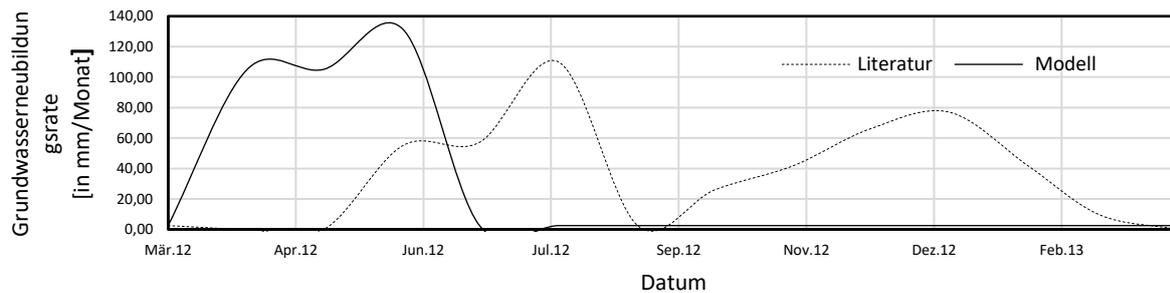


Diagramm 2 Gegenüberstellung der aus der Literatur (Fecht, et al., 2004) und dem Niederschlag (ZAMG, 2012) abgeschätzten Grundwasserneubildungsraten [mm/Jahr] und der modellierten Grundwasserneubildungsrate [mm/Jahr]

Im Vergleich zu den aus der Literatur (Fecht, et al., 2004; ZAMG, 2012) abgeschätzten Werten resultieren aus der Modellanpassung höhere Werte zu Beginn des Modells (März bis Juni 2012) beziehungsweise kommt es zu einer stärkeren Abnahme der Grundwasserneubildung bis zum Ende des Modells (Juli 2012 bis Februar 2013).

Als weiterer, zu kalibrierender Parameter wurde die hydraulische Durchlässigkeit definiert. Dafür wurde ein übliches Verfahren zur Reduktion der Anzahl der zu schätzenden Parameter angewendet, nämlich die Zonierung des Aquifers. Dabei soll der Aquifer in wenige Zonen gleicher Eigenschaften eingeteilt werden. Diese Zonen müssen sich an a-priori-Kenntnissen der Aquiferstruktureinheiten orientieren (Kinzelbach & Rausch, 1995).

Aus diesem Grund wurde der Aquifer unter Heranziehen der geologischen und hydrogeologischen Längs- und Querprofile in Zonen gleicher hydraulischer Durchlässigkeit eingeteilt. Dies ermöglichte eine gezielte Anpassung der hydraulischen Durchlässigkeiten. Den Bereichen des Porengrundwasserleiters (Schwemmfächer, Mischfazies und Innschotter) wurde als Richtwert die aus der Literatur (Umwelt Bundesamt, 2017) entnommene hydraulische Durchlässigkeit von $5,0 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ für die Innschotter und $1,0 \cdot 10^{-2} \text{m/s}$ für die Schwemmfächersedimente beziehungsweise ein Mittelwert daraus für die Mischfazies zugeordnet. Unter Annahme einer konstanten Grundwasserneubildung wurden in weiterer Folge die hydraulischen Durchlässigkeiten für eine möglichst gute Annäherung der modellierten an die gemessenen Werte angepasst (Abbildung 11 und Tabelle 6).

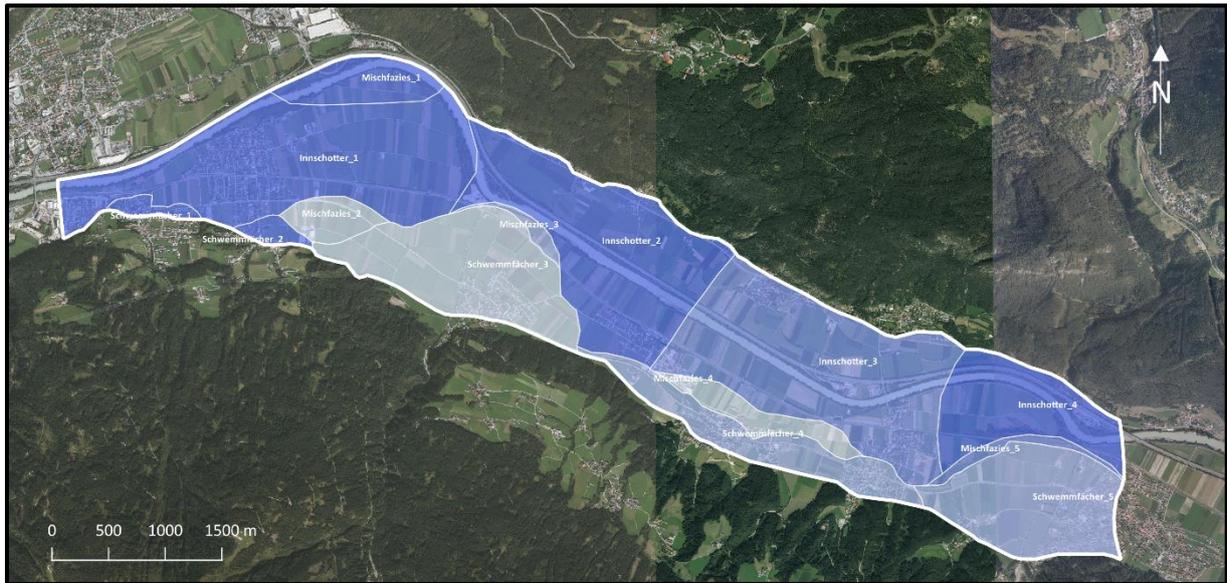


Abbildung 11 kalkulierte Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeiten [m/s]; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

Name (Numerierung von W nach O)	Kf-Werte [m/s]
Innschotter 1	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Innschotter 2	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Innschotter 3	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Innschotter 4	$6,7 \cdot 10^{-3}$
Mischfazies 1	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Mischfazies 2	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Mischfazies 3	$3,5 \cdot 10^{-3}$
Mischfazies 4	$9,0 \cdot 10^{-4}$
Mischfazies 5	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Schwemmfächer 1	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Schwemmfächer 2	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Schwemmfächer 3	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Schwemmfächer 4	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Schwemmfächer 5	$3,2 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 6 modellierte hydraulische Durchlässigkeiten (Numerierung von West nach Ost)

Wie oben erwähnt können Leakage-Faktoren nicht direkt gemessen werden. Diese müssen also anhand der Modellanpassung definiert werden. Dazu wurden im nächsten Kalibrationsschritt für alle relevanten Fließgewässer Leakage-Faktoren (Tabelle 7) ermittelt. Diese führen lokal zu einer weiteren Annäherung der modellierten an die beobachteten Werte. Dabei wurden der Inn und der Pettnauer Gießen aufgrund ihrer Länge in mehrere Teilbereiche unterteilt, um eine feinere Diskretisierung zu ermöglichen.

Name	Fluss km von	Fluss km bis	Leakage - Faktor [1/s]	Name	Leakage - Faktor [1/s]
Inn 1	326,00	323,00	$3,0 \cdot 10^{-3}$	Leakagefaktor gilt über die gesamte Länge	
Inn 2	323,00	321,50	$3,0 \cdot 10^{-3}$	nach Gaisau	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Inn 3	321,50	320,00	$6,0 \cdot 10^{-4}$	Hattinger Gießen S	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Inn 4	320,00	319,00	$3,0 \cdot 10^{-3}$	Hattinger Gießen N	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Inn 5	319,00	317,50	$2,0 \cdot 10^{-5}$	Hattinger Gießen N- Gaisau	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Inn 6	317,50	316,00	$8,0 \cdot 10^{-6}$	Hattinger Gießen Ost	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Inn 7	316,00	314,50	$8,5 \cdot 10^{-6}$	Gießenbach - Hattinger Gießen W	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Pettnauer Gießen 1	4,60	3,60	$8,9 \cdot 10^{-6}$	Klambach	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Pettnauer Gießen 2	3,60	2,80	$2,0 \cdot 10^{-6}$	Flaurlinger/Pollinger Gießen N	$7,5 \cdot 10^{-7}$
Pettnauer Gießen 3	2,80	2,60	$3,0 \cdot 10^{-5}$	Gießenbach - Pollinger Gießen S	$6,0 \cdot 10^{-7}$

Pettnauer Gießen 4	2,60	2,10	$2,0 \cdot 10^{-5}$	Drainage Strang A	$1,0 \cdot 10^{-7}$
Pettnauer Gießen 5	2,10	1,60	$3,8 \cdot 10^{-5}$	Drainage Strang B	$1,0 \cdot 10^{-7}$
Pettnauer Gießen 6	1,60	1,20	$9,6 \cdot 10^{-5}$	Drainage Strang C	$8,5 \cdot 10^{-8}$
Pettnauer Gießen 7	1,20	0,60	$8,5 \cdot 10^{-8}$	Oberflächenwasserkanal Pett nau	$8,9 \cdot 10^{-6}$
Pettnauer Gießen 8	0,60	Inn	$1,0 \cdot 10^{-6}$	Kan zingbach	$6,0 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 7 berechnete Leakagefaktoren der wichtigsten Fließgewässer innerhalb des Projektgebiets

-4.1.1.- Güte der Modellanpassung

-4.1.1.1.- stationäre Modellkalibration

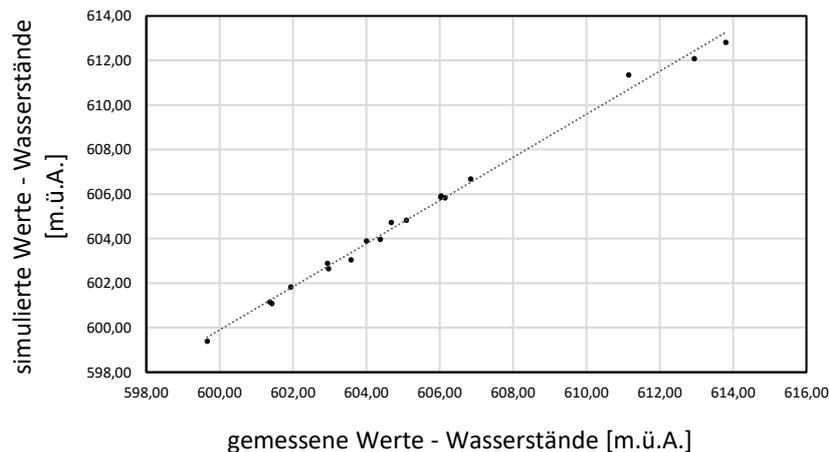


Diagramm 3 Vergleich der gemessenen und simulierten Wasserstände [m.ü.A] aus dem stationären Modellkalibrationsschritt

In Diagramm 3 werden die gemessenen und simulierten Wasserstände der stationären Modellkalibration gegenübergestellt. Dieser Kalibrationsschritt weist eine MQA von $0,15 \text{ m}^2$ auf was einer Wasserstandsdifferenz von $0,39 \text{ m}$ entspricht. Damit weist die rein stationäre Modellsimulation geringer Abweichungen in Bezug auf die Wasserstände auf, als die instationäre Modellkalibration. Bei den Messstellen mit einem Wasserstand kleiner als ca. 607 m.ü.A weisen die Messstellen eine sehr gute Annäherung auf. Bei den Messstellen über 610 m.ü.A Wasserstand kommt es tendenziell zu stärkeren Abweichungen. Diese Messstellen befinden sich im Gemeindegebiet von Oberhofen, also im Westen des Projektgebiets. In diesem Bereich wurden hydraulische Durchlässigkeiten von ungefähr $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ kalibriert. Unklar ist warum es sowohl in der stationären als auch in der instationären Modellkalibration (Diagramm 4) in den Bereichen mit den höheren Wasserständen tendenziell zu deutlich stärkeren Abweichungen kommt.

-4.1.1.2.- instationäre Modellkalibration

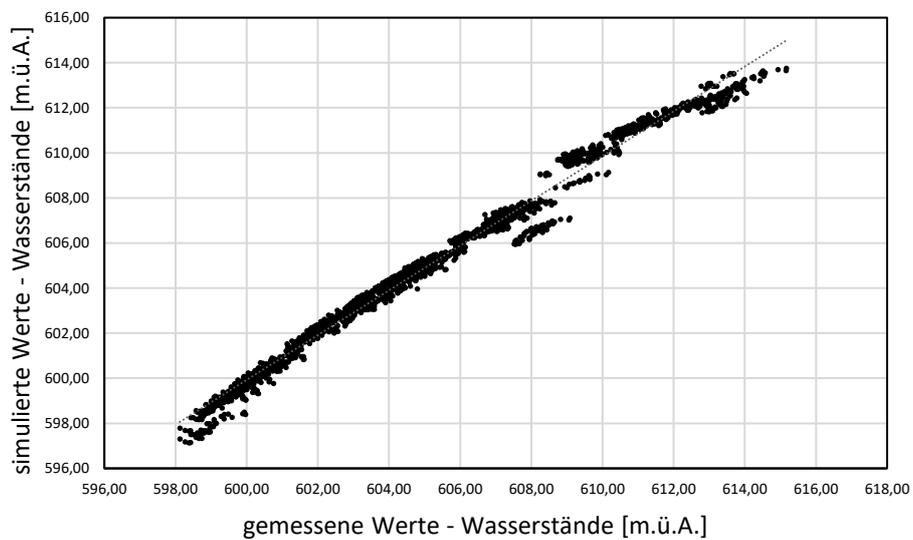


Diagramm 4 Vergleich der gemessenen Wasserstände [m.ü.A] mit den simulierten Wasserständen [m.ü.A]

Das Diagramm 4 bildet eine Gegenüberstellung der gemessenen und der simulierten Werte der instationären Modellkalibration ab. Vor allem die Werte im Bereich der niedrigen Wasserstände zeigen eine deutliche Übereinstimmung. Das Modell konnte mit einer mittleren quadratischen Abweichung von $0,42\text{m}^2$ (MQA – siehe Gleichung 3) kalibriert werden. Was einer Abweichung von $0,64\text{m}$ entspricht.

-4.1.2.- Vergleich der gemessenen mit den modellierten Ganglinien

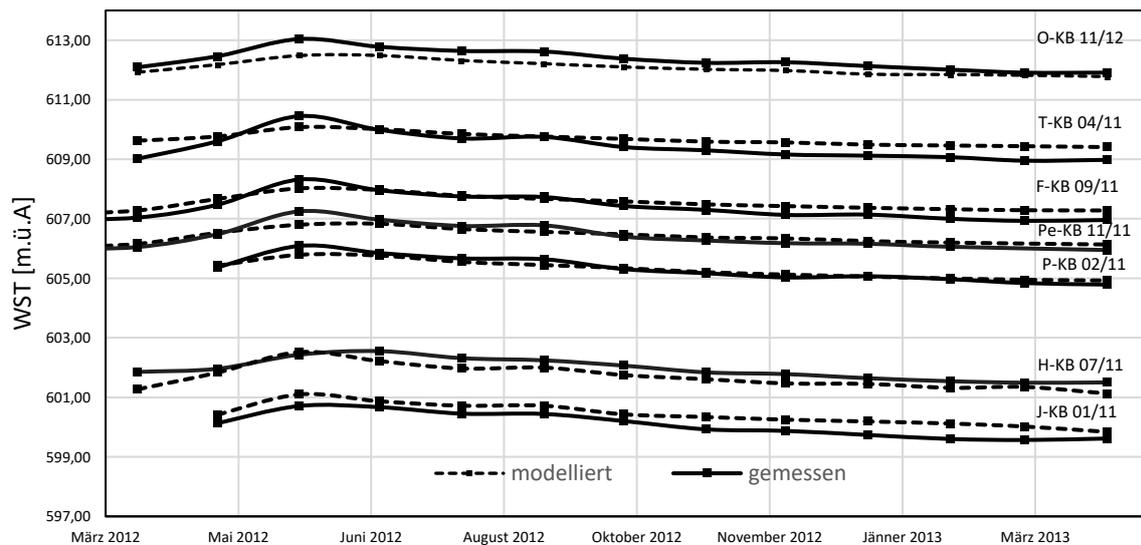


Diagramm 5 Vergleich der modellierten mit den gemessenen Wasserständen an den, die Bereich des Porengrundwasserkörpers repräsentierenden, Messstellen.

