



# Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

**„Anwendung geostatistischer Methoden zur  
Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit im  
Bereich Koppl bei Salzburg“**

vorgelegt von

**Dipl.-Geow. Kathrin Müggenburg**

104382, UNIGIS MSc Jahrgang 2016

Betreuer/in:

Assoz. Professor Hermann Klug

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Salzburg, 15.03.2020

## **Sperrvermerk**

**Die in dieser Masterarbeit verwendeten hydrochemischen Analysedaten wurden mit Zustimmung der Anrainer erhoben und verwendet, sollen aber nicht allgemein verfügbar gemacht werden. Desweiteren wurden Daten aus dem Salzburger Baugrundkataster verwendet, welche den Nutzungsbedingungen des Landes Salzburg (SAGIS) unterliegen. Diese Daten dürfen auszugsweise bzw. vereinfacht und soweit möglich anonymisiert genutzt und dargestellt werden.**

**Aus den genannten Gründen darf diese Arbeit Dritten, mit Ausnahme der betreuenden Dozenten und befugten Mitgliedern des Prüfungsausschusses ohne ausdrückliche Zustimmung aller Anrainer, des Landes Salzburg und des Verfassers nicht zugänglich gemacht werden. Eine Vervielfältigung und Veröffentlichung der Masterarbeit ohne ausdrückliche Genehmigung – auch in Auszügen – ist nicht erlaubt.**

## Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Assoz. Prof. Dr. Hermann Klug, Leiter der AG Landschaftslabor, für das Thema der Arbeit, die Betreuung und Unterstützung in den letzten drei Jahren sowie die Möglichkeit, an Geländeexkursionen teilzunehmen um das Landschaftslabor kennenzulernen.

Ich danke dem UniGIS-Team für die Organisation und Abwicklung des gesamten Studiums, für die Betreuung und Beantwortung von allen angefallenen Fragen. Ich danke allen Dozenten für die spannenden Module und Themen sowie die fachliche, extrem zeitnahe und intensive Betreuung. Ich würde das UniGIS-Studium jederzeit wiederholen und weiterempfehlen!

Ich bedanke mich bei meinem Arbeitgeber GEOCONSULT ZT GmbH und den Kollegen für die Unterstützung und die Möglichkeit, dieses Studium nebenberuflich durchzuführen. Auch wenn die Daten schlussendlich nicht in die Arbeit eingeflossen sind, bedanke ich mich, dass ich die Isotopenanalysen im IsoLab durchführen durfte. Bei Birgit Asböck-Fritzer und Franz Weichenberger bedanke ich mich für die fachliche Unterstützung hinsichtlich hydrochemischer Auswertungen.

Der ESW CONSULTING WRUSS ZT GmbH, namentlich Hr. Michael Kochberger, danke ich dafür, dass sie die hydrochemischen Analysen durchgeführt und mir bei Fragen zu den Prüfberichten geholfen haben.

Meiner Familie, v. a. meinen Eltern, den Eltern meines Verlobten und meinen Freunden danke ich ebenfalls für die Unterstützung in den letzten Jahren, die Geduld und das Verständnis, dass nicht immer Zeit für Treffen und Heimreisen war.

Meinem Verlobten Günther Pachler danke ich für seine Geduld und Verständnis, ein nebenberufliches Studium zu absolvieren, die kurzen Urlaube und langen Abende alleine, weil ich über Lernunterlagen saß, seine durchgängige Unterstützung und fachliche Zweitmeinung, das Korrekturlesen der diversen Berichte und Unterstützung bei den regelmäßigen Geländetätigkeiten. *„Jetzt bist Du fast schon selber Hydrogeologe. Es hat sich ausgelernt - ab jetzt gehen keine Unterlagen mehr mit in den Urlaub!“*

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Kathrin Müggenburg, die vorliegende Master Thesis selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt zu haben. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Salzburg, 15.03.2020

Dipl.-Geow. Kathrin Müggenburg

## Kurzfassung

Basierend auf einem 2017/18 eigenständig durchgeführten hydrogeologischen Monitoringprogramm wurde mittels deskriptiver und explorativer Statistik die Verteilung der hydrogeologischen und hydrochemischen Daten untersucht und beurteilt. Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse wurden aus diesem Datensatz 3 neue, erklärende Faktoren erarbeitet, die 77 % der Varianz erklären. Faktor 1 fasst dabei die für kalkalpine Gebiete typischen Prozesse zusammen und enthält die Parameter el. Leitfähigkeit, Calcium, Hydrogencarbonat, Gesamt- und Carbonathärte. Faktor 2 symbolisiert den anthropogenen Einfluss in Form der Parameter Natrium und Chlorid. Faktor 3 zeigt Bereiche im Untersuchungsraum mit erhöhtem dolomitischen Gesteinsanteil im Einzugsgebiet. Diese Faktoren wurden als Grundlage für die Erstellung experimenteller Variogrammodelle herangezogen. Im letzten Schritt wurden mit Ordinary Kriging aus den punktuellen Daten flächendeckende Informationen hinsichtlich Einzugsgebiet und Verteilung abgeleitet.

**Schlagwörter:** Deskriptive und Explorative Datenanalyse, Hydrochemie, Hauptkomponentenanalyse, Variographie, Ordinary Kriging, Koppl, Salzburg

## Abstract

Based on a hydrogeological monitoring program carried out independently in 2017/18, the distribution of the hydrogeological and hydrochemical data was examined and assessed with descriptive and exploratory statistics. Using principal component analysis, three new explanatory factors were elaborated from this data set, which explain 77% of the variance. Factor 1 summarizes the processes typical for calcareous areas and contains the parameters electrical conductivity, calcium, bicarbonate, total and carbonate hardness. Factor 2 symbolizes the anthropogenic influence in the form of the parameters sodium and chloride. Factor 3 shows areas with increased dolomitic rock content in the catchment area. These factors were used as the basis for the creation of experimental variogram models. In the last step, with ordinary kriging, comprehensive information regarding the catchment area and distribution was derived from the selective data.

**Keywords:** Descriptive and Explorative Data Analysis, Hydrochemistry, Principal Component Analysis, Variography, Ordinary Kriging, Koppl, Salzburg

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sperrvermerk .....</b>                                            | <b>2</b>  |
| <b>Danksagung .....</b>                                              | <b>3</b>  |
| <b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>                                | <b>4</b>  |
| <b>Kurzfassung.....</b>                                              | <b>5</b>  |
| <b>Abstract.....</b>                                                 | <b>5</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                      | <b>6</b>  |
| <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>                                    | <b>8</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                                     | <b>11</b> |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                   | <b>14</b> |
| <b>1     <b>Einleitung</b> .....</b>                                 | <b>15</b> |
| 1.1    Motivation .....                                              | 15        |
| 1.2    Forschungsfrage .....                                         | 18        |
| <b>2     <b>Untersuchungsgebiet</b> .....</b>                        | <b>20</b> |
| 2.1    Studiengebiet .....                                           | 20        |
| 2.1.1   Geographische Einordnung .....                               | 20        |
| 2.1.2   Geologischer Überblick.....                                  | 21        |
| 2.1.3   Klima .....                                                  | 23        |
| 2.1.4   Gewässer.....                                                | 24        |
| 2.2    Datenbasis.....                                               | 25        |
| 2.3    Messprogramm .....                                            | 25        |
| 2.3.1   Allgemein .....                                              | 25        |
| 2.3.2   Hydrogeologische Kartierung und Beweissicherung .....        | 26        |
| 2.4    Datenverwaltung und Programme .....                           | 29        |
| <b>3     <b>Methodik und Grundlagen der Untersuchungen</b> .....</b> | <b>30</b> |
| 3.1    Physikalische und hydrochemische Grundlagen .....             | 30        |
| 3.1.1   Physikalische Parameter .....                                | 30        |
| 3.1.2   Hydrochemische Parameter .....                               | 32        |
| 3.2    Grundlagen der Statistik .....                                | 41        |
| 3.2.1   Deskriptive und Explorative Statistik.....                   | 41        |
| 3.2.2   Verteilungsformen .....                                      | 45        |
| 3.3    Multivariate Statistik .....                                  | 46        |