In Diagramm 5 ist eine sehr gute Annäherung der gemessenen an die modellierten Wasserstände erkennbar. Der Großteil der Messstellen weist, zum Ende hin, tendenziell zu hohen modellierten Wasserständen im Vergleich zu den gemessenen auf.

-4.2.-Wasserbilanz des Modellgebiets

Für das geeichte Modell konnte in weiterer Folge die Wasserbilanz errechnet werden, welche in Tabelle 8 die Signifikanz der definierten Parameter, in Prozent, zu Beginn des Modells, bei Niedrig- (April 2012), Mittel- (Oktober 2012) und Hochwasserstand (Juli 2012) darstellt. Aus Tabelle 8 geht hervor, dass der wesentliche Anteil des Zuflusses vom oberstromigen Inntalrand beziehungsweise aus der Grundwasserneubildung und der Interaktion mit den Flüssen hervorgeht. Es ist zu erkennen, dass die Grundwasserneubildung im Juli die größte Bedeutung zuzuordnen ist und den Randzuflüssen mit nur 6% ein sehr geringer Anteil des Zuflusses zugeschrieben werden kann.

%-Anteil Zufluss	stationär	instationär Mai 2012	instationär Juli 2012	instationär Oktober 2012
Speicher	0.00	3.83	1.90	9.77
Äquipotential (oberstromiger Rand)	45.65	42.76	38.14	42.71
Fluss - Leckage	24.12	19.07	14.49	16.03
Grundwasserneubildung	24.21	29.36	41.10	26.64
Randzuflüsse	6.02	5.00	4.37	4.86
%-Anteil Abfluss				
Speicher	0.00	2.60	21.81	13.94
Äquipotential (unterstromiger Rand)	92.42	87.62	64.28	71.47
Fluss - Leckage	0.04	9.78	13.91	14.59
Grundwasserneubildung	7.54	0.00	0.00	0.00
Randzuflüsse	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabelle 8 Wasserbilanz innerhalb des Modells mit den Anteilen der Zu- bzw. Abflüsse in Prozent

-5- Auswertung

-5.1.- Hydraulische Durchlässigkeiten

Die Inhomogenitäten der hydraulischen Durchlässigkeiten innerhalb der Talfüllung werden überwiegend durch engräumige Verzahnungseffekte von Sedimenten der Seitenbäche mit den Sedimenten des Vorfluters Inn und durch die klimagesteuerte Abfolge kumulativer und erosiver Phasen im Inntal verursacht (Brenner Eisenbahn GmbH, 1997)

Generell wird angenommen, beziehungsweise geht aus der geologischen Beschreibung und aus der Legende der hydrogeologischen Längs- und Querprofile, die im Zuge des UVP-Projekts angefertigt wurden (Anhang 16 bis Anhang 22) hervor, dass die Sedimente der Schwemmfächer noch höhere Durchlässigkeiten aufweisen als die Sedimente der Innschotterfazies. Bei Betrachtung der modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten (Tabelle 6) muss festgestellt werden, dass die Sedimente der Schwemmfächer aber tendenziell ähnliche hydraulische Durchlässigkeiten aufweisen wie die Sedimente der Innschotterbeziehungsweise der Mischfazies.

Aus dem Grundwasserkörper Stammdatenblatt (Umwelt Bundesamt, 2017), welches aber den gesamten Porengrundwasserleiter des Inntals berücksichtigt, geht eine durchschnittliche hydraulische Durchlässigkeit für den Inntalerporenaquifer von $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ hervor. Im Vergleich dazu weist der modellierte Porengrundwasserleiter mit einem Wert von $4,11 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ doppelt so hohe Durchlässigkeiten auf. Der Durchschnitt der aus den Pumpversuchen errechneten hydraulischen Durchlässigkeiten weist mit einem Wert von $1,08 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ im Vergleich mit den modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten einen um den Faktor 3,8 geringeren Wert auf. Generell ist in Diagramm 6 sichtbar, dass im Modell alle hydraulischen Durchlässigkeiten tendenziell höher eingestuft wurden als aus den Pumpversuchen hervorging. Geringere hydraulische Durchlässigkeiten wurden im Bereich der Mischfazies 2 und an einzelnen Messstellen des Schwemmfächer 3 modelliert. Innerhalb der Mischfazies 1 (siehe Anhang 5) kommt es im Bereich der Messstelle O-KB 15/12 zu deutlichen kleinräumigen Verzahnung der Innschotterfazies mit der Mischfazies, was die hydraulischen Durchlässigkeiten in Bezug auf die Kalkulationen aus den Pumpversuchen natürlich beeinflusst. Im Modell wurde der Untergrund nicht in diesem kleinräumigen Ausmaß definiert. Dieser Fakt kann auch die Erklärung für den, im Bereich des Schwemmfächer 3 dargestellten höheren Durchlässigkeitsbeiwert von $1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ sein. Dabei handelt es sich um den gemessenen Wert der Messstelle F-KB 10/11, deren Filterstrecke sich sowohl in den Sedimenten der Schwemmfächer als auch in den Sedimenten der Mischfazies befindet (siehe Anhang 8). Sehr gute Annäherung der gemessenen Werte aus den Pumpversuchen und den modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten konnten innerhalb der Bereiche der Innschotter 1 und Schwemmfächer 4 erzielt werden. Obwohl die Filterstrecke der Messstelle O-KB 03/11 im oberen Bereich sowohl durch die Sedimente der Innschotter als auch im unteren Bereich durch eine Linse der Sedimente der Innschotterfazies läuft, zeigt diese mit einem Wert von $4,87 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

eine relativ gute Annäherung an die modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten. Hydraulische Durchlässigkeiten von $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ wurden an der Messstelle P-KB 17/11 berechnet, deren Filterstrecke sich zur Gänze in den Sedimenten der Schwemmfächer befindet und somit allein die Sedimente der Schwemmfächer in diesem Bereich in Bezug auf die hydraulischen Durchlässigkeiten repräsentiert.

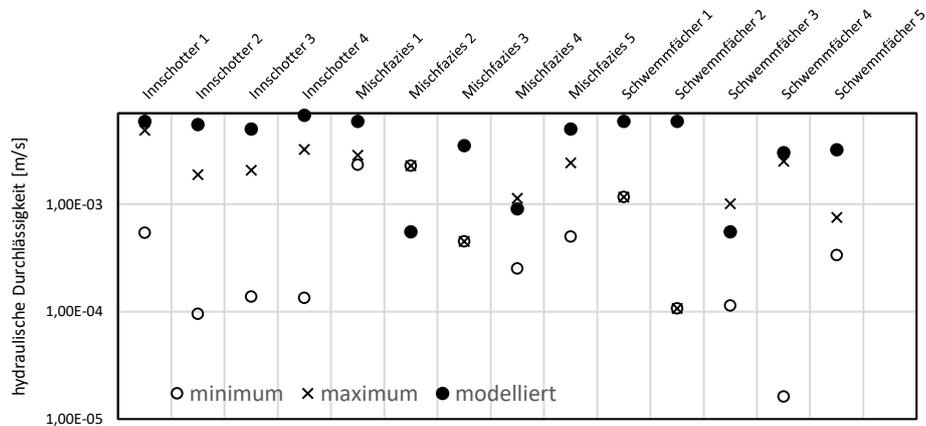


Diagramm 6 Vergleich der errechneten Minima und Maxima der hydraulischen Durchlässigkeiten mit den modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten

Zusätzlich kann bei der Messstelle O-KB 01/11 die Abweichung der berechneten hydraulischen Durchlässigkeiten aus den Pumpversuchen ($1,07 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) und den hydraulischen Durchlässigkeiten aus der Modellkalibrierung ($5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) mit der Position der Filterstrecke innerhalb der Bohrung erklärt werden. Da sich diese nicht mehr im Bereich der Sedimente des Porengrundwasserkörper, sondern im Hauptdolomit befindet, kann der anhand des Pumpversuches berechnete Wert nicht als Parameter für die quartären Sedimente angesehen und somit vernachlässigt werden.

In jedem Grundwassermodell gibt es Parameter, die mit mehr oder weniger starken Unsicherheiten behaftet sind. Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen können die möglichen Auswirkungen dieser Erkundungsdefizite auf das Berechnungsergebnis untersucht werden. Hierbei werden die betreffenden Parameter gezielt innerhalb hydrogeologisch-geohydraulisch möglicher Grenzen variiert und die Auswirkungen der Parametervariation auf das Berechnungsergebnis ermittelt (Kinzelbach & Rausch, 1995). Unter Betrachtung der oben genannten Differenzen soll eine Sensitivitätsanalyse der hydraulischen Durchlässigkeiten und der Grundwasserneubildung durchgeführt werden. In einem ersten Schritt wurden die modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten sowohl um den Faktor 3,80 als auch um den Faktor 2,05, nach oben genannten Differenzen, reduziert und zur Modellberechnung herangezogen. Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse werden in Diagramm 7 dargestellt.

Bei einer Änderung der hydraulischen Durchlässigkeiten um den Faktor 2,05 ergibt sich eine MQA von $0,48 \text{ m}^2$ was einer Differenz von $0,69 \text{ m}$ entspricht. Aus der Änderung der hydraulischen Durchlässigkeiten um den Faktor 3,80 resultiert eine MQA von $0,65 \text{ m}^2$ was einer Wasserstandsdifferenz von $0,80 \text{ m}$ entspricht. Daraus folgt, dass geringe Änderungen in Bezug auf die hydraulische Durchlässigkeit zu hohen Differenzen

innerhalb der Wasserstände führen. Daher kann die hydraulische Durchlässigkeit als sehr sensibler Parameter eingestuft werden. Im Vergleich dazu wird im nächsten Kapitel auch eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die Grundwasserneubildung angefertigt.

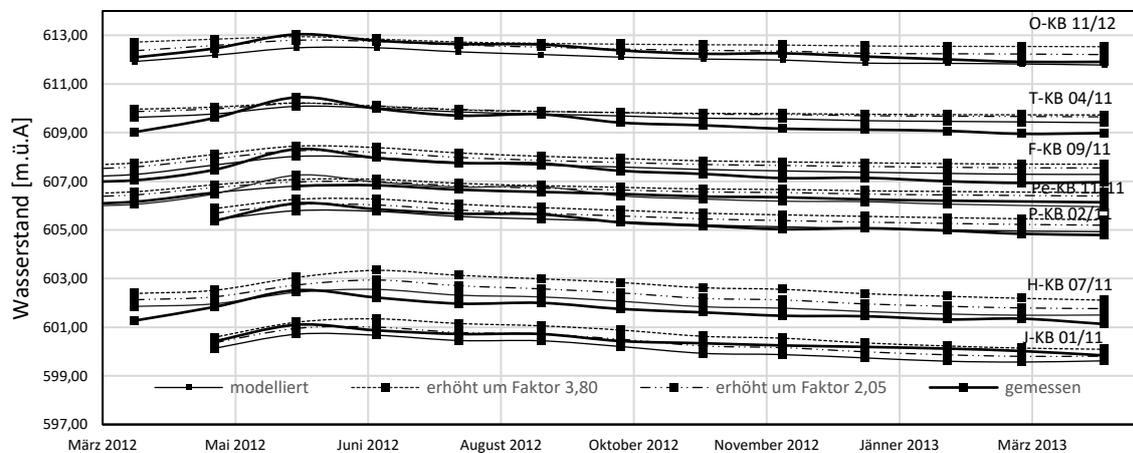


Diagramm 7 Sensitivitätsanalyse der hydraulischen Durchlässigkeit anhand eines Vergleichs der gemessenen Grundwasserstände mit den modellierten Grundwasserständen unter Anwendung der modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten, nach Reduzieren der hydraulischen Durchlässigkeiten um den Faktor 2,05 beziehungsweise Reduzieren der hydraulischen Durchlässigkeiten um den Faktor 3,80

Beim messstellenspezifischen Vergleich der hydraulischen Leitfähigkeiten des Modells mit den aus den Pumpversuchen berechneten, kommt es nahezu flächendeckend zu sehr guten Annäherungen der beiden Werte. Generell kann festgestellt werden, dass die gemessenen Grundwasserpegelstände zusätzlich zum allgemein abgebildeten Trend kleinräumigere Schwankungen aufweisen. Dies kann auf die zeitlich variabelere Grundwasserneubildung zurückzuführen sein.

Die Messstellen zeigen unterschiedlich starke Reaktion auf die Änderung der hydraulischen Durchlässigkeiten. Die größte Differenz zeigt die Messstelle H-KB 07/11, welche direkt am Innufer liegt. Diese Messstelle reagiert sehr stark auf die Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeiten. Im Vergleich dazu zeigt die Messstelle T-KB 04/11 eine nur sehr geringe Bandbreite an Wasserständen auch bei Änderung der hydraulischen Durchlässigkeiten. Die Messstelle T-KB 04/11 befindet sich am Fuße der Nördlichen Kalkalpen, sehr nahe am Festgesteinsrahmen. Diese Tatsache könnte ein Grund für die relativ geringen Schwankungen sein. Grundsätzlich kam es bei einzelnen Messstellen zu größeren Differenzen beim Vergleich der hydraulischen Durchlässigkeiten aus der Modellkalibrierung und den berechneten hydraulischen Durchlässigkeiten aus den Pumpversuchen (Diagramm 6). Da es sich bei den durchgeführten Pumpversuchen um Pegelpumpversuche handelt, welche generell von kurzer Dauer sind, können die resultierenden hydraulischen Durchlässigkeiten nur als sehr lokal wirksame Durchlässigkeiten angesehen werden. Generell gilt, je länger die Dauer eines Pumpversuchs ist, desto größer ist das Volumen, für das der gewonnene Wert repräsentativ ist (Kinzelbach & Rausch, 1995).

-5.2.- Grundwasserneubildung

Generell muss klargestellt werden, dass die in Kapitel -4.2.- errechnete Grundwasserneubildungsrate aufgrund ihrer simplen Berechnung nur als Richtwert gelten kann. Bezugnehmend auf Diagramm 2 wird aber die modellierte Grundwasserneubildung, mit der aus der Literatur beziehungsweise aus den Niederschlagsdaten hervorgehenden Grundwasserneubildungsrate verglichen. Daraus geht deutlich hervor, dass der Peak aus der Literatur im Modell nach vorne versetzt ist. Dies bedeutet, dass es zu stark erhöhter Grundwasserneubildung im März und im April 2012 kam, welche möglicherweise auf die Schneeschmelze zurückzuführen ist.

Diese Annahme wird durch den Winterbericht 2011/2012 der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik bestätigt. Daraus geht hervor, dass die Täler Tirols und Vorarlbergs im vieljährigen regionalen Vergleich ausgesprochen niederschlagsreich, mit 158% des regionalen Wintermittels, waren. Zusätzlich dazu kommt es im Februar 2012 zu einer geringeren Winter-Sonnenscheindauer und Winter-Mitteltemperatur im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren (Abbildung 12). Bis zum Winter 2017/2018 galt der Winter 2011/2012 als feuchtester seit 1858 (ZAMG, 2018). Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass sich in den Wintermonaten eine Schneedecke in den Talbereichen Tirols, somit auch im Untersuchungsgebiet, ansammeln konnte. In weiterer Folge geht aus den ZAMG Daten hervor, dass der März 2012 besonders hohe Temperaturen landesweit aufwies (ZAMG, 2012). Die hohen Winterniederschlagsmengen und geringen Temperaturen bis Februar 2012 und die hohen Temperaturen und die damit einhergehende Schneeschmelze im März 2012 untermauern die Annahme, dass es in den Monaten März und April 2012 zu höheren Grundwasserneubildungsraten kommen konnte.