|                 |                                                                                                                |            |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.1           | Korrelationskoeffizient.....                                                                                   | 46         |
| 3.3.2           | Hauptkomponentenanalyse.....                                                                                   | 47         |
| 3.4             | Geostatistik .....                                                                                             | 49         |
| 3.4.1           | Allgemeines .....                                                                                              | 49         |
| 3.4.2           | Variographie .....                                                                                             | 49         |
| 3.4.3           | Kriging.....                                                                                                   | 54         |
| <b>4</b>        | <b>Auswertung und Ergebnisse.....</b>                                                                          | <b>58</b>  |
| 4.1             | Physikalische Parameter .....                                                                                  | 58         |
| 4.1.1           | Fließgewässer .....                                                                                            | 58         |
| 4.1.2           | Quellen .....                                                                                                  | 72         |
| 4.1.3           | Grundwassermessstelle.....                                                                                     | 78         |
| 4.1.4           | Teiche, Drainagen.....                                                                                         | 80         |
| 4.1.5           | Verteilung der el. Leitfähigkeiten.....                                                                        | 81         |
| 4.2             | Hydrochemische Parameter .....                                                                                 | 82         |
| 4.3             | Hauptkomponentenanalyse.....                                                                                   | 88         |
| 4.4             | Variographie und Kriging.....                                                                                  | 92         |
| 4.5             | Eignung des Datensatzes .....                                                                                  | 111        |
| 4.5.1           | Faktorwerte aus Hauptkomponentenanalyse .....                                                                  | 111        |
| 4.5.2           | Elektrische Leitfähigkeiten bei Niedrig- und Hochwasserabfluss .....                                           | 113        |
| <b>5</b>        | <b>Diskussion.....</b>                                                                                         | <b>116</b> |
| <b>6</b>        | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>                                                                      | <b>128</b> |
| <b>7</b>        | <b>Literatur.....</b>                                                                                          | <b>130</b> |
| <b>Anhang 1</b> | <b>Geologische Übersichtskarte mit Messorten der hydrogeologischen Kartierung.....</b>                         | <b>135</b> |
| <b>Anhang 2</b> | <b>Geologische Übersichtskarte mit Wasserständen aus Bohrprofilen (Baugrundkataster (LAND SALZBURG)) .....</b> | <b>136</b> |
| <b>Anhang 3</b> | <b>Auszüge aus der Digitalen Bodenkarte eBod .....</b>                                                         | <b>137</b> |
| <b>Anhang 4</b> | <b>Vor-Ort-Messungen.....</b>                                                                                  | <b>139</b> |
| <b>Anhang 5</b> | <b>Hydrochemische Analyse .....</b>                                                                            | <b>146</b> |
| <b>Anhang 6</b> | <b>Hydrogeologische Kartierung .....</b>                                                                       | <b>147</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Geographische Einordnung des Untersuchungsraums (Überblick).....                                                                                                                                           | 20 |
| Abbildung 2: Überblick über die Geländehöhen im Untersuchungsraum.....                                                                                                                                                  | 21 |
| Abbildung 3: Geologische Übersichtskarte, digitalisiert im Zuge der vorliegenden Masterarbeit auf Basis der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 64 Straßwalchen (GBA) mit Baugrunderkennung (LAND SALZBURG) .....         | 22 |
| Abbildung 4: Überblick über die Bodenarten, Auszug aus Bodenkataster „eBod“ (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT) .....                                                     | 23 |
| Abbildung 5: Überblick über den Untersuchungsraum mit Fließgewässern.....                                                                                                                                               | 25 |
| Abbildung 6: Ergebnis der hydrogeologischen Kartierung .....                                                                                                                                                            | 27 |
| Abbildung 7: Schematische Darstellung des Einflusses der Überlagerung der anthropogenen Einträge und natürlichen Einflüsse auf die Konzentrationsverteilung der beeinflussten Parameter (aus KUNKEL et al. (2004))..... | 33 |
| Abbildung 8: pH-Abhängigkeit der Häufigkeit der Carbonatspezies (WISOTZKY (2011)).....                                                                                                                                  | 39 |
| Abbildung 9: Piper-Diagramm mit Klassifikation der österreichischen Wassertypen (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017)).....                                             | 39 |
| Abbildung 10: Whisker-Boxplot zeigt graphisch die wichtigsten Streuungsmaße .....                                                                                                                                       | 45 |
| Abbildung 11: Semivariogramm aus ESRI ArcMap .....                                                                                                                                                                      | 51 |
| Abbildung 12: Graphische Darstellung der Begrifflichkeiten im Semivariogramm-Modell .....                                                                                                                               | 52 |
| Abbildung 13: Übersichtskarte der Messorte am Plainfelderbach .....                                                                                                                                                     | 58 |
| Abbildung 14: Versickerung des Plainfelderbachs zwischen Messort 2 und 3 im Oktober 2018.....                                                                                                                           | 59 |
| Abbildung 15: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Messorte Plainfelderbach .....                                                                                | 60 |
| Abbildung 16: Plainfelderbach – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                                                                                                             | 61 |
| Abbildung 17: Plainfelderbach – Boxplots für Abfluss, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                                                                                                       | 62 |
| Abbildung 18: Übersichtskarte der Messorte der Zubringer des Plainfelderbachs .....                                                                                                                                     | 63 |
| Abbildung 19: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Messorte Tiefenbach .....                                                                                     | 63 |
| Abbildung 20: Seitenzubringer Plainfelderbach – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                                                                                             | 67 |
| Abbildung 21: Seitenzubringer Plainfelderbach – Boxplots für Abfluss, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                                                                                       | 67 |
| Abbildung 22: Übersichtskarte der Messorte des Rettenbach-Weißenbach.....                                                                                                                                               | 68 |
| Abbildung 23: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Messorte Rettenbach-Weißenbach .....                                                                          | 69 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 24: Rettenbach-Weißenbach – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                              | 71 |
| Abbildung 25: Rettenbach-Weißenbach – Boxplots für Abfluss, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                        | 72 |
| Abbildung 26: Übersichtskarte der Messorte der Quellen.....                                                                                    | 73 |
| Abbildung 27: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Quelle Schmitzberger (25) .....      | 74 |
| Abbildung 28: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Quelle Neumayr (16).....             | 75 |
| Abbildung 29: Quellen – Boxplots für Schüttung, el. Leitfähigkeit u. Wassertemperatur.....                                                     | 77 |
| Abbildung 30: Quellen – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur ....                                                            | 77 |
| Abbildung 31: Übersichtskarte der Messorte der Grundwassermessstelle, Teiche und Drainagen .....                                               | 78 |
| Abbildung 32: Ganglinien für Abstich (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Grundwassermessstelle Meindlbauer..... | 78 |
| Abbildung 33: Grundwassermessstelle – Boxplots für Abstich, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                        | 79 |
| Abbildung 34: Teiche und Drainagen – Boxplots für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur.....                                                  | 80 |
| Abbildung 35: Verteilung el. Leitfähigkeit (Vor-Ort-Messungen Juli 2018).....                                                                  | 81 |
| Abbildung 36: Verteilung el. Leitfähigkeit (Vor-Ort-Messungen Dezember 2018).....                                                              | 82 |
| Abbildung 37: Piper- und Schöller-Diagramm der Analytik Dezember 2018 (Piper: obere Graphik, Schöller: untere Graphik).....                    | 83 |
| Abbildung 38: Boxplots für Probenahme Dezember 2018.....                                                                                       | 87 |
| Abbildung 39: Sphärizitätstest nach Bartlett und KMO-Kriterium.....                                                                            | 89 |
| Abbildung 40: 2D-Plot (links) und Biplot (rechts) der Faktorwerte der Beobachtungen nach Varimax-Rotation .....                                | 91 |
| Abbildung 41: Prediction Map mit Standardeinstellungen (Tabelle 34) für Faktor D1.....                                                         | 94 |
| Abbildung 42: Prediction Map mit Standardeinstellungen (Tabelle 34) für Faktor D2.....                                                         | 94 |
| Abbildung 43: Prediction Map mit Standardeinstellungen (Tabelle 34) für Faktor D3.....                                                         | 95 |
| Abbildung 44: Trendanalysen für Faktor D1 (oben links), D2 (unten links) und D3 (unten rechts).....                                            | 96 |
| Abbildung 45: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für Faktor D1 (oben links), D2 (oben rechts) und D3 (unten links).....                            | 97 |
| Abbildung 46: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für Faktor D2.....                                                                                | 97 |
| Abbildung 47: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für Faktor D1 mit Richtungsabhängigkeiten .....                                                   | 97 |
| Abbildung 48: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für D2 (oben) und D3 (unten) mit Richtungsabhängigkeiten.....                                     | 98 |
| Abbildung 49: Angepasstes Variogrammodell für Faktor D1 – Spherical (oben) und Hole effect (unten) .....                                       | 99 |

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 50: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                  | 100 |
| Abbildung 51: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                 | 101 |
| Abbildung 52: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Spherical“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                    | 101 |
| Abbildung 53: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Spherical“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                   | 102 |
| Abbildung 54: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Gaussian“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                     | 103 |
| Abbildung 55: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Gaussian“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                    | 104 |
| Abbildung 56: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                  | 104 |
| Abbildung 57: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                 | 105 |
| Abbildung 58: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Circular“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                     | 106 |
| Abbildung 59: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Gaussian“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                     | 107 |
| Abbildung 60: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Exponential“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                 | 107 |
| Abbildung 61: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....                                 | 108 |
| Abbildung 62: Prediction Map für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) mit Modelltyp „Gaussian“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....            | 109 |
| Abbildung 63: Prediction Map für Hochwasserabfluss (Dezember 2018) mit Modelltyp „Exponential“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler .....        | 111 |
| Abbildung 64: Geologische Übersichtskarte mit Lage der Bohrungen und Angabe der angetroffenen Lithologien (vereinfacht) gemäß Baugrundkataster (LAND SALZBURG) ..... | 116 |
| Abbildung 65: Geologische Übersichtskarte mit Lage der Messorte gemäß hydrogeologischer Kartierung (Karte mit Legende siehe Anhang 1) .....                          | 117 |
| Abbildung 66: Geologische Übersichtskarte mit Grundwasserständen aus Bohrprofilen des Baugrundkatasters (LAND SALZBURG, Karte mit Legende siehe Anhang 2) .....      | 118 |
| Abbildung 67: Stehende Wässer auf Wiesen und Feldern nach Niederschlagsereignissen; links: bei Habachergraben MO2 (7), rechts: Wiese bei Waldquelle 3 (26) .....     | 118 |
| Abbildung 68: Verteilung der el. Leitfähigkeiten (Hochwasserabfluss, Dezember 2018) .....                                                                            | 121 |
| Abbildung 69: Verteilung der el. Leitfähigkeiten (12/2018) in Bezug zur Geologie ...                                                                                 | 122 |
| Abbildung 70: Verteilung der el. Leitfähigkeiten (07/2018) in Bezug zur Geologie ...                                                                                 | 123 |

|                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 71: Ausschnitt aus der Hydrogeologischen Karte mit Aquifertypen inkl. tektonischer Grenze, Maßstab 1:500.000 (GBA (2015)) mit Lage der Messorte gemäß hydrogeologischer Kartierung ..... | 125 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Messstellentypen.....                                                                                                                                                                                         | 26 |
| Tabelle 2: Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung – Fließgewässer .....                                                                                                                                             | 27 |
| Tabelle 3: Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung – Quellen .....                                                                                                                                                   | 28 |
| Tabelle 4: Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung – Grundwassermessstellen, Drainagen, Teiche.....                                                                                                                  | 29 |
| Tabelle 5: Analyseumfang und Verfahren (ESW Consulting WRUSS ZT GmbH).....                                                                                                                                               | 33 |
| Tabelle 6: Einteilung Wasserhärte – links HÖLTING & COLDEWEY (2013), rechts BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017) .....                                                   | 38 |
| Tabelle 7: Wassertypen nach FURTAK & LANGGUTH (1967), erweitert gemäß Hydrochemischer Einteilung der österreichischen Wässer (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017)) ..... | 40 |
| Tabelle 8: Vorgabewerte für Cross Validation .....                                                                                                                                                                       | 56 |
| Tabelle 9: Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Abfluss in [l/s] .....                                                                                                                                               | 59 |
| Tabelle 10: Plainfelderbach – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeiten in [ $\mu$ S/cm]...                                                                                                                             | 60 |
| Tabelle 11: Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C] .....                                                                                                                                      | 61 |
| Tabelle 12: Zuordnung Messstellen-Nummer und Messort .....                                                                                                                                                               | 62 |
| Tabelle 13: Seitenzubringer Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Abfluss in [l/s] .....                                                                                                                              | 64 |
| Tabelle 14: Seitenzubringer Plainfelderbach – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeit in [ $\mu$ S/cm].....                                                                                                             | 65 |
| Tabelle 15: Seitenzubringer Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C].....                                                                                                                       | 66 |
| Tabelle 16: Rettenbach-Weißenbach – Statistische Kennwerte Abfluss in [l/s] .....                                                                                                                                        | 68 |
| Tabelle 17: Rettenbach-Weißenbach – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeit in [ $\mu$ S/cm].....                                                                                                                       | 70 |
| Tabelle 18: Rettenbach-Weißenbach – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C].....                                                                                                                                 | 71 |
| Tabelle 19: Quellen – Statistische Kennwerte Schüttung in [l/s] .....                                                                                                                                                    | 73 |
| Tabelle 20: Quellen – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeit in [ $\mu$ S/cm] .....                                                                                                                                    | 75 |
| Tabelle 21: Quellen – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C].....                                                                                                                                               | 76 |
| Tabelle 22: Grundwassermessstelle – Statistische Kennwerte .....                                                                                                                                                         | 79 |
| Tabelle 23: Teiche und Drainagen – Statistische Kennwerte .....                                                                                                                                                          | 80 |
| Tabelle 24: Statistische Kennwerte Hydrochemie – Eckparameter, Kationen, Anionen .....                                                                                                                                   | 86 |
| Tabelle 25: Statistische Kennwerte Hydrochemie – Kationen, Anionen (bereinigt, keine Werte unter Nachweisgrenze) .....                                                                                                   | 86 |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 26: Korrelationsmatrix für alle Parameter (orange: Werte $\leq \pm 0,3$ , blau: Werte $\geq \pm 0,9$ ) .....                                           | 88  |
| Tabelle 27: Korrelationsmatrix bereinigt (ohne Eisen, Kalium und Nitrit).....                                                                                  | 88  |
| Tabelle 28: Komponentenmatrix (Faktorladungen) .....                                                                                                           | 89  |
| Tabelle 29: Eigenwerte inkl. Screeplot.....                                                                                                                    | 90  |
| Tabelle 30: Faktorladungen und quadrierte Cosinuswerte der Variablen (quadr. Komponentenladung bzw. Kommunalität) nach Varimax-Rotation .....                  | 90  |
| Tabelle 31: Variabilitäten und kumulierter Anteil der Varianzen (ursprüngliche Eigenwerte, extrahierte Komponenten und Komponenten nach Varimax-Rotation)..... | 91  |
| Tabelle 32: Quadrierte Cosinuswerte der Beobachtungen nach Varimax-Rotation.....                                                                               | 92  |
| Tabelle 33: Faktorwerte nach Varimax-Rotation pro Messort .....                                                                                                | 93  |
| Tabelle 34: Standardeinstellungen für Basis-Kriging (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung) .....                         | 93  |
| Tabelle 35: Cross Validation für Basis-Kriging .....                                                                                                           | 93  |
| Tabelle 36: Ergebnis Faktor D1 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....                                               | 99  |
| Tabelle 37: Cross Validation Faktor D1 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....                                       | 100 |
| Tabelle 38: Ergebnis Faktor D2 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....                                               | 102 |
| Tabelle 39: Cross Validation Faktor D2 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....                                       | 103 |
| Tabelle 40: Ergebnis Faktor D3 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....                                               | 105 |
| Tabelle 41: Cross Validation Faktor D3 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....                                       | 106 |
| Tabelle 42: Ergebnis für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung) .....                   | 108 |
| Tabelle 43: Cross Validation für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung) .....           | 109 |
| Tabelle 44: Ergebnis für Hochwasserabfluss (Dezember 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung) .....                  | 110 |
| Tabelle 45: Cross Validation für Hochwasserabfluss (Dezember 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung).....           | 110 |
| Tabelle 46: Klassifikation R- und N-Wert.....                                                                                                                  | 111 |
| Tabelle 47: Klassifikation K-Wert.....                                                                                                                         | 112 |
| Tabelle 48: R-, N- und K-Werte für Faktor 1 .....                                                                                                              | 112 |
| Tabelle 49: R-, N- und K-Werte für Faktor 2 .....                                                                                                              | 112 |
| Tabelle 50: R-, N- und K-Werte für Faktor 3 .....                                                                                                              | 113 |
| Tabelle 51: Klassifikation R- und N-Wert für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) .....                                                                            | 113 |
| Tabelle 52: Klassifikation R- und N-Wert für Hochwasserabfluss (Dezember 2018). .....                                                                          | 113 |
| Tabelle 53: Klassifikation K-Wert.....                                                                                                                         | 114 |
| Tabelle 54: R-, N- und K-Werte für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018).....                                                                                       | 114 |
| Tabelle 55: R-, N- und K-Werte für Hochwasserabfluss (Dezember 2018).....                                                                                      | 114 |