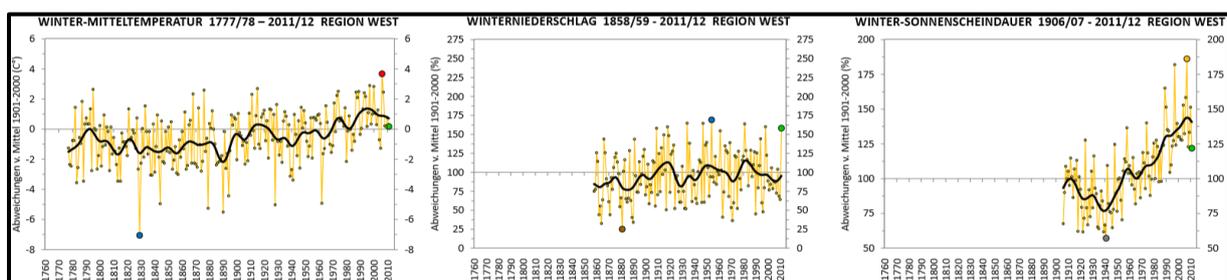


Abbildung 12 Darstellung der Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer vom Winter 2011/2012 in der Region West (Tirol und Vorarlberg) aus dem Winterbericht der HISTALP 2011/2012

Andererseits wurde im Dezember 2012 aufgrund der hohen Niederschlagsmenge und der geringen Evaporationsraten eine höhere Grundwasserneubildung prognostiziert, welche aus den gemessenen Grundwasserganglinien aber nicht hervorgeht. Auch, dass der Dezember 2012 als sehr feucht dokumentiert wurde, mit außergewöhnlich hohen Temperaturen um Weihnachten 2012, spiegelt sich in den Grundwasserganglinien nicht wider. Daher wurde die Grundwasserneubildung in der zweiten Jahreshälfte im Modell auch als sehr gering berechnet.

Die Wasserbilanz des Modells (Tabelle 8) zeigt, dass die Grundwasserneubildung einen wesentlichen Prozentanteil in Bezug auf die Zuflüsse zum Modell beiträgt. Da diese in diesem Modell nur durch grobe Abschätzungen definiert wurde, soll die Abhängigkeit der Änderung der Grundwasserneubildung analysiert werden. Dazu wurden die Grundwasserneubildungsraten in derselben Größenordnung verändert wie die in Kapitel -5.1.-analysierten hydraulischen Durchlässigkeiten.

Um eine möglichst gute Annäherung der modellierten Daten an die beobachteten Daten zu erreichen, wurden die in Diagramm 2 dargestellten Werte für die Grundwasserneubildung verwendet. Für den Vergleich der gemessenen mit den modellierten Daten wurden dieselben Referenzmessstellen, wie bei der Sensitivitätsanalyse der hydraulischen Durchlässigkeiten in Diagramm 7 dargestellt, verwendet. Dabei wurde die modellierte Grundwasserneubildungsrate, wie auch bei der Sensitivitätsanalyse der hydraulischen Durchlässigkeit, einerseits um den Faktor 2,05 und andererseits um den Faktor 3,8, reduziert. Bei der Reduzierung der Grundwasserneubildung um den Faktor von 2,05 ergibt sich eine MQA von $0,48\text{m}^2$, was einer Wasserstandsdifferenz von $0,69\text{m}$ gleichkommt. Bei der Änderung der Grundwasserneubildungsrate um den Faktor 3,80 resultiert eine MQA von $0,52\text{m}^2$, also $0,72\text{m}$.

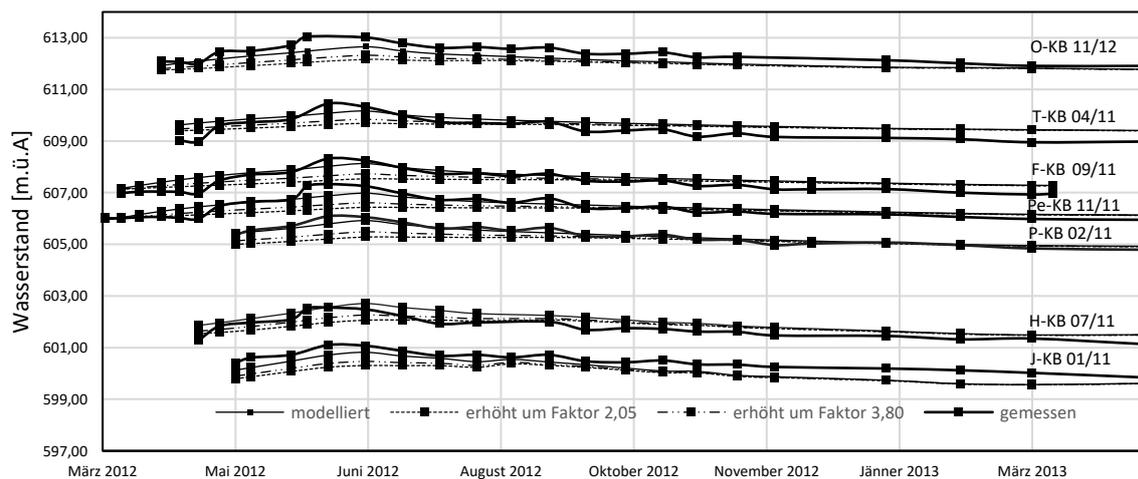


Diagramm 8 Sensitivitätsanalyse der Grundwasserneubildungsrate anhand eines Vergleichs der gemessenen Grundwasserstände mit den modellierten Grundwassermessständen unter Anwendung der modellierten Grundwasserneubildung, nach Reduzieren der Grundwasserneubildung um den Faktor 2,05 beziehungsweise Reduzieren der Grundwasserneubildung um den Faktor 3,80

Allgemein muss festgestellt werden, dass die feineren Schwankungen, die die gemessenen Grundwasserstände darstellen, nicht modelliert werden konnten. Für die Modellierung dieser müssten die Parameter zeitlich in einer wesentlich höheren Auflösung definiert werden. In Diagramm 8 sieht man deutlich, dass die Messstellen, anders als bei Änderung der hydraulischen Durchlässigkeit, ähnlich auf die Änderung der Grundwasserneubildung reagieren.

Beim Vergleich beider Sensitivitätsanalysen ist zu sehen, dass die Auswirkung auf den modellierten Wasserspiegel bei der Änderung der hydraulischen Durchlässigkeiten, bei der Reduzierung um den Faktor 3,80 höher ist als bei der Änderung der Grundwasserneubildung. Folglich hat die Änderung der hydraulischen Durchlässigkeiten wesentlich stärkere Auswirkungen auf die modellierten

Grundwassermessstände als die Grundwasserneubildung. Daraus ergibt sich, dass es sich bei der hydraulischen Durchlässigkeit um einen wesentlich empfindlicheren Parameter handelt. Die Grundwasserneubildung muss wesentlich stärkeren Änderungen unterzogen werden, um dieselbe Differenz in Bezug auf die Änderung der Wasserstände zu erreichen. Daher kann die Grundwasserneubildung als unempfindlicherer Parameter definiert werden.

-5.3.- Leakage Faktoren

Die Leakagefaktoren beschreiben die Interaktion der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser (siehe Kapitel -3.2.2.-). Aufgrund der Zellweite des Modells von 20,0m muss dieser Wert aber mit Vorbehalt analysiert werden, da kein Fließgewässer im Projektgebiet diese Breite aufweist. Trotzdem soll der besonders auffällig starke Unterschied (Tabelle 7) in Bezug auf die Leakagefaktoren in den ersten 6,0km des Inns zwischen Flusskilometer (Fkm) 326,0 und 319,0 mit einem Wert von ungefähr 10^{-3} 1/s und den Leakagefaktoren bis Fkm 314,5 von ungefähr 10^{-6} 1/s betrachtet werden. Hohe Leakagefaktoren definieren einen sehr guten Austausch zwischen dem Inn und dem umliegenden Aquifer. Dies ist auch am Vergleich der Innpegel-Messständen und den umliegenden Grundwasserpegelständen sichtbar. Sowohl die Innpegelmessstelle DS Telfs-OH1 und die Grundwassermessstelle O-KB 09/11 zeigen einen parallelen Verlauf im gemessenen Zeitraum mit nahezu identen Wasserstandsdifferenzen (Diagramm 9). Da sich die Messstelle O-KB 09/11 leicht oberstromig befindet, sind die Unterschiede in den Wasserstandhöhen durch die Topografie erklärbar. Im Gegensatz dazu zeigen die Messstellen DS-Hatting 1 und die unmittelbar daneben liegende Messstelle H-KB 07/11 (Diagramm 10) eine variable Entwicklung im gemessenen Zeitraum. Dies bestätigt die Plausibilität der errechneten Leakagefaktoren und die Tatsache, dass der Austausch zwischen Inn und Grundwasser in diesem Bereich wesentlich geringer ist (siehe Kapitel -5.1.-).

Der Leakagefaktor wird, wie oben erwähnt, von der Mächtigkeit und der Durchlässigkeit der Kolmationsschicht des Flusses definiert. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Kolmationsschicht des Inns im oberen Bereich wesentlich höher durchlässig ist beziehungsweise eine geringere Mächtigkeit besitzt als die im unteren Bereich des Inns. Dies kann auf den Flussverlauf, die starke Biegung bei Telfs und die damit auftretenden turbulenteren Strömungen des Inns zurückzuführen sein. Diese turbulenten Strömungen verhindern die Ausbildung einer Kolmationsschicht im Ausmaß derer des Inns zwischen Fkm 320,0 und 314,5. Auch an den in Kapitel -5.1.- erwähnten Inn-nahen Messstellen konnte eine wesentlich geringere Durchlässigkeit in den Bereichen des Inns zwischen Fluss km 320,0 bis 314,5 aufgezeichnet werden.

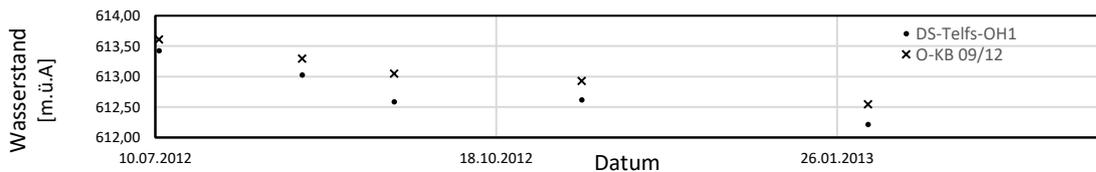


Diagramm 9 Vergleich der Wasserstände des Innpegel DS-Telfs-OH1 und der GW-Messstelle O-KB 09/12, parallele Entwicklung innerhalb des gemessenen Zeitraums

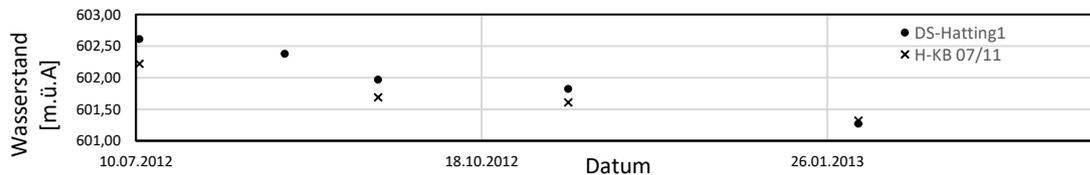


Diagramm 10 Vergleich der Wasserstände des Innpegel DS-Hatting 1 und der GW-Messstelle H-KB 07/11, variable Entwicklung innerhalb des gemessenen Zeitraums

-5.4.- Randzufluss

Die Einheiten der Phyllitzone und des Ötztalkristallins, also die des südlichen Talrandes, werden wie in Kapitel -2.2.1.1- als undurchlässig beschrieben. Innerhalb der Gesteine der nördlichen Kalkalpen, also denen des nördlichen Modellrandes, kann mit lokal auftretenden höheren Durchlässigkeiten gerechnet werden. Dies wird durch die möglichen Verkarstungserscheinungen aufgrund der höheren Löslichkeiten der Karbonatgesteine der Kalkalpen verursacht.

Da in dieser Arbeit nicht näher auf die quantitative Rolle der Randzuflüsse eingegangen wird, soll aber trotzdem eine Abschätzung der qualitativen Rolle dieser versucht werden. Aus der Wasserbilanz (Tabelle 8) geht hervor, dass den Randzuflüssen im Modellgebiet eine eher untergeordnete Rolle zuzuschreiben ist. Daraus folgt, dass man mit der Modellkalibration, auch in Bezug auf die Unsicherheiten hinsichtlich der Grundwasserneubildung, nur mit großen Unschärfen detaillierte Aussagen zum Randzufluss machen kann. Daher wird in dieser Arbeit nicht näher auf die quantitative Rolle der Randzuflüsse eingegangen. Die chemischen Analysen der genommenen Proben an ausgewählten Grundwassermessstellen sollen aber für eine qualitative Abschätzung herangezogen werden.

Die hydrogeochemische Zusammensetzung der Grundwässer wird generell durch die geochemische Beschaffenheit des durchflossenen Aquifers und durch anthropogene Einflüsse bestimmt (Geologische Bundesanstalt (GBA), 2007). In diesem Fall soll in erster Linie auf die erhöhten Sulfatwerte eingegangen werden, da diese einen weiteren Rückschluss auf die Grundwasserdynamik im Projektgebiet zulassen.

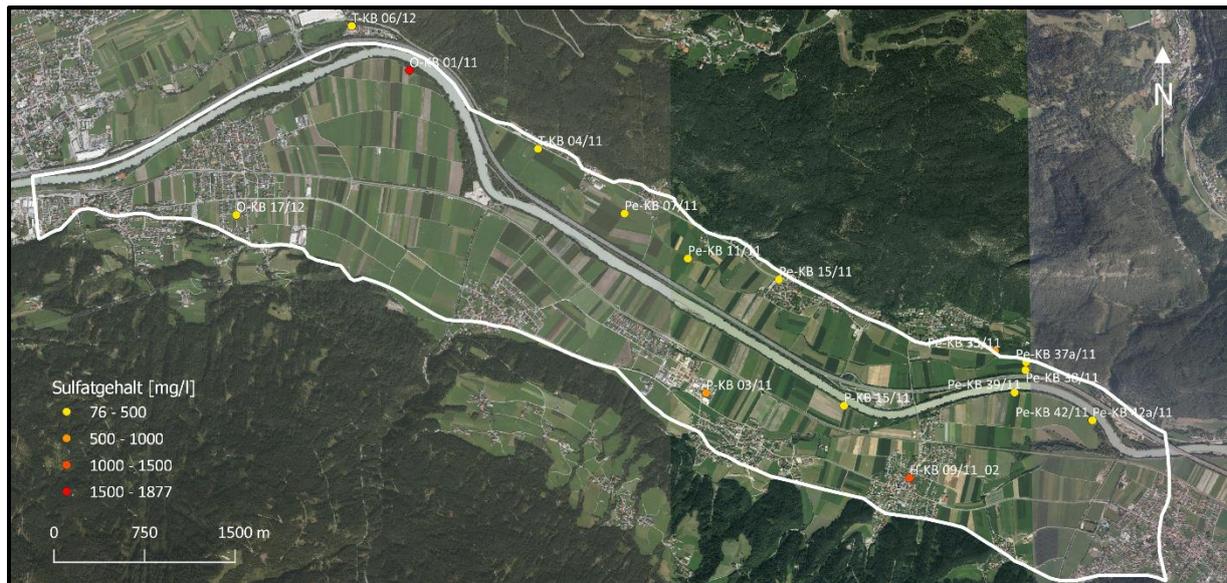


Abbildung 13 Messstellen mit leicht bis stark erhöhten Sulfatgehalten; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

Für die qualitative Einschätzung der Randzuflüsse im Projektgebiet können die erhöhten Sulfatwerte entlang des nördlichen Projektrandes herangezogen werden (Abbildung 13). An den Messstellen T-KB 06/12, T-KB 04/11, Pe-KB 07/11, Pe-KB 11/11, Pe-KB 15/11, Pe-KB 35/11, Pe-KB 37/11, Pe-KB 38/11 und Pe-KB 39/11 wurden Sulfatwerte bis zu 700mg/l dokumentiert. Innerhalb der Nördlichen Kalkalpen sind Evaporit-Horizonte mit eingelagerten Gipsvorkommen weit verbreitet, welche nach dem unterirdischen Transport ins Inntal zu erhöhten Sulfatwerten führen können. In diesem Bereich werden diese gipshaltigen Einheiten den Raibler Schichten zugeordnet. (Brielmann, et al., 2018). In Bezug auf die Grundwasserdynamik im Projektgebiet dienen also die erhöhten Sulfatkonzentrationen als Indiz dafür, dass es zu einem unterirdischen Zufluss zum Porengrundwasserkörper aus den angrenzenden Nördlichen Kalkalpen kommen muss.