---

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 56: Auswertung der Erkundungen im Baugrundkataster hinsichtlich<br>Geologie und Wasserständen (LAND SALZBURG) ..... | 119 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## Abkürzungsverzeichnis

|              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| Ca           | Calcium                           |
| Cl           | Chlorid                           |
| D            | Drainage                          |
| el.LF        | elektrische Leitfähigkeit         |
| ET           | Endtiefe                          |
| F            | Fließgewässer                     |
| Fe           | Eisen                             |
| GK M31       | Gauß-Krüger Meridian 31           |
| GOK          | Geländeoberkante                  |
| Grdstk.      | Grundstück                        |
| GW           | Grundwasser                       |
| GWM          | Grundwassermessstelle             |
| HCO3         | Hydrogencarbonat                  |
| HGW          | Hoher Grundwasserstand            |
| HK           | Hauptkomponente                   |
| HKA          | Hauptkomponentenanalyse           |
| HQ           | Hoher Abfluss (Fließgewässer)     |
| HQ100        | 100-jährlicher Abfluss            |
| HQ50         | 50-jährlicher Abfluss             |
| HW           | Hochwert                          |
| K            | Kalium                            |
| KG           | Katastralgemeinde                 |
| m ü. A.      | Meter über Adria                  |
| Mg           | Magnesium                         |
| MGW          | Mittlerer Grundwasserstand        |
| Mn           | Mangan                            |
| MO           | Messort                           |
| MQ           | Mittlerer Abfluss (Fließgewässer) |
| MST          | Messstelle                        |
| n.mb.        | nicht messbar                     |
| Na           | Natrium                           |
| NGW          | Niedriger Grundwasserstand        |
| NH4          | Ammonium                          |
| NO2          | Nitrit                            |
| NO3          | Nitrat                            |
| NQ           | Niedriger Abfluss (Fließgewässer) |
| o-PO4        | Ortho-Phosphat                    |
| Q            | Schüttung oder Abfluss            |
| RW           | Rechtswert                        |
| SO4          | Sulfat                            |
| T            | Teich                             |
| T oder Temp. | Temperatur                        |
| WRRl         | Wasserrahmenrichtlinie            |
| WS           | Wasserstand                       |

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Wasser und Boden sind wichtige Georessourcen für Menschen und Tiere (Lebewesen) – Boden als zentrales Element für Landnutzung, Produktion von Nahrungsmitteln und als Energiequelle, (Grund-) Wasser als zentrales Element für die Trinkwasserversorgung und Produktion von Nahrungsmitteln, wobei Böden gegenüber Wasser eine Filter-, Speicher- und Pufferfunktion übernehmen (HÖLTING & COLDEWEY (2013), HÜTTL & BENS (2012)). Diese Bodenfunktionen werden im Zuge der Landschaftsentwicklung teilweise verändert bzw. eingeschränkt.

Mögliche Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser, speziell Grund- und Bergwasser, entstehen durch Änderung der Bevölkerungsdichte und Besiedelungen, veränderte landwirtschaftliche Nutzungen, Abwässer sowie anthropogene Eingriffe durch bauliche Maßnahmen (Wohnbau, Flussregulierungen, etc.). Ebenso spielt der Klimawandel eine entscheidende Rolle: Verschiebungen der Niederschlagsperioden und -intensitäten, wie beispielsweise vermehrte Starkniederschlagsereignisse oder längere bzw. heißere Trockenphasen, führen zu Änderungen des Abflussverhaltens, der Grundwasserneubildung, der Speicherkapazität des Untergrunds sowie veränderten Grundwasserständen.

Folgen beispielsweise auf längere Trockenperioden (häufigere) Starkniederschlagsereignisse, ist der Boden, in Abhängigkeit der Zusammensetzung und Beschaffenheit, schneller wassergesättigt. In Folge kann das anfallende Niederschlagswasser nur noch teilweise oder gar nicht mehr versickern, wodurch es zu einem erhöhten Oberflächenabfluss und Überflutungen von besiedelten oder landwirtschaftlich genutzten Flächen kommt. Neben der Zerstörung und Gefahr für Mensch und Tier werden bei einem erhöhten Oberflächenabfluss auch vermehrt Nährstoffe aus dem Boden bzw. von der Bodenoberfläche ab-/ausgeschwemmt. Diese fehlen in Folge für die möglicherweise landwirtschaftlich genutzten Flächen als Nährstoff des Bodens und müssen in Form von Dünger extern wieder zugeführt werden. Dies ist mit zusätzlicher Arbeit und Kosten verbunden. Umgekehrt reichern sich diese Stoffe über den oberflächlichen Abfluss in den Vorflutern an und werden über die Flusssysteme zu größeren Gewässern, wie zum Beispiel Seen, transportiert. In Folge bedeutet dies Konsequenzen für die Nutzung vorhandener Wasserressourcen, Anpassung der Wasserbewirtschaftung und landwirtschaftlichen Nutzungen, Kontrolle von Stoffeinträgen in den Wasserkreislauf, wie sich diese kurz-, mittel- und langfristig verlagern, umwandeln und auswirken.

Ausgangspunkt, um Aussagen über mögliche Auswirkungen treffen und diese Veränderungen quantifizieren zu können, ist eine genaue Kenntnis des Ist-Zustands der Grund- bzw. Bergwassersituation sowie des (ober- und unterirdischen) Abflussverhaltens und

der Grundwasserneubildung des betrachteten Gebiets. Hierbei werden sowohl niedere (NGW, NQ), mittlere (MGW, MQ) als auch hohe (HGW, HQ) Wasserstände und Abflussmengen betrachtet. In der Regel werden jährlich repräsentative Stichtage bzw. Perioden betrachtet, in Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung sind jedoch auch Extremstände (HQ50 oder HQ100) zu berücksichtigen. Bei bewilligungspflichtigen Eingriffen (Vorhaben) wird beispielsweise im Zuge von Umweltverträglichkeitsprüfungen (BUNDESRECHT UVP-G 2000) oder bei der Umsetzung der EU Wasserrahmenrichtlinie (EUROPÄISCHE KOMMISSION Richtlinie 2000/60/EG), unter Berücksichtigung der Vorgaben aus der Nitratrichtlinie (EUROPÄISCHE KOMMISSION Richtlinie 91/676/EWG), der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung GZÜV (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT) oder der Trinkwasserverordnung TWV (BUNDESMINISTERIUM FÜR SOZIALE SICHERHEIT UND GENERATIONEN), eine Erhebung und Bewertung des Grundwasser-Ist-Zustands und seiner Sensibilität gegenüber Eingriffen vorgenommen. Anschließend werden diese Eingriffe und ihre Wirkungsintensität beurteilt, auf den Ist-Zustand umgelegt und mittels Bewertungsmatrix die Eingriffserheblichkeit ermittelt. Abschließend werden dann Maßnahmen zur Verminderung oder Vermeidung der Auswirkungen definiert.

In der vorliegenden Arbeit wird als Beispiel für die Problematik der Bereich Koppl in der Nähe der Stadt Salzburg betrachtet. Die Wasserqualität wird neben Einträgen aus der Atmosphäre, Straßenverunreinigungen und Klärabwässern durch Ausbringung von Flüssigdüngern (Gülle, Jauche) in der Landwirtschaft beeinflusst.

Die landwirtschaftliche Nutzung in Koppl (und nähere Umgebung) entzieht dem Boden Nährstoffe. Um den Boden weiterhin wirtschaftlich rentabel nutzen zu können, werden die entzogenen Nährstoffe durch oberflächliche Düngung wieder rückgeführt (DIERSCHKE & BRIEMLE (2008)). Anschließende Niederschlagsereignisse, v. a. Extremniederschlagsereignisse, führen zu Überflutungen der landwirtschaftlich genutzten Flächen entlang der Gewässer (SEIBERT et al. (2007)). Dadurch kommt es zu einem erhöhten, diffusen Nähr- und Schadstoffeintrag, v. a. von Phosphor, in die angrenzenden Gewässer Tiefenbach, Schnurnbach, etc. Über diese gelangen die Stoffe in die Hauptvorfluter Rettenbach-Weißenbach sowie den Plainfelderbach. Der Plainfelderbach gehört zum Einzugsgebiet des Mondsees in Oberösterreich und mündet in diesen. Durch die eingetragenen Nähr- und Schadstoffe kommt es zu einer Beeinträchtigung des ökologischen Zustands des Seeökosystems (STRAUSS & STAUDINGER (2007)). Im Jahr 2000 wurde zum Schutz der Gewässer in der Europäischen Union (EU) eine europäische Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich Wasserpolitik erarbeitet und veröffentlicht (EUROPÄISCHE KOMMISSION Richtlinie 2000/60/EG, KLUG & HUBER (2015)). Ziel der Wasserrahmenrichtlinie (EUROPÄISCHE KOMMISSION Richtlinie 2000/60/EG) ist es, bis 2015 einen guten ökologischen Zustand der Oberflächengewässer herzustellen, zu halten und eine Verschlech-