Eine zusätzliche Aussage, die die Sulfatanalysen zulassen, ist der stark erhöhte Wert in Bezug auf die Analyse der Sulfatgehalte an der Messstelle O-KB 01/11, mit Werten von 1876,6 – 1958,4 mg/l (siehe Diagramm 11), welche von den durchschnittlich gemessenen Werten von ungefähr 40,0 mg/l stark abweichen. Die Herkunft dieser stark sulfathaltigen Wässer ist zusätzlich aus dem Eintrag aus dem sulfathaltigen Wasser aus den Raibler Schichten der nördlichen Kalkalpen, vermutlich auch auf die an der orographisch linken, oberstromigen Innseite situierten Kläranlage Telfs zurückzuführen, da die Ursache für erhöhte Sulfatwerte oft auch auf die Verunreinigung mit Jauche, Stallmist oder Fäkalien zurückzuführen ist. Diese Tatsache bestätigt die modellierten Leakagefaktoren im Bereich der oberen Fkm des Inns, welche einen deutlichen Austausch zwischen Inn und dem umgebenden Grundwasser charakterisieren.

Im untenstehenden Diagramm 11 werden die Analysen in Bezug auf die Sulfatwerte dargestellt. Dabei wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Messstellen mit stark erhöhten Werten beschriftet.

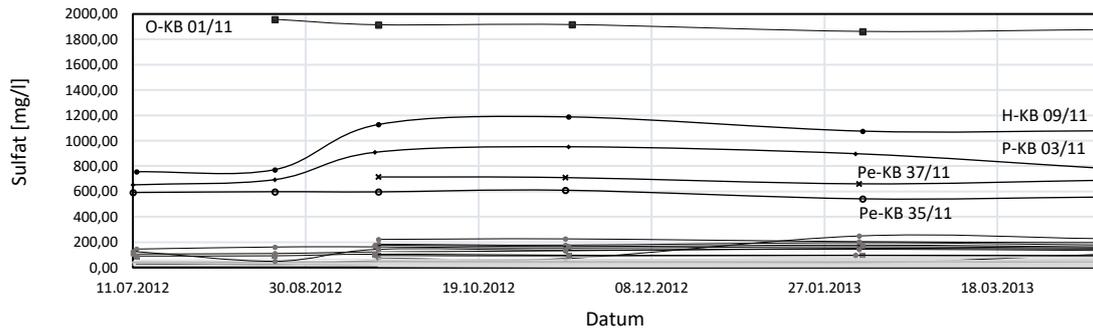


Diagramm 11 Verlauf des gemessenen Sulfatgehalts, mit den deutlich erhöhten Werten an der Messstelle O-KB 01/11

-5.5.- Grundwasserdynamik

Zur Darstellung der Grundwasserfließdynamik wurden in Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16 die modellierten Wasserstände zu drei repräsentativen Situationen in Form von Grundwassergleichenplänen dargestellt. Für den Niedrigwasserstand wurden die Werte von April 2013 herangezogen, für den Mittelwasserstand die von Oktober 2012 und den Hochwasserstand repräsentieren die modellierten Werte von Juni 2012. Es zeigt sich, dass bei Mittel- und Niederwasserstand die Interaktion des Inns mit dem Grundwasser im Bereich von Flauring deutlich stärker ist und es zu effluenten Bedingungen kommt, also, dass das Grundwasser tendenziell in den Inn fließt. Bei den modellierten Wasserständen von Oktober 2012 kommt es zusätzlich auch zu lokal verstärkten effluenten Bedingungen im Bereich des Pettnauer Gießens.

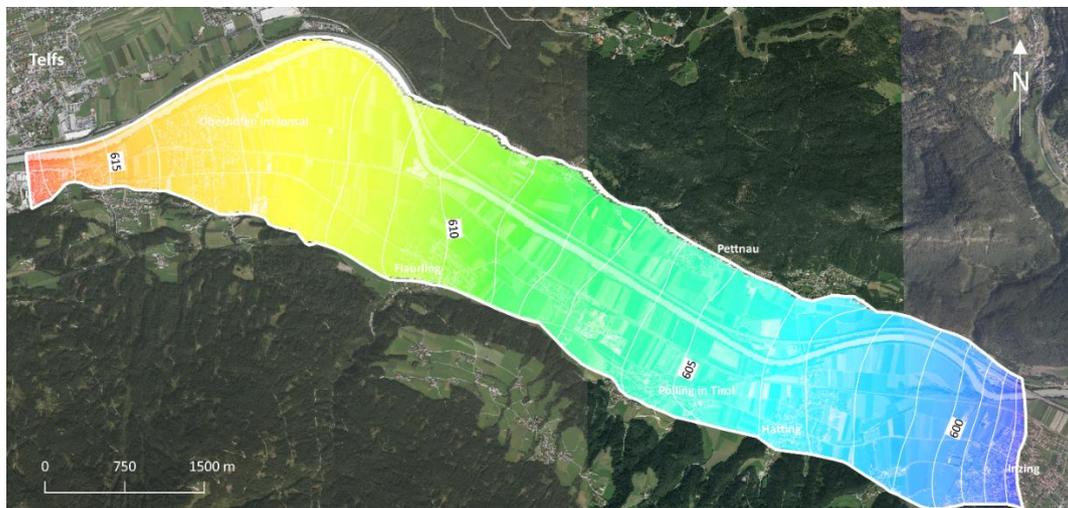


Abbildung 14 modellierter Grundwassergleichenplan mit Wasserständen bei Niedrigwasserstand, vom April 2013; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

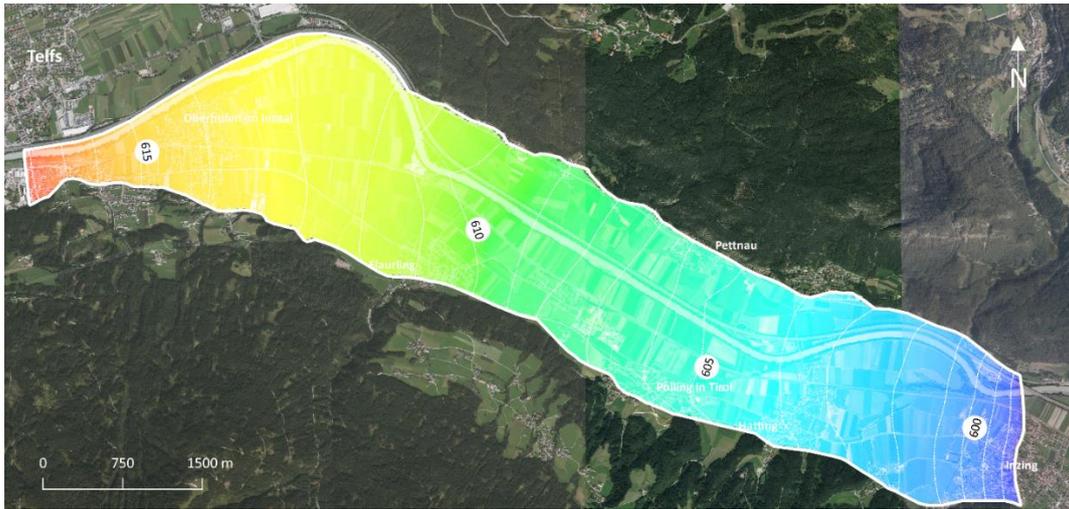


Abbildung 15 modellierter Grundwassergleichenplan mit Wasserständen bei Mittelwasserstand, vom Oktober 2012; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

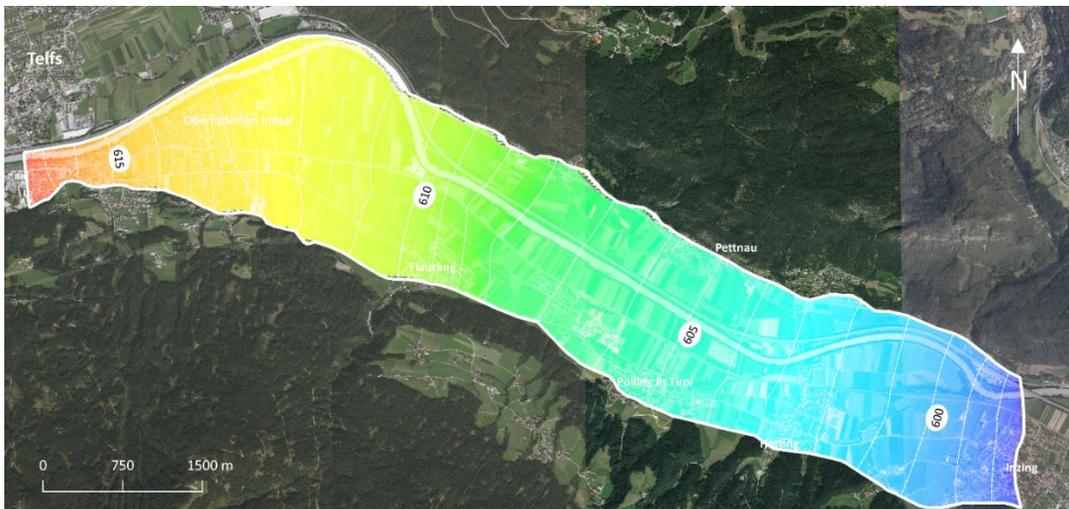


Abbildung 16 modellierter Grundwassergleichenplan mit Wasserständen bei Hochwasserstand, vom Juli 2012; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)

-6- Schlussfolgerung

Anhand der Gegenüberstellung der beobachteten Werte und der sowohl aus der stationären als auch aus der instationären Modellkalibration hervorgegangenen Werte in Diagramm 3 und Diagramm 4 und den Diagramm 5 kann durchaus von einem guten Modellergebnis gesprochen werden. Zusätzlich kann die mittlere quadratische Abweichung von $0,42\text{m}^2$ als gut angesehen werden. Dabei können sowohl im direkten Vergleich der modellierten Wasserstände mit den gemessenen in Diagramm 4, als auch im messstellenspezifischen Vergleich, Abweichungen von durchschnittlich $0,65\text{m}$ aufgezeichnet werden.

Hinsichtlich der zeitlich eher unsicheren Einschätzung zu Beginn des Modellaufbaus, bezogen auf die Grundwasserneubildungsrate im Modellgebiet, konnte festgestellt werden, dass die Änderungen innerhalb der Grundwasserneubildungsrate geringere Schwankungen in den modellierten Wasserständen verursachen als die der hydraulischen Durchlässigkeit. Es sind also intensivere Änderungen dieses Parameters notwendig, um in maßgeblichen Änderungen innerhalb der modellierten Wasserstände zu resultieren. Dies konnte anhand der Sensitivitätsanalyse, also der kontrollierten Veränderung der geeichten Werte und dem darauffolgenden Vergleich der damit einhergehenden Veränderung der modellierten Grundwasserstände, definiert werden (siehe Diagramm 7 und Diagramm 8).

Grundsätzlich kann auch festgestellt werden, dass die Abweichung der hydraulischen Durchlässigkeiten aus den Pumpversuchen im Vergleich mit den modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten relativ gering ausfällt. Des Weiteren kann auch behauptet werden, dass die Variation der hydraulischen Durchlässigkeiten nicht an die unterschiedlichen Einheiten des Porengrundwasserkörpers (Schwemmfächer, Mischfazies und Innschotter) gebunden ist. Es kommt vor allem an Messstellen deren Filterstrecken sich zur Gänze in einer Einheit (Innschotter, Mischfazies, Schwemmfächer) befinden zu besseren Übereinstimmung der modellierten mit den aus den Pumpversuchen berechneten. Einzelne Messstellen, welche einen Verzahnungsbereich mehrerer unterschiedlicher Lithologien repräsentieren zeigen im Vergleich oft stärkere Abweichungen.

Die Grundwasserbilanz des geeichten Modells zeigt, dass die Parameter Festpotential, Grundwasserneubildung und die Interaktion der Fließgewässer, in erster Linie, die des Inns mit dem umgebenden Grundwasser die wesentlichsten Parameter im Modell darstellen. Dies wurde mit den prozentuellen Anteilen gemäß Tabelle 8 dargestellt. Im Gegensatz dazu zeigt sich, dass die Randzuflüsse nur einen sehr geringen Teil zum Zufluss in den Porengrundwasserleiter darstellen. Diese drei Parameter sind aber in der Natur relativ schwierig beziehungsweise nicht zu definieren und bringen daher schon im Modellaufbau einen gewissen Grad der Unsicherheit mit.

Da den Randzuflüssen aus der Wasserbilanz nur eine kleine Rolle zugeschrieben wurde, wurden die Zuflüsse aus dem, das Modellgebiet südlich und nördlich begrenzenden Grundgebirge, in dieser Arbeit nur qualitativ anhand der gemessenen Sulfatwerte betrachtet. Dabei konnten leicht erhöhte Sulfatwerte entlang des

nördlichen Talrandes/Modellrandes aufgezeichnet werden. Diese können als Indizien für den Zufluss aus den nördlichen Kalkalpen dienen, da in diesen geologischen Einheiten gipsführende Bereiche (Raibler Schichten) definiert sind und die bei Auflösung den Sulfatgehalt stark erhöhen. In diesem Fall wurden also die erhöhten Sulfatgehalte vermutlich durch Anlösen dieser Einheiten und den anschließenden Transport ins Tal entlang des nördlichen Talrandes verursacht.

Literaturverzeichnis

Amt der Tiroler Landesregierung, 2018. *tirisMaps 3.0*. [Online]

Available at: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/>

Anderson, M. P., Woessner, W. W. & Hunt, R. J., 2015. *Applied Groundwater Modeling - Simulation of Flow and Advective Transport*. 2. Hrsg. s.l.:Elsevier Inc..

ARGE Innkraftwerk [1], 2014. *RMI-Regionalkraftwerk Mittlerer Inn, C-Sonstige Unterlagen, Geologie des Planungsraumes, Bericht C_04_01*, Hall in Tirol: IKB Innsbrucker Kommunalbetriebe AG.

ARGE Innkraftwerk [2], 2014. *RMI-Regionalkraftwerk Mittlerer Inn, C-Sonstige Unterlagen, Gießenaufnahme, Bericht C_04_05*, Innsbruck: IKB Innsbrucker Kommunalbetriebe AG.

ARGE Innkraftwerk [3], 2014. *RMI-Regionalkraftwerk Mittlerer Inn, C-Sonstige Unterlagen, Grundwassermodell RMI, Bericht C_04_06*, Hall in Tirol: IKB Innsbrucker Kommunalbetriebe AG.

ARGE Innkraftwerk [4], 2014. *RMI-Regionalkraftwerk Mittlerer Inn, C-Sonstige Unterlagen, Wasserwirtschaftliche Beweissicherung, Bericht C_04_04*, Hall in Tirol: IKB Innsbrucker Kommunalbetriebe AG.

Birk, S., 1998. *Grundwassermodell für den Raum Lahr - Strömungs- und Transportverhältnisse im Bereich des ehemaligen NATO-Flugplatzes - Diplomarbeit*, Karlsruhe: s.n.

Brenner Eisenbahn GmbH, 1997. *UVE-Eisenbahnachse Brenner München-Verona; Teilprojekt Zulaufstelle Nord: Abschnitt Kundl/Radfeld - Baumkirchen*, s.l.: s.n.

Brielmann, H. et al., 2018. *Hydrochemie und Hydrogeologie der Österreichischen Grundwässer und deren natürliche Metall- und Nährstoffgehalte (Update Geohint 2018)*, Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Dupuit, J. É. J., 1863. *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables: avec des considérations relatives au régime des grandes eaux, au débouché à leur donner, et à la marche des alluvions dans les rivières*. Dunod: s.n.