terung zu verhindern. Der Mondsee unterlief in den 1960er bis 1990er Jahren anthropogen bedingt mehrere Eutrophierungs- und Reoligotrophierungsphasen (AUINGER & BLATTERER (2016)). Trotz erfolgreicher Reoligotrophierungen bis zu den Jahren 2013 bis 2015, unterliegt der ökologische Zustand des Mondsees nach wie vor Schwankungen. Seit 2015 befindet sich der Mondsee in einem guten Zustand, jedoch an der Grenze zum mäßigen Zustand, also nahe am Verfehlen des Zielkriteriums der WRRL (EUROPÄISCHE KOMMISSION Richtlinie 2000/60/EG) (AUINGER & BLATTERER (2016)).

Laut STRAUSS & STAUDINGER (2007) erfolgt der jährliche Haupteintrag maßgeblich über Schneeschmelze und Starkregenereignisse. Nachdem HOFSTÄTTER M. et al. (2010) für das Mondseegebiet eine 20%ige Steigerung der Extremniederschläge in der Periode von 2007-2050 vorhersagen und JONGMAN et al. (2014) eine Verdoppelung der Überflutungsverluste in einer europäischen Analyse prognostizieren, ist von einer Steigerung der Nährstoffbelastung für den Mondsee auszugehen (KLUG & HUBER (2015)). Die Ursache erhöhter Austräge lässt sich hauptsächlich aus einer direkten Anbindung von landwirtschaftlichen Nutzflächen zum Gewässer ableiten (HUBER (2015)).

Die Konsequenzen sind vielfältig: neben der eigentlichen Eutrophierungsgefahr für den Mondsee entstehen aus dem Nichterfüllen der Kriterien der WRRL (2006/60/EG) neben strafrechtlichen und monetären, durch das grenzüberschreitende Einzugsgebiet des Mondsees auch politische Konsequenzen. Unter anderem ergibt sich die Frage, woher (Bundesland Salzburg oder Oberösterreich) der Haupteintrag von Nähr- und Schadstoffen generell bzw. vermehrt kommt und wer somit Hauptverursacher der negativen Auswirkungen ist. Dies hat grenzübergreifende Folgen für etwaige strafrechtliche und monetäre Konsequenzen, entstehend durch die WRRL (EUROPÄISCHE KOMMISSION Richtlinie 2000/60/EG). Zusätzlich ergibt sich für die Agrarwirtschaft, dass Nährstoffauschwemmungen wie oben beschrieben zum Verlust der Nährstoffe auf den bewirtschafteten Grünlandflächen führen. Zur Vermeidung eines qualitativ geringwertigen Grasaufwuchses und einer Unterversorgung des mit Gras gefütterten Weideviehs ergibt sich als Konsequenz ein doppeltes (mehrfaches) Ausbringen von Dünger. Dies ist sowohl zeit- als auch kostenintensiv. Eine zeitlich optimierte Bereitstellung von Düngergaben in Verbindung mit Wettervorhersagemodellen (KLUG & OANA (2015)) und Kenntnissen hydro-geologischer Wasserverhältnisse kann daher helfen, die Gewässerqualität und die landwirtschaftlichen Erträge zu wahren.

Der Interfakultäre Fachbereich Geoinformatik - Z\_GIS an der Universität Salzburg unter Leitung von Assoz. Prof. H. Klug hat deshalb in Koppl ein Landschaftslabor für drahtlose Echtzeitanalysen von Phosphorausträgen bei klimatischen Extremereignissen eingerichtet (KLUG et al. (2014)). Das in diesem Zusammenhang installierte Sensornetzwerk besteht bisher aus meteorologischen Messstationen für Niederschlag, Luft-

druck, Sonneneinstrahlung, Wind, Luftfeuchtigkeit, etc. sowie Sensoren für Bodenfeuchte, Wasserabfluss und Phosphor.

Betrachtet man das System Landschaftslabor, deckt das System bisher nur die oberirdischen Abfluss- und meteorologischen Verhältnisse ab. Der Bereich Grund- bzw. Bergwasser wird bisher nur am Rande betrachtet. Dieser Teilaspekt ist jedoch für eine langfristige Betrachtung, ob durch erhöhte Niederschlagsereignisse oder Eingriffe in den Bodenhaushalt bzw. geänderte landwirtschaftliche Nutzung ein zeitverzögerter Austrag von im Boden gespeichertem Phosphor erfolgen könnte, wichtig.