Fecht, M., Höfle, B., Starnberger, R. & Kaser, G., 2004. *Eine Karte der aktuellen Verdunstung für das Tirol Atlas Gebiet anhand von Landnutzungs- und Vegetationsdaten*, s.l.: Institut für Geographie, Universität Innsbruck.

Geologische Bundesanstalt (GBA), 2007. www.geologie.ac.at. [Online]

Available at: <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/geochemie/geohint-sulfat/>

Herdina, J., 2008. Unterintalltrasse in der Bauausführung. *Beton- und Stahlbetonbau Heft 10*, pp. 672-681.

Hölting, B. & Coldewey, W. G., 2013. *Hydrogeologie - 8.Auflage*. s.l.:Springer-Verlag Berlin.

Kinzelbach, W. & Rausch, R., 1995. *Grundwassermodellierung - Eine Einführung mit Übungen*. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Berlin.

Morris, D. A. & Johnson, A. I., 1967. Summary of of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials as Analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey 1948 - 1960. *U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1839-D*, p. 42.

Poscher, G., 1993. *Neuergebnisse der Quartärforschung in Tirol*. Wien, Geologische Bundesanstalt , pp. 7-27.

QGIS Entwicklerteam, 2018. *QGIS Geographisches Informationssystem*. s.l.:s.n.

Thiem, G., 1906. *Hydrologische Methoden: Dissertation zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs durch die Königliche Technische Hochschule zu Stuttgart.*, s.l.: Diss. JM Gebhardt's verlag.

Thorntwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of the Climate. *Geographical Review*, Jänner, Issue Vol. 38 No.1 , pp. 55-94.

U.S. Geological Survey, 2005. *MODFLOW-2005*. s.l.:s.n.

U.S.Geological Survey, 2019. *ModelMuse v.4.0.0.0.* s.l.:s.n.

Umwelt Bundesamt, 2017. *Grundwasserkörper - Stammdatenblatt GK100002 Inntal*, s.l.: Ministerium für ein Lebenswertes Österreich.

ZAMG, 2012. *ZAMG Zentralanstalt für Meterologie und Geodynamik*. [Online]

Available at: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/klima-im-maerz-2012-ungewoehnlich-sonnig-trocken-und-warm>

ZAMG, 2018. *HISTALP Langzeitklimareihen-Österreich Winterbericht 2017/2018*, s.l.: ZAMG Zentralanstalt für Meterologie und Geodynamik.

Abbildungen, Diagramme und Tabellen

Abbildung 1 Übersicht der Lage des Projektgebiets im oberen Inntal; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)	2
Abbildung 2 Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (bearbeitet nach ARGE Innkraftwerk, 2014) ...	3
Abbildung 3 relevante Fließgewässer innerhalb des Projektgebiets; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)	6
Abbildung 4 Messstellen der Wasserwirtschaftlichen Beweissicherung in den Jahren 2012 und 2013; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	9
Abbildung 5 Lageplan mit den Positionen der beprobten Messstellen; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)	10
Abbildung 6 Lageplan des Modellgebiets mit den Gemeindegrenzen der betroffenen Gemeinden; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	11
Abbildung 7 Oberkante der Grundwasser stauenden Schichten; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	12
Abbildung 8 typische Werte für den Speicherkoeffizient nach (Morris & Johnson, 1967) aus (Anderson, et al., 2015).....	13
Abbildung 9 Wasserstände aus der stationären Modellsimulation in m.ü.A. Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	15
Abbildung 10 abgegrenzte Bereiche für die berechneten Randzuflüsse; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)	16
Abbildung 11 kalkulierte Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeiten [m/s]; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	19
Abbildung 12 Darstellung der Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer vom Winter 2011/2012 in der Region West (Tirol und Vorarlberg) aus dem Winterbericht der HISTALP 2011/2012.....	26
Abbildung 13 Messstellen mit leicht bis stark erhöhten Sulfatgehalten; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018)	30
Abbildung 14 modellierter Grundwassergleichenplan mit Wasserständen bei Niederwasserstand, vom April 2013; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	31
Abbildung 15 modellierter Grundwassergleichenplan mit Wasserständen bei Mittelwasserstand, vom Oktober 2012; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	32
Abbildung 16 modellierter Grundwassergleichenplan mit Wasserständen bei Hochwasserstand, vom Juli 2012; Kartengrundlage Orthofoto (Amt der Tiroler Landesregierung, 2018).....	32
Diagramm 1 Grundwasserstandganglinien von Referenzmessstellen aus den unterschiedlichen Einheiten des Porenaquifers innerhalb des Projektgebiets	8

Diagramm 2 Gegenüberstellung der aus der Literatur (Fecht, et al., 2004) und dem Niederschlag (ZAMG, 2012) abgeschätzten Grundwasserneubildungsraten [mm/Jahr] und der modellierten Grundwasserneubildungsrate [mm/Jahr]	18
Diagramm 3 Vergleich der gemessenen und simulierten Wasserstände [m.ü.A] aus dem stationären Modellkalibrationsschritt	20
Diagramm 4 Vergleich der gemessenen Wasserstände [m.ü.A] mit den simulierten Wasserständen [m.ü.A]	21
Diagramm 5 Vergleich der modellierten mit den gemessenen Wasserständen an den, die Bereich des Porengrundwasserkörpers repräsentierenden, Messstellen	21
Diagramm 6 Vergleich der errechneten Minima und Maxima der hydraulischen Durchlässigkeiten mit den modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten	24
Diagramm 7 Sensitivitätsanalyse der hydraulischen Durchlässigkeit anhand eines Vergleichs der gemessenen Grundwasserstände mit den modellierten Grundwassermessständen unter Anwendung der modellierten hydraulischen Durchlässigkeiten, nach Reduzieren der hydraulischen Durchlässigkeiten um den Faktor 2,05 beziehungsweise Reduzieren der hydraulischen Durchlässigkeiten um den Faktor 3,80 ..	25
Diagramm 8 Sensitivitätsanalyse der Grundwasserneubildungsrate anhand eines Vergleichs der gemessenen Grundwasserstände mit den modellierten Grundwassermessständen unter Anwendung der modellierten Grundwasserneubildung, nach Reduzieren der Grundwasserneubildung um den Faktor 2,05 beziehungsweise Reduzieren der Grundwasserneubildung um den Faktor 3,80	27
Diagramm 9 Vergleich der Wasserstände des Innpegel DS-Telfs-OH1 und der GW-Messstelle O-KB 09/12, parallele Entwicklung innerhalb des gemessenen Zeitraums	29
Diagramm 10 Vergleich der Wasserstände des Innpegel DS-Hatting 1 und der GW-Messstelle H-KB 07/11, variable Entwicklung innerhalb des gemessenen Zeitraums	29
Diagramm 11 Verlauf des gemessenen Sulfatgehalts, mit den deutlich erhöhten Werten an der Messstelle O-KB 01/11	31
Tabelle 1 Bezeichnung der Messstellen entsprechend der Position in den unterschiedlichen Gemeindegebieten.....	9
Tabelle 2 Randdaten des Modellgebiets+	11
Tabelle 3 Wertebereich des Leakagekoeffizienten (Hölting & Coldewey, 2013)	14
Tabelle 4 oberstromige und unterstromige Modellränder mit den aus dem eHYD entnommen Pegelständen	15
Tabelle 5 berechnete durchschnittliche Randzuflüsse.....	16
Tabelle 6 modellierte hydraulische Durchlässigkeiten (Nummerierung von West nach Ost)	19
Tabelle 7 berechnete Leakagefaktoren der wichtigsten Fließgewässer innerhalb des Projektgebiets	20
Tabelle 8 Wasserbilanz innerhalb des Modells mit den Anteilen der Zu- bzw. Abflüsse in Prozent	22

Anhang

Datum	Messort [m ab ROK]	Na [mg/l]	Cl [mg/l]	Nitrat [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Sulfat [mg/l]
F-KB 01/11	20						
19.09.2012		5.10	8.20	4.80	53.70	18.10	41.40
15.11.2012		4.90	8.40	4.90	50.10	17.60	42.30
05.02.2013		5.10	9.20	5.50	46.90	17.30	45.90
16.04.2013		5.40	9.40	5.20	55.70	18.60	47.30
F-KB 02/11	20						
19.09.2012		8.30	11.30	5.90	50.30	17.20	54.30
15.11.2012		7.40	11.30	7.20	49.40	17.00	51.70
05.02.2013		7.60	11.90	8.60	49.90	16.90	55.00
16.04.2013		8.10	12.50	7.80	58.70	18.20	54.90
F-KB 08/11	30						
19.09.2012		8.10	10.20	6.10	49.00	20.10	65.20
15.11.2012		7.80	9.40	6.00	54.20	19.60	64.20
05.02.2013		7.80	9.40	5.80	53.00	19.00	67.80
16.04.2013		7.90	9.60	5.60	60.20	20.10	68.20
F-KB 10/11	50						
19.09.2012		5.30	3.50	2.80	51.20	17.70	43.30
15.11.2012		4.90	3.20	2.20	49.70	17.60	44.20
05.02.2013		4.90	3.40	2.50	47.70	17.50	49.30
15.04.2013		5.10	3.50	2.50	53.50	18.20	44.10
F-KB 15a/11	40						
12.07.2012		6.00	8.10	3.90	48.70	18.50	58.40
21.08.2012		6.50	8.80	4.00	49.90	17.90	62.40
19.09.2012		6.10	9.00	4.10	52.10	20.20	65.80
14.11.2012		6.00	8.90	4.20	50.00	19.40	64.60
07.02.2013		5.90	9.10	4.40	51.50	19.40	66.90
16.04.2013		6.10	8.80	3.40	57.40	19.80	66.20
F-KB 17/11	20						
11.07.2012		8.40	10.80	10.60	60.90	18.50	44.70
19.09.2012		8.60	10.60	11.40	58.70	19.90	46.20
15.11.2012		7.80	10.30	11.80	63.20	20.00	45.60
05.02.2013		7.80	10.90	13.50	63.30	19.20	45.00
16.04.2013		7.90	11.40	13.10	67.90	21.00	45.90
F-KB 18/11	20						
11.07.2012		7.40	8.70	15.80	69.20	20.70	45.50
21.08.2012		7.10	9.30	15.60	67.60	20.80	48.00
19.09.2012		7.70	9.20	16.40	62.00	23.50	49.40
15.11.2012		7.20	8.10	16.60	81.40	22.30	45.40
05.02.2013		6.90	7.80	19.40	74.30	21.60	43.30
16.04.2013		7.00	8.50	20.00	80.40	23.40	45.70
F-KB 25/12	12						
16.04.2013		7.60	14.30	7.50	60.70	18.50	42.90
F-KB 25a/12	6						
13.11.2012		22.40	21.00	13.60	31.40	30.10	39.60
16.04.2013		7.80	13.00	16.30	73.00	21.00	41.60
F-KB 26a/12	6						
06.11.2012		12.40	13.60	18.70	57.60	25.40	43.50
16.04.2013		8.30	11.80	21.10	76.40	24.20	49.30
F-KB 26/12	15						
16.04.2013		9.00	14.00	15.00	57.70	20.00	43.40
F-KB 27/11	6.5						
14.11.2012		10.20	14.70	13.70	50.00	24.30	45.40
F-KB 28/11	7						
14.11.2012		11.00	13.50	15.50	50.80	21.60	41.60
F-KB 29/12	20						
16.04.2013		5.70	10.70	6.00	56.70	18.30	45.60
F-KB 30/12	20						
16.04.2013		7.90	13.30	8.60	59.80	18.00	50.20
H-KB 01/11	50						
20.09.2012		2.80	0.80	5.20	12.90	3.90	11.10
14.11.2012		2.60	0.70	4.90	14.10	3.50	7.70
07.02.2013		2.90	0.90	5.40	18.90	3.90	8.10
15.04.2013		2.90	0.90	5.60	12.60	3.70	7.60
H-KB 07/11	25						
11.07.2012		4.10	3.50	2.10	32.30	9.30	24.10
20.09.2012		6.00	9.90	6.40	50.60	2.90	39.90
14.11.2012		7.30	12.80	7.70	54.00	17.20	46.40
07.02.2013		9.60	18.40	9.80	60.70	18.70	49.30
16.04.2013		10.20	18.90	8.70	66.50	19.30	51.70
H-KB 09/11_01	10						
12.07.2012		31.60	44.90	3.60	70.00	19.50	28.90
21.08.2012		54.60	83.70	2.10	66.30	16.00	26.20
20.09.2012		54.60	75.60	1.60	70.70	18.30	24.80
14.11.2012		29.10	40.30	2.30	78.10	20.70	48.80
07.02.2013		79.70	103.30	3.20	57.90	14.20	37.30
16.04.2013		124.40	223.10	3.00	101.80	25.50	103.40
H-KB 09/11_02	25						
12.07.2012		18.10	13.30	1.40	245.60	70.10	755.50
21.08.2012		22.80	21.00	1.10	258.10	74.50	771.90
20.09.2012		13.80	1.60	0.02	316.30	104.00	1128.00
14.11.2012		13.10	1.50	0.02	331.70	100.90	1188.20
07.02.2013		13.10	1.70	0.02	342.50	99.40	1075.90
16.04.2013		13.20	1.70	-	340.70	100.60	1078.30
H-KB 15/11	25						
20.09.2012		6.50	7.80	4.50	53.80	19.40	54.30
14.11.2012		5.90	7.70	4.50	49.00	18.60	52.90
07.02.2013		6.20	8.80	4.70	50.70	18.80	55.40
15.04.2013		6.40	8.90	4.90	57.90	19.50	56.70
H-KB 16/11	25						
16.04.2013		7.70	10.50	15.70	85.90	24.00	45.70
H-KB 17/11	20						
20.09.2012		7.40	9.00	10.60	79.50	21.80	47.10
14.11.2012		7.10	8.90	10.30	80.90	21.90	44.50
07.02.2013		7.20	8.50	10.20	85.40	23.00	40.10

15.04.2013		7.20	8.60	10.30	81.50	23.80	38.80
H-KB 18/12_1	20						
16.04.2013		7.50	12.40	15.50	75.70	21.50	47.70
H-KB 18/12_2	45						
16.04.2013		7.70	9.30	7.90	62.50	22.50	84.90
J-KB 01/11	30						
20.09.2012		9.80	15.90	14.90	74.60	25.00	27.80
14.11.2012		9.40	16.10	14.50	71.10	24.50	23.70
07.02.2013		10.40	17.60	16.20	76.20	25.40	22.90
J-KB 02/11	20						
16.04.2013		7.40	10.80	13.80	71.70	22.00	48.30
J-KB 03/11	30						
14.11.2012		7.40	8.90	10.70	84.00	21.90	48.00
07.02.2013		7.40	9.20	11.90	81.80	22.80	47.40
15.04.2013		8.20	9.00	11.00	88.30	24.50	44.80
J-KB 05/11	20						
14.11.2012		7.20	9.30	7.90	89.10	24.30	46.30
07.02.2013		7.40	9.50	9.40	90.60	24.20	47.10
15.04.2013		7.87	9.30	11.80	100.70	26.90	41.60
J-KB 06/11	25						
12.07.2012		7.50	9.00	8.80	82.10	23.10	47.60
21.08.2012		7.80	10.10	10.20	82.20	24.10	49.10
20.09.2012		7.60	10.20	10.80	83.80	24.60	50.00
14.11.2012		7.00	9.40	10.80	79.40	22.50	48.50
07.02.2013		7.30	9.60	12.10	82.40	23.20	49.80
16.04.2013		7.60	9.40	12.60	87.50	24.30	48.40
J-KB 08/11_1	20						
16.04.2013		6.80	8.60	6.60	62.60	20.30	61.10
J-KB 08/11_2	45						
16.04.2013		7.20	7.80	5.60	66.60	23.20	93.10
O-KB 01/11	65						
21.08.2012		2.40	0.60	0.02	608.20	142.20	1958.40
20.09.2012		2.50	0.60	0.02	592.60	143.80	1915.20
15.11.2012		2.40	0.60	0.02	599.80	143.00	1916.60
07.02.2013		2.40	0.60	0.02	614.10	149.70	1862.80
16.04.2013		2.50	0.70	-	608.60	145.30	1876.60
O-KB 04/11	15						
19.09.2012		8.90	13.60	7.60	54.50	17.00	45.00
15.11.2012		8.30	13.40	7.00	51.90	16.30	38.60
05.02.2013		8.50	15.70	7.80	52.10	16.40	40.00
16.04.2013		9.70	15.40	8.20	64.20	18.30	44.80
O-KB 05/11	20						
19.09.2012		2.30	2.40	3.60	52.90	17.60	48.70
15.11.2012		2.00	2.40	3.50	52.00	17.20	47.00
05.02.2013		2.40	2.80	3.90	59.90	16.60	46.50
16.04.2013		2.20	2.90	4.10	60.30	18.00	46.30
O-KB 08/11	25						
19.09.2012		9.50	15.10	15.50	63.90	20.40	33.80
15.11.2012		9.30	14.60	16.90	64.90	20.40	32.60
05.02.2013		9.30	14.40	20.60	63.40	19.20	30.70
16.04.2013		9.80	14.00	20.40	73.50	21.70	31.40
O-KB 09/12	20						
11.07.2012		7.00	14.30	5.00	69.00	18.80	41.00
21.08.2012		7.10	16.50	5.40	50.20	29.70	21.20
19.09.2012		8.80	17.10	5.50	80.80	22.10	52.30
15.11.2012		8.90	15.50	6.20	80.30	21.90	48.40
05.02.2013		9.10	17.00	7.60	80.60	21.40	47.90
16.04.2013		8.00	17.00	7.90	93.10	24.40	47.30
O-KB 11/12	25						
19.09.2012		4.70	7.80	6.10	55.60	18.10	22.80
15.11.2012		4.50	5.60	6.70	59.10	18.00	19.90
05.02.2013		4.10	4.80	7.20	59.40	18.00	17.70
16.04.2013		3.80	5.10	6.70	66.60	19.50	17.20
O-KB 14/12	25						
16.04.2013		5.60	7.60	3.60	54.60	19.20	60.40
O-KB 15/12	30						
16.04.2013		3.00	2.00	0.10	54.20	20.10	35.50
O-KB 16/12	8						
16.04.2013		5.80	6.00	1.40	47.60	9.50	13.40
O-KB 17/12	25						
16.04.2013		9.60	12.10	3.70	59.10	20.00	95.00
O-KB 18/12	26						
16.04.2013		18.70	2.30	3.60	41.40	5.00	24.90
O-KB 18a/12	18						
16.04.2013		3.70	2.30	4.00	44.40	6.10	24.90
Pe-KB 07/11	20						
20.09.2012		6.40	13.60	7.00	110.40	35.70	183.50
13.11.2012		6.80	13.30	6.90	111.00	36.00	177.10
06.02.2013		7.20	13.00	6.80	119.30	38.30	195.70
17.04.2013		5.30	10.10	3.70	97.20	34.50	177.60
Pe-KB 08/11	25						
20.09.2012		2.30	2.40	3.50	49.20	17.40	36.70
13.11.2012		2.20	2.30	3.30	50.90	17.30	35.60
06.02.2013		2.30	2.60	3.60	51.50	17.70	38.90
17.04.2013		2.30	2.50	3.50	47.00	18.50	42.10
Pe-KB 09/11	55						
11.07.2012		0.80	0.50	0.02	52.90	30.80	19.60
21.08.2012		0.70	0.70	0.30	50.20	29.70	21.20
20.09.2012		0.60	0.30	0.10	49.80	33.10	21.20
13.11.2012		0.60	0.40	0.02	51.70	32.20	20.40
06.02.2013		0.60	0.40	0.02	53.50	32.20	20.10
15.04.2013		0.70	0.60	0.30	59.10	32.30	17.30
Pe-KB 11/11	15						
11.07.2012		5.00	8.00	5.20	86.20	24.30	106.60
21.08.2012		5.50	9.50	6.60	80.10	22.00	110.60
20.09.2012		5.20	10.30	5.50	89.20	26.80	123.10
13.11.2012		5.30	10.10	5.30	93.30	28.10	132.00
06.02.2013		5.60	10.10	5.90	94.70	29.50	151.10
16.04.2013		6.10	10.40	5.50	106.40	32.40	146.00

Pe-KB 13/11	25							
11.07.2012		4.60	6.00	3.30	45.70	17.80	36.10	
21.08.2012		6.10	10.40	3.60	47.80	17.30	38.80	
20.09.2012		3.90	4.70	3.60	50.80	18.90	39.50	
13.11.2012		3.40	4.40	3.30	50.50	18.80	38.90	
07.02.2013		3.70	4.80	3.60	48.30	18.90	40.70	
16.04.2013		3.50	4.30	3.50	54.50	19.50	40.00	
Pe-KB 15/11	25							
20.09.2012		8.70	15.70	6.80	99.80	36.60	121.20	
13.11.2012		8.90	14.60	6.30	92.80	35.80	99.80	
06.02.2013		8.50	16.30	6.90	90.00	34.90	77.70	
16.04.2013		7.70	8.60	6.00	67.60	22.40	93.30	
17.04.2013		8.30	14.90	6.90	91.20	35.90	64.60	
Pe-KB 17/11	10							
20.09.2012		3.60	3.20	3.00	47.30	19.60	42.90	
14.11.2012		20.70	39.50	4.40	64.10	20.30	42.00	
07.02.2013		3.40	2.80	2.70	48.60	19.40	48.00	
16.04.2013		11.00	18.70	16.40	81.10	27.10	23.10	
Pe-KB 17/11_2	45							
16.04.2013		4.80	4.70	3.10	62.50	20.70	50.50	
Pe-KB 24/11	20							
19.09.2012		4.80	6.00	4.10	49.50	20.60	53.20	
13.11.2012		4.20	5.50	3.30	48.60	19.60	48.70	
06.02.2013		4.30	5.00	3.40	49.90	19.70	48.80	
16.04.2013		4.10	4.50	3.30	55.30	20.00	50.70	
Pe-KB 31/11	25							
11.07.2012		5.30	8.80	3.10	67.60	33.10	39.40	
20.09.2012		2.60	4.00	2.10	65.00	34.50	30.30	
13.11.2012		2.20	3.30	1.80	63.70	33.90	27.00	
06.02.2013		2.10	3.40	1.90	65.50	34.20	25.00	
16.04.2013		3.90	6.10	3.70	73.50	35.70	32.70	
Pe-KB 34/11	30							
11.07.2012		12.70	18.70	4.20	52.90	17.10	40.90	
21.08.2012		11.70	16.80	4.40	49.50	16.20	42.00	
19.09.2012		6.70	9.40	4.50	48.10	17.60	47.40	
13.11.2012		7.10	11.30	4.10	51.00	17.60	45.30	
06.02.2013		10.60	22.20	4.50	54.90	18.70	47.90	
16.04.2013		12.60	24.50	4.60	63.20	20.60	52.80	
Pe-KB 35/11	20							
11.07.2012		11.50	11.90	17.40	238.70	81.90	591.70	
21.08.2012		11.40	12.30	17.10	251.30	85.50	598.10	
20.09.2012		10.90	13.30	17.90	242.00	89.60	596.50	
13.11.2012		10.10	10.50	14.80	232.00	86.10	609.50	
07.02.2013		10.80	12.70	0.07	237.00	82.30	541.90	
16.04.2013		12.20	14.10	24.00	240.30	84.60	555.50	
Pe-KB 37/11	30							
20.09.2012		2.60	1.90	1.90	246.40	79.70	714.40	
13.11.2012		2.40	1.70	1.30	246.70	77.50	709.40	
06.02.2013		2.60	2.00	3.70	267.70	75.50	660.20	
16.04.2013		2.50	1.90	-	270.50	75.90	687.40	
Pe-KB 37a/11	8							
20.09.2012		7.70	12.50	4.10	82.00	26.40	74.70	
13.11.2012		8.10	15.10	3.60	79.10	24.40	70.90	
06.02.2013		8.10	12.70	6.20	144.30	45.00	248.80	
16.04.2013		8.20	12.10	5.10	150.50	46.00	228.10	
Pe-KB 38/11	20							
20.09.2012		9.40	19.10	7.90	89.30	37.90	93.30	
13.11.2012		9.60	18.20	6.70	92.40	36.90	82.60	
06.02.2013		8.30	14.10	6.90	91.80	37.30	93.30	
16.04.2013		9.50	15.50	8.60	97.40	37.00	75.50	
Pe-KB 39/11	20							
19.09.2012		3.40	6.20	2.60	84.00	34.00	177.10	
14.11.2012		3.20	5.90	2.40	89.40	33.40	166.30	
07.02.2013		3.40	5.80	2.30	90.50	33.10	177.30	
16.04.2013		3.40	5.50	2.40	95.30	34.10	162.70	
Pe-KB 41/11	25							
16.04.2013		7.90	13.80	8.40	58.70	19.70	49.10	
Pe-KB 42/11	50							
12.07.2012		3.60	5.40	2.20	86.30	34.10	145.50	
21.08.2012		3.70	6.00	2.40	88.80	35.00	161.80	
19.09.2012		3.60	6.10	3.10	90.70	36.10	163.00	
14.11.2012		3.50	5.90	1.60	88.20	35.30	154.00	
07.02.2013		3.70	6.00	2.40	89.10	35.00	164.50	
16.04.2013		3.70	5.70	2.20	95.70	36.50	153.60	
Pe-KB 42a/11	15							
12.07.2012		6.00	10.20	3.20	78.00	25.80	91.00	
21.08.2012		5.60	9.40	3.10	73.30	21.80	92.50	
19.09.2012		5.00	9.30	3.40	75.90	26.30	105.30	
14.11.2012		4.80	8.70	3.50	70.90	24.50	96.80	
07.02.2013		4.70	8.00	3.80	68.90	23.60	94.90	
16.04.2013		5.20	8.20	4.40	77.60	25.40	93.40	
Pe-KB 43/11	15							
20.09.2012		9.10	13.90	0.50	87.50	25.70	70.20	
13.11.2012		8.50	15.90	0.20	88.90	26.90	62.70	
06.02.2013		10.30	24.80	1.90	112.90	35.20	73.80	
16.04.2013		12.70	2.50	0.04	134.10	44.20	82.00	
Pe-KB 45/12	20							
16.04.2013		6.70	8.20	5.20	61.60	21.00	72.10	
P-KB 02/11	20							
19.09.2012		8.60	11.60	11.40	64.80	21.30	48.40	
14.11.2012		8.30	10.80	11.50	67.40	22.00	46.00	
07.02.2013		8.00	10.60	13.30	67.60	20.00	45.40	
16.04.2013		8.10	11.30	13.80	61.90	21.20	45.00	
P-KB 03/11	10							
11.07.2012		9.30	2.50	1.90	208.50	62.80	652.30	
21.08.2012		9.00	2.50	1.90	241.00	64.90	693.10	
19.09.2012		9.70	1.50	0.10	259.90	88.40	908.60	
14.11.2012		9.40	1.40	0.02	276.00	88.30	952.70	
05.02.2013		9.30	1.40	0.02	291.70	85.60	898.20	

17.04.2013		9.00	2.20	0.80	260.30	80.60	783.30
P-KB 15/11	30						
19.09.2012		8.00	9.00	6.10	74.40	22.20	95.20
14.11.2012		7.40	8.70	6.20	61.90	21.10	91.80
05.02.2013		7.70	8.70	6.20	64.30	21.60	97.50
16.04.2013		7.70	8.60	6.00	67.60	22.40	93.30
P-KB 17/11	30						
19.09.2012		14.90	19.70	21.40	76.70	25.90	22.60
14.11.2012		13.40	20.60	24.30	77.00	26.40	20.70
07.02.2013		14.60	21.40	28.80	83.30	27.60	20.20
16.04.2013		11.00	18.70	16.40	81.10	27.10	23.10
T-KB 04/11	15						
20.09.2012		12.20	21.70	3.20	119.30	43.70	222.00
13.11.2012		11.00	17.90	2.70	119.40	44.00	225.90
06.02.2013		10.90	21.10	3.60	113.30	42.20	204.30
17.04.2013		11.00	19.70	3.20	94.50	44.00	196.20
T-KB 05/11_1	45						
20.09.2012		4.00	5.90	4.10	59.90	20.30	58.80
13.11.2012		2.90	4.30	3.60	59.30	19.00	55.30
06.02.2013		3.30	4.50	3.60	56.40	18.40	53.90
17.04.2013		3.10	3.80	3.70	62.80	18.80	52.20
T-KB 06/12	15						
11.07.2012		4.10	9.00	4.80	93.10	37.50	127.40
21.08.2012		3.60	6.50	3.80	79.20	15.20	49.60
20.09.2012		4.10	10.60	5.00	86.80	44.10	143.70
13.11.2012		4.00	10.20	4.60	97.00	42.50	137.70
06.02.2013		4.00	11.30	5.40	100.00	42.30	144.40
17.04.2013		4.00	12.30	5.90	85.30	44.10	134.30

Anhang 1 Daten der chemischen Analyse der Grundwässer (ARGE Innkraftwerk [4], 2014)

Bezeichnung	kf-Wert	Bezeichnung	kf-Wert	Bezeichnung	kf-Wert	
F-KB 01/11	7,05E-04	J-KB 01/11	2,06E-03	Pe-KB 13/11	1,73E-04	
F-KB 02/11	2,21E-04	J-KB 02/11	2,42E-03	Pe-KB 15/11	8,52E-04	
F-KB 03/11	1,87E-04	J-KB 03/11	5,39E-04	Pe-KB 16/11	3,27E-04	
F-KB 07/11	1,02E-04	J-KB 05/11	7,48E-04	Pe-KB 17/11	7,13E-04	
F-KB 08/11	1,41E-04	J-KB 06/11	6,99E-04	Pe-KB 18/11	1,80E-03	
F-KB 09/11	3,05E-04	J-KB 08/11	1,28E-03	Pe-KB 19/11	6,26E-03	
F-KB 10/11	1,01E-03	T-KB 03a/11	7,14E-03	Pe-KB 20/11	3,14E-04	
F-KB 13/11	3,52E-04	T-KB 04/11	2,45E-02	Pe-KB 21/11	5,02E-04	
F-KB 14a/11	1,14E-04	T-KB 05/11	1,87E-03	Pe-KB 22/11	1,66E-03	
F-KB 14b/11	4,06E-05	T-KB 06/12	9,44E-05	Pe-KB 23/11	5,30E-04	
F-KB 15a/11	3,72E-05	H-KB 01/11	1,62E-05	Pe-KB 24/11	1,66E-03	
F-KB 16/11	7,09E-05	H-KB 07/11	6,47E-04	Pe-KB 25/11	8,41E-04	
F-KB 17/11	1,39E-03	H-KB 08/11	8,59E-04	Pe-KB 31/11	2,86E-04	
F-KB 18/11	7,04E-04	H-KB 09/11	5,15E-04	Pe-KB 32/11	1,38E-04	
F-KB 19/11	1,13E-03	H-KB 15/11	3,21E-03	Pe-KB 33/11	3,07E-04	
F-KB 25/12	1,62E-04	H-KB 16/11	2,72E-03	Pe-KB 34/11	2,66E-04	
F-KB 26/12	1,88E-04	H-KB 17/11	4,98E-04	Pe-KB 37a/11	2,36E-04	
F-KB 29/12	1,03E-03	H-KB 18/12	1,44E-03	Pe-KB 38/11	3,68E-04	
F-KB 30/12	1,98E-03	P-KB 01/11	5,12E-04	Pe-KB 39/11	7,67E-05	
O-KB 01/11	1,07E-05	P-KB 02/11	7,75E-04	Pe-KB 41/11	3,67E-03	
O-KB 01a/11	2,84E-03	P-KB 03/11	1,13E-03	Pe-KB 42/11	1,12E-06	
O-KB 03/11	4,87E-03	P-KB 04/11	3,90E-04	Pe-KB 42a/11	3,64E-05	
O-KB 04/11	5,41E-04	P-KB 06/11	2,10E-04	Pe-KB 43/11	1,49E-04	
O-KB 05/11	1,79E-03	P-KB 07/11	4,99E-04	Pe-KB 44a/12	4,71E-04	
O-KB 06/11	2,07E-03	P-KB 08/11	3,70E-04	Pe-KB 45/12	2,04E-03	
O-KB 08/11	5,43E-04	P-KB 15/11	4,74E-04			
O-KB 09/12	2,32E-03	P-KB 16/11	1,10E-03		Filterstrecke im Festgestein	
O-KB 10/12	2,34E-03	P-KB 17/11	2,50E-03	F-KB 14/11	5,50E-07	Quarzphyllit
O-KB 11/12	1,41E-03	Pe-KB 06/11	4,85E-04	F-KB 20/11	1,79E-07	Quarzphyllit
O-KB 14/12	2,55E-03	Pe-KB 07/11	4,17E-04	O-KB 18/12	2,57E-06	Chloritschiefer
O-KB 15/12	2,28E-03	Pe-KB 08/11	1,07E-03	Pe-KB 09/11	1,56E-07	Dolomit
O-KB 16/12	1,16E-03	Pe-KB 10/11	1,26E-02	Pe-KB 35/11	4,63E-06	Dolomit
O-KB 17/12	2,51E-03	Pe-KB 11/11	1,28E-03	Pe-KB 37/11	8,28E-07	Dolomit
O-KB 18a/12	1,07E-04	Pe-KB 12/11	1,23E-03	Pe-KB 44/12	3,92E-07	Dolomit
				T-KB 03/11	2,39E-07	Dolomit

Anhang 2 hydraulische Durchlässigkeiten, errechnet aus Pumpversuchen berechnet anhand der Dupuit-Thiem Gleichung (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)

Legende:

Postglaziale, alluviale Talfüllung des Innntals

-  Anthropogene Anschildung
-  Hangschutt, Verwitterungsmaterial
-  Schwemmflächer
-  Fluviatile Sedimente (Innschotterfazies)
-  Fluviatile Sedimente Verzahnungsbereich
-  Braunsand (Sand-) fazies
-  Grausand (Sand-Schluff-) fazies
-  Schluff-/ Tonfazies

- Pleistozäne Innalterrasse - Deltasedimente randlicher Zuflüsse in Verzahnung mit Innsedimenten
-  Sediment der (Eis-)Randerasse, Murensedimente innerhalb der Innalterrasse, verschwemmte Moräne
 -  Grundmoräne
 -  (Lokal-) Moräne mit reichlich kristallinem Material (Würm, Spätglazial und Postglazial)
 -  Sande innerhalb der Innalterrassensedimente (Mehlsand des Inns, kiesiger Sand)
 -  Toniges Sediment, Bänderton von Inzing
 -  Innkies
 -  Sediment der (Eis-)Randerasse, Deltasedimente innerhalb der Innalterrasse, spätglazialer Kies, lokal fluviatiler Kies

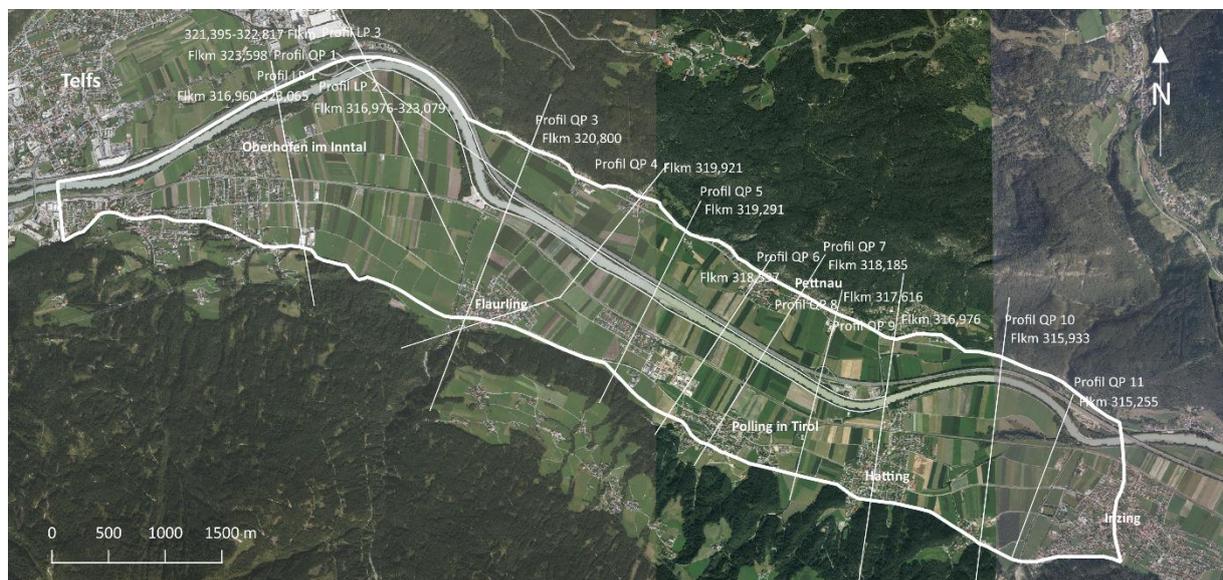
Grundgebirge (Kalkalpin, Kristallin)

-  Hauptdolomit - nicht gegliedert
-  Raibler Schichten (Kalk, Dolomit, Schieferen, Sandstein, nicht gegliedert)
-  Granatglimmerschiefer
-  Zweiglimmeraugsneis
-  vermutetes Einfallen der Schieferung und Schichtung
-  scheinbares Einfallen der Schieferung (projiziert - Daten aus Kartierung)

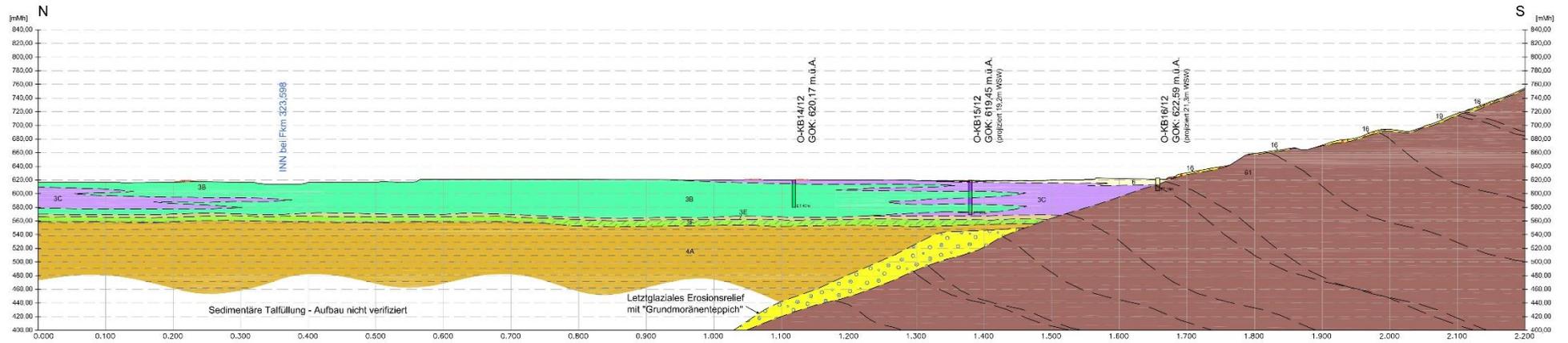
Diverse Zeichen

-  Bohraufschluss
-  geologische Interpretation
-  Schichtgrenzen bekannt
-  Schichtgrenzen interpretiert
-  ET Endteufe

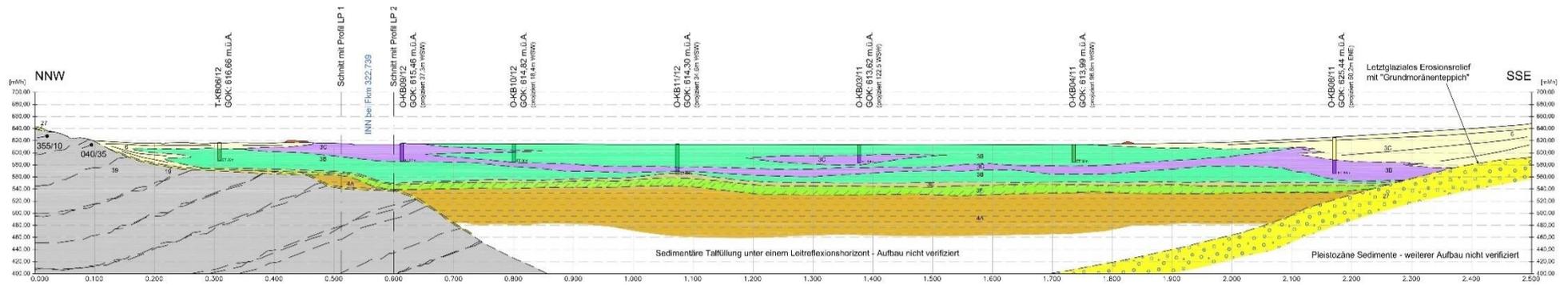
Anhang 3 Legende zu den geologischen Profilschnitten (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



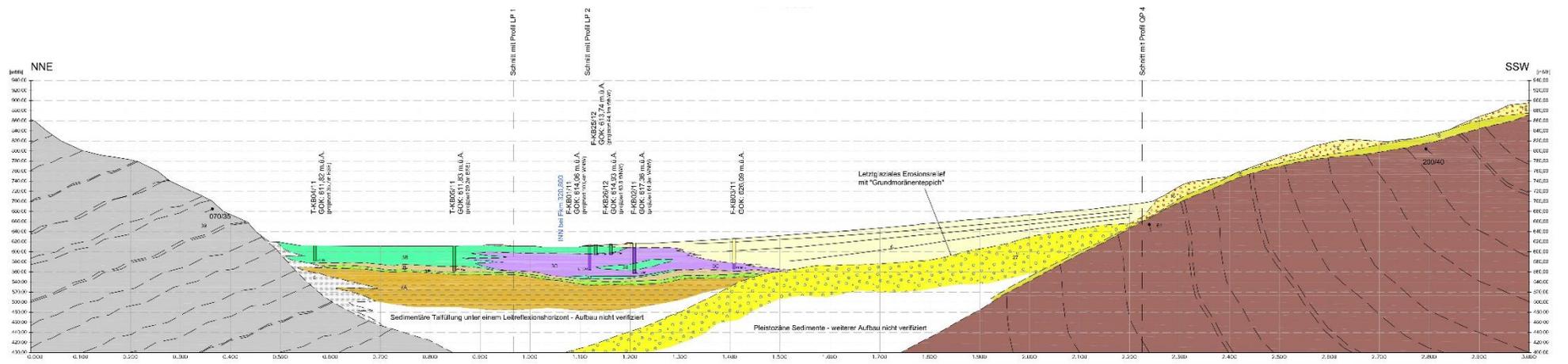
Anhang 4 Lage der Profilschnitte, die Nummerierung gilt sowohl für die geologischen als auch für die hydrogeologischen Profilschnitte (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



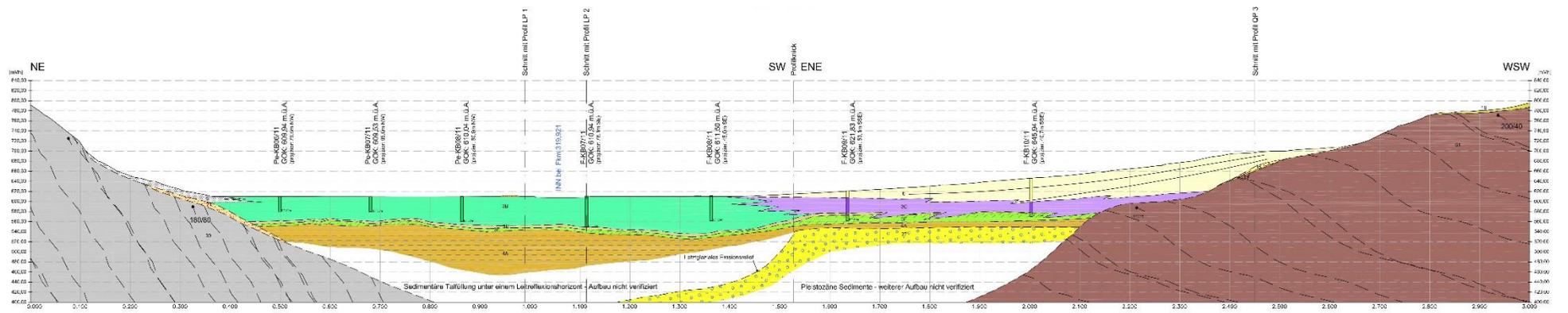
Anhang 5 QP1 - Fkm. 323,598 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



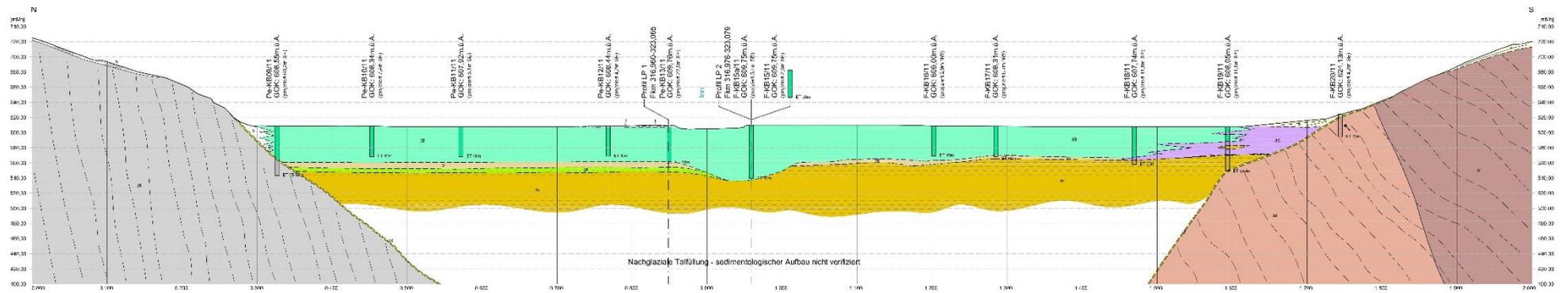
Anhang 6 QP2 - Fkm. 322,739 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



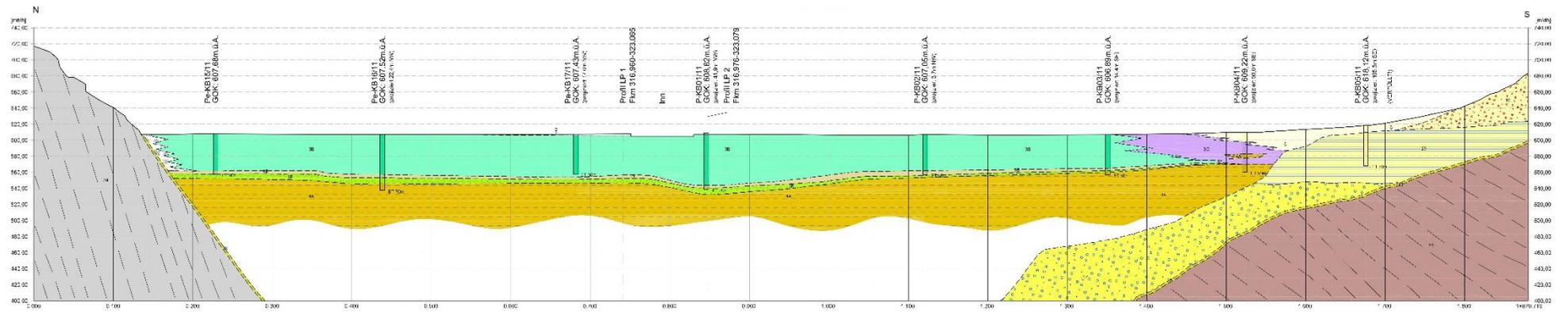
Anhang 7 QP3 - Fkm. 320,800 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



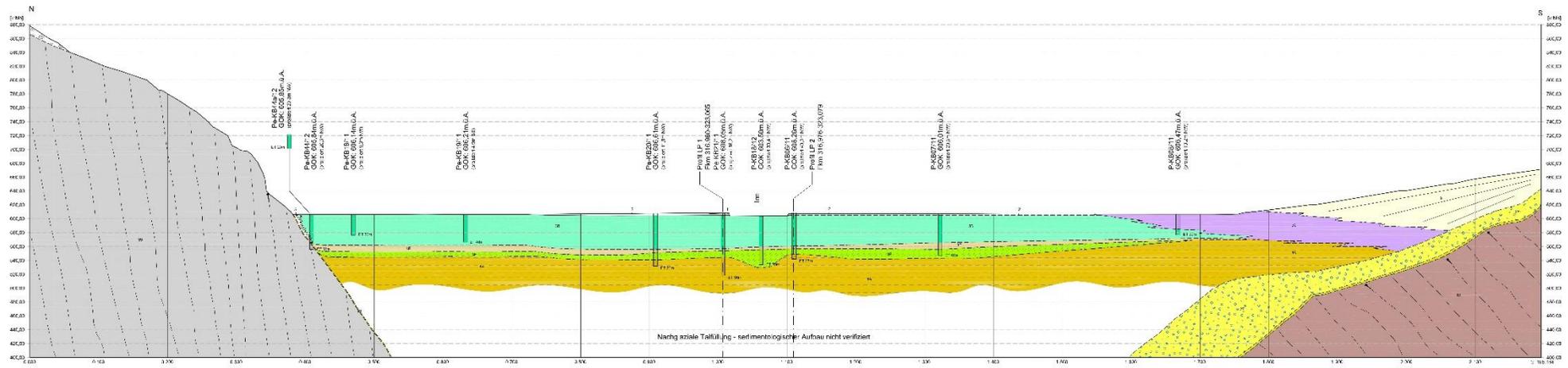
Anhang 8 QP4 - Fkm. 319,921 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



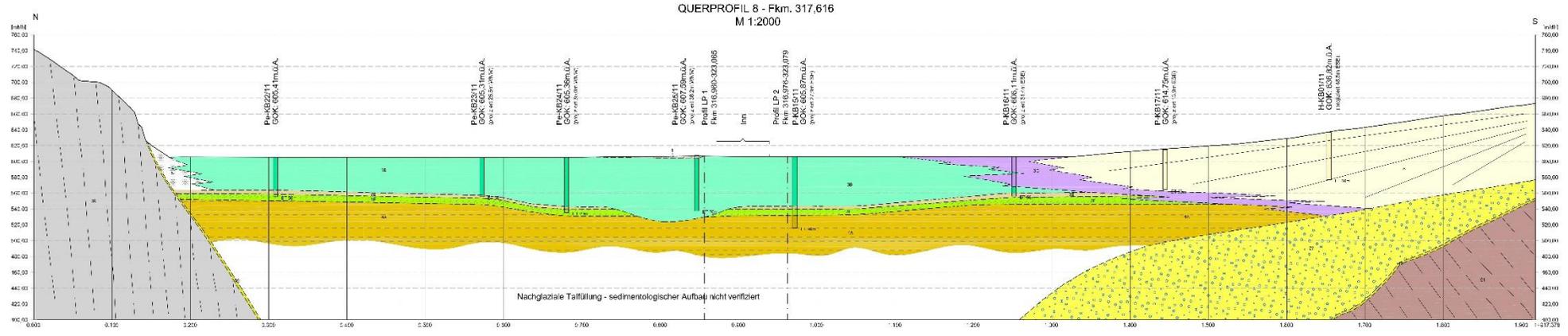
Anhang 9 QP5 - Fkm. 319,291 – M 1:2000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



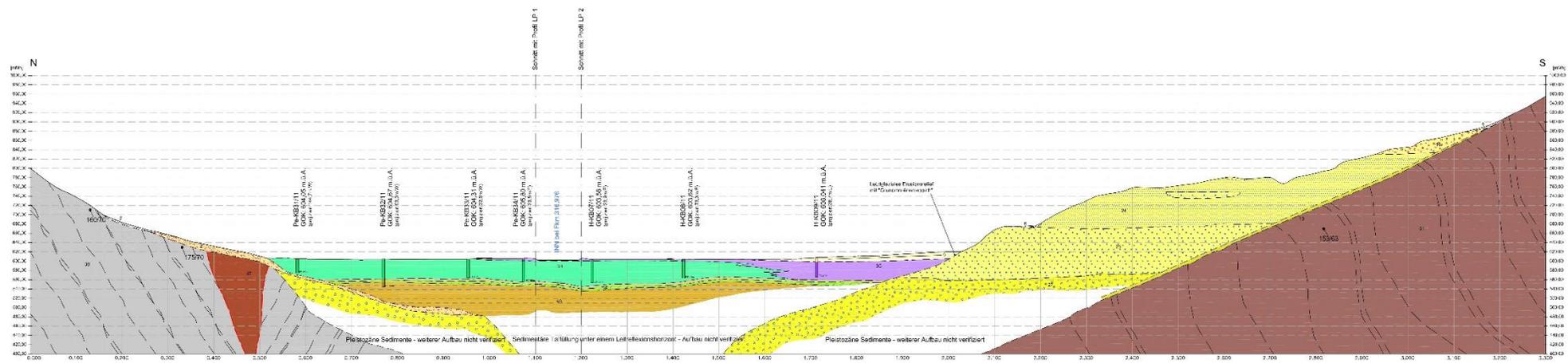
Anhang 10 QP6 - Fkm.318,597 – M 1:2000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



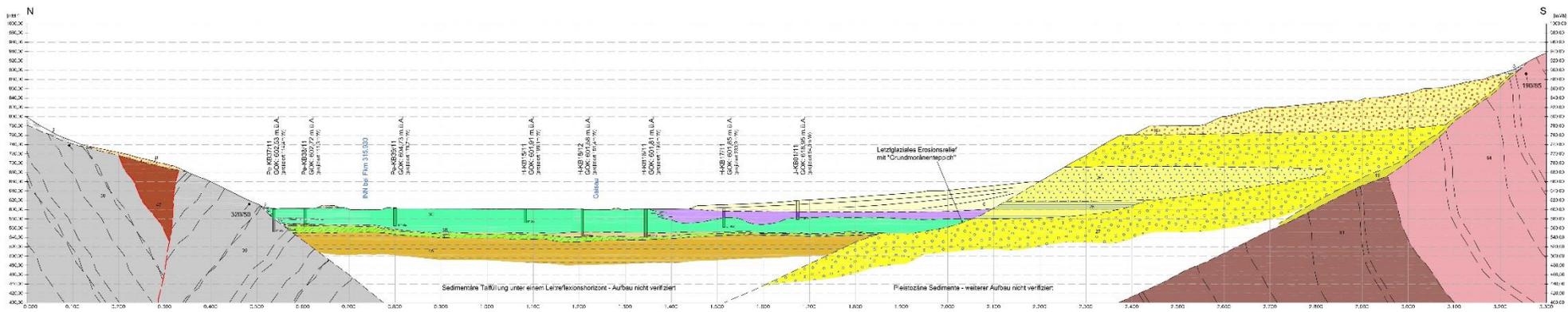
Anhang 11 QP7 - Fkm. 318,185 – M 1:2000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



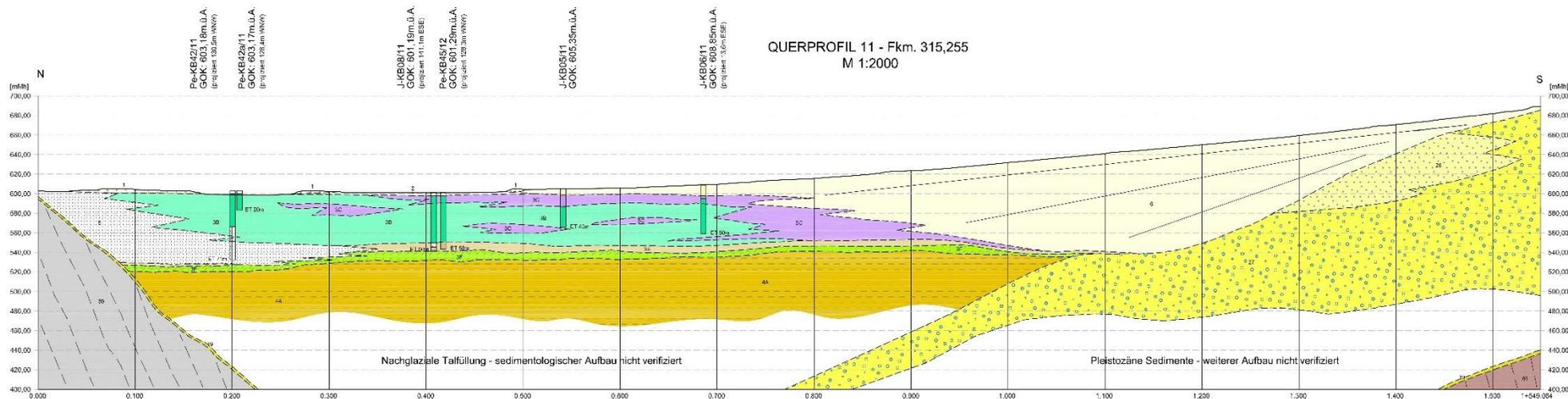
Anhang 12 QP8 - Fkm. 317,616 – M 1:2000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



Anhang 13 QP9 – Fkm. 316,976 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)

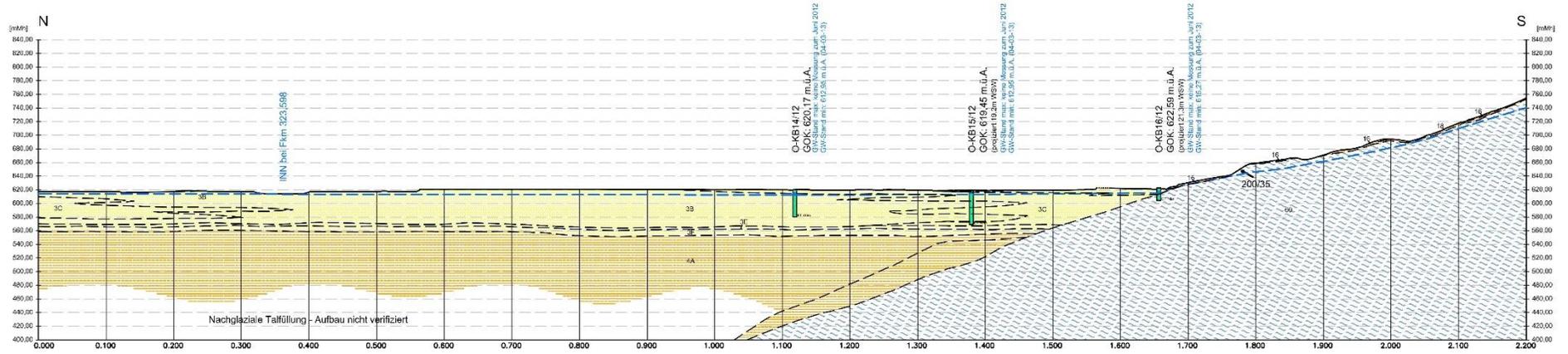


Anhang 14 QP10 – 315,933 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)

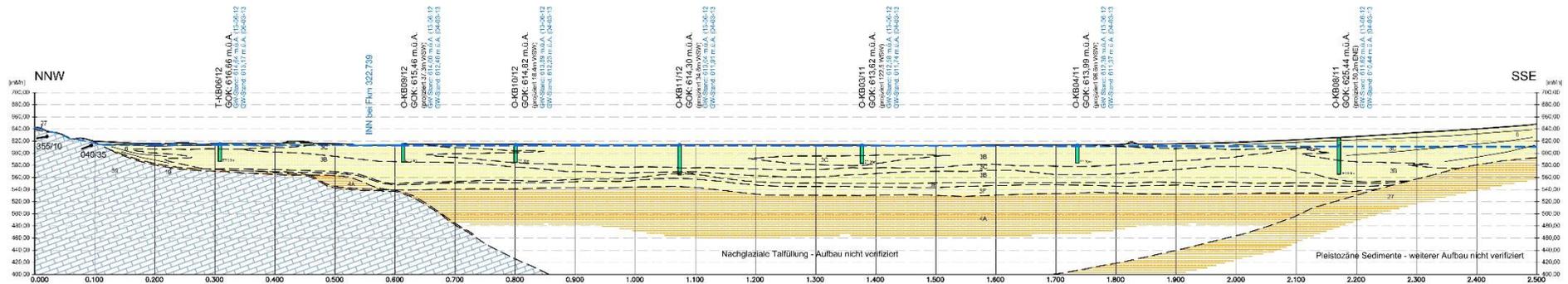


Anhang 15 QP11 – Fkm. 315,255 – M 1:2000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)

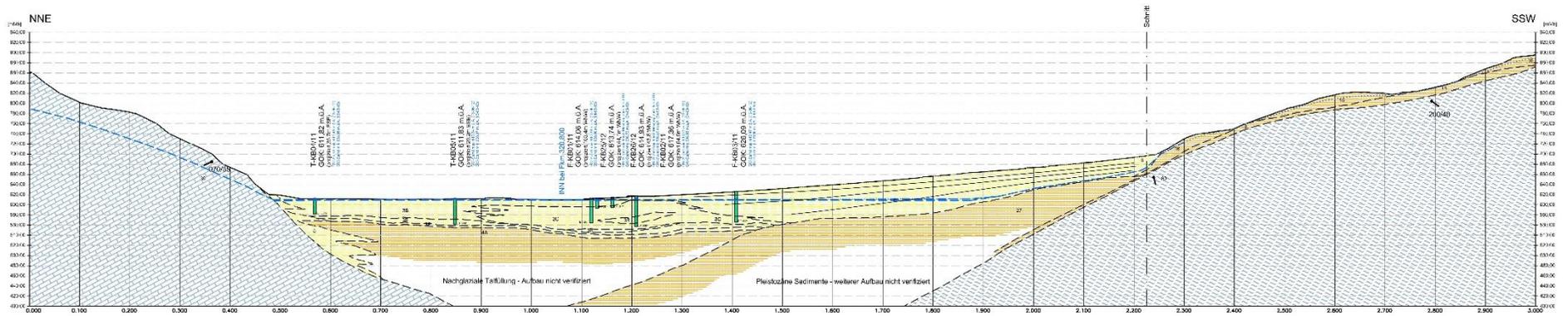
Anhang 16 Legende zu den hydrogeologischen Profilschnitten (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



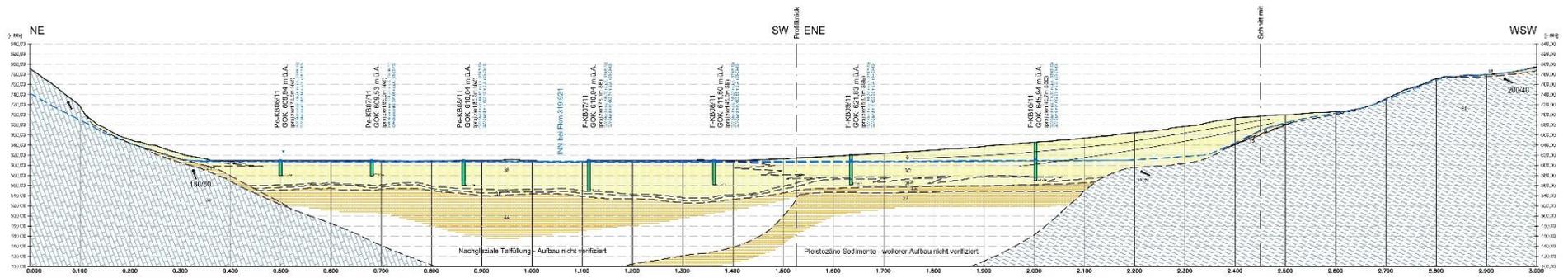
Anhang 17 hydrogeologisches QP1 – Fkm. 323,598 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



Anhang 18 hydrogeologisches QP2 – Fkm. 322,739 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



Anhang 19 hydrogeologisches QP3 – Fkm. 320,800 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)



Anhang 20 hydrogeologisches QP4 – Fkm. 319,921 – M 1:5000 (ARGE Innkraftwerk [1], 2014)