## 1.2 Forschungsfrage

Gängige Herangehensweisen an die Feststellung des hydrochemischen Istzustands des Grundwassers umfassen in der Hydrogeologie die Verwendung von Schoeller- und Piper-Diagrammen (PIPER (1944)) sowie die Auswertung statistischer Kennwerte (Minimum, Maximum, Mittelwert). Geostatistik befasst sich mit den endogenen Zusammenhängen raum- (und zeitlich-)bezogener Variablen. Mit endogenem Zusammenhang ist hierbei die gegenseitige Abhängigkeit von Daten mit Bezug auf ihre räumliche Nähe bzw. Entfernung gemeint. Geostatistik umfasst die Analyse von räumlichen Zusammenhängen (z. B. Variographie, Interpolationen) sowie die Anwendung von statistischen Verfahren (z. B. deskriptive Analyse, Hauptkomponentenanalyse) zur Auswertung dieser räumlichen Zusammenhänge. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Erkennen und Erklären räumlicher Strukturen. Basierend auf diesen räumlichen Zusammenhängen werden raumabhängige Beziehungen von Variablen beschrieben, um daraus Rückschlüsse für diese Variablen an unbekannten Positionen ziehen zu können. Hierfür sollte es sich um regionalisierte Variable handeln, d. h. sie sollten sich im Untersuchungsgebiet vergleichbar verhalten. Um Aussagen über das Grundwasser, z. B. hydrogeologische Zusammenhänge, geologisches Einzugsgebiet, Grundwasserqualität, treffen zu können, ist eine flächendeckende Erfassung aus logistischen und finanziellen Gründen nicht möglich. Es stehen lediglich punktuelle Erhebungen zur Verfügung. Punktuell kann in diesem Zusammenhang bedeuten, dass Parameter an Messstellen, z. B. Brunnen, Quellen oder Grundwassermessstellen, Bächen oder Teichen erfasst werden. Ausgehend von diesen punktuellen Daten wird versucht, durch räumliche Datenanalysen und Interpolationen Rückschlüsse auf beispielsweise Herkunft, Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit, Qualität, Verweildauer im Untergrund, geogene und anthropogene Einflüsse auf regionaler Ebene zu treffen.

Das Untersuchungsgebiet Koppl liegt geologisch im Übergangsbereich Nördliche Kalkalpen und Flyschzone. Gemäß BRAUNSTINGL et al. (2005), DEL-NEGRO (1979) und PREY (1969) liegen demzufolge im südlichen Untersuchungsraum Kalksteine und Dolomite - verkarstungsfähige, wasserführende Gesteine – vor. Im Gegensatz dazu ist der mittlere und nördliche Untersuchungsraum durch Grundmoränen, Endmoränen, lokale

Kames- und Drumlinstrukturen geprägt. Diese Gesteine sind eher als grundwasserundurchlässig einzustufen.

Zur Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit werden hydrochemische Analysen von Oberflächengewässern (Bächen) und Quellen durchgeführt. Die Grundwasserbeschaffenheit ist beispielsweise abhängig von Wechselwirkungen zwischen Gestein und Wasser, Verweilzeiten des Wassers im Untergrund sowie anthropogenen Einflüssen. Dabei kommt es durch die physikalisch-chemischen Prozesse nicht nur zu Veränderungen einzelner Parameter, sondern meist von mehreren oder sogar allen. Je nach Untersuchungsumfang und Untersuchungsziel bestehen solche Analysen entsprechend aus unterschiedlich vielen analysierten Parametern. Ziel der Hauptkomponentenanalyse ist, aus der multiplen Anzahl analysierter Parameter an unterschiedlichen Messorten Hauptkomponenten herauszufiltern, die aufgrund gleicher Prozesse und Ähnlichkeiten zusammengehören (SHYU et al. (2011), CHEN et al. (2018)). Diese Faktoren enthalten dann unkorrelierte, theoretische Variablen, die die Varianz im Datensatz erklären. Geostatistisch gilt, dass möglichst wenige Faktoren unter Berücksichtigung hydrochemischer Prozesse die multiplen Variablen erklären sollen.

Ausgehend von den so neu ermittelten Faktoren soll mittels der Interpolationsmethode „Ordinary Kriging“ eine flächendeckende Prognose und Abschätzung der Verteilung der Faktoren bzw. chemischen Parameter erfolgen (ABOU ZAKHEM et al. (2017)). Mit der ArcGIS Extension „Geostatistical Analyst“ werden die Daten auf vorhandene Trends und Anisotropie untersucht. Anschließend werden im Zuge des „Ordinary Kriging“ unterschiedliche Variogrammodelle an den Datensatz angepasst. Basierend auf Mean, Root-Mean-Square, Average Standard Error und Root-Mean-Square Standardized sowie einer Eignungsprüfung des Datensatzes nach GRAMS (2000) erfolgt die Auswahl des best-angepassten Variogrammodells. Abschließend werden diese als flächendeckende Interpolationskarten inkl. Schätzfehler visualisiert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen folgende operative Fragen mithilfe der oben genannten geostatistischen Methoden beantwortet werden:

- Gibt es im Untersuchungsgebiet Grund- und/oder Karstwasser aus dem Bereich des Gaisbergs oder sind die angetroffenen Wässer eher durch Niederschläge beeinflusst? Lassen sich Rückschlüsse auf die geologische Herkunft ableiten?
- Lassen sich die angetroffenen Wässer hydrogeologisch charakterisieren und über die Charakterisierung eine Aussage über Herkunft und Fließrichtung machen?
- Welche Aussagen können mittels geostatistischer Verfahren zur Grundwasserbeschaffenheit getroffen werden?
- Sind die punktuell gesammelten Daten und Gegebenheiten im Gelände ausreichend, um mittels geostatistischer Verfahren eine belastbare Aussage treffen zu können?

## 2 Untersuchungsgebiet

### 2.1 Studiengebiet

#### 2.1.1 Geographische Einordnung

Das Studiengebiet umfasst Teile der Gemeinden Koppl und Hof bei Salzburg und liegt im Bundesland Salzburg in Österreich, östlich der Stadt Salzburg Richtung Salzkammergut (Abbildung 1). Das Gebiet liegt in der Übergangszone der Osterhorngruppe zum Salzburger Seengebiet und grenzt im Westen an den Gaisberg und Nockstein, im Süden an den Klausberg und das Gebiet Vorderschroffenau, im Osten an den Gitzenberg.

Durch das Untersuchungsgebiet führt von West nach Ost die Wolfgangsee Bundesstraße B158, im Bereich Schroffenau zweigt nach Süden die Wiestal Landesstraße L107 ab.

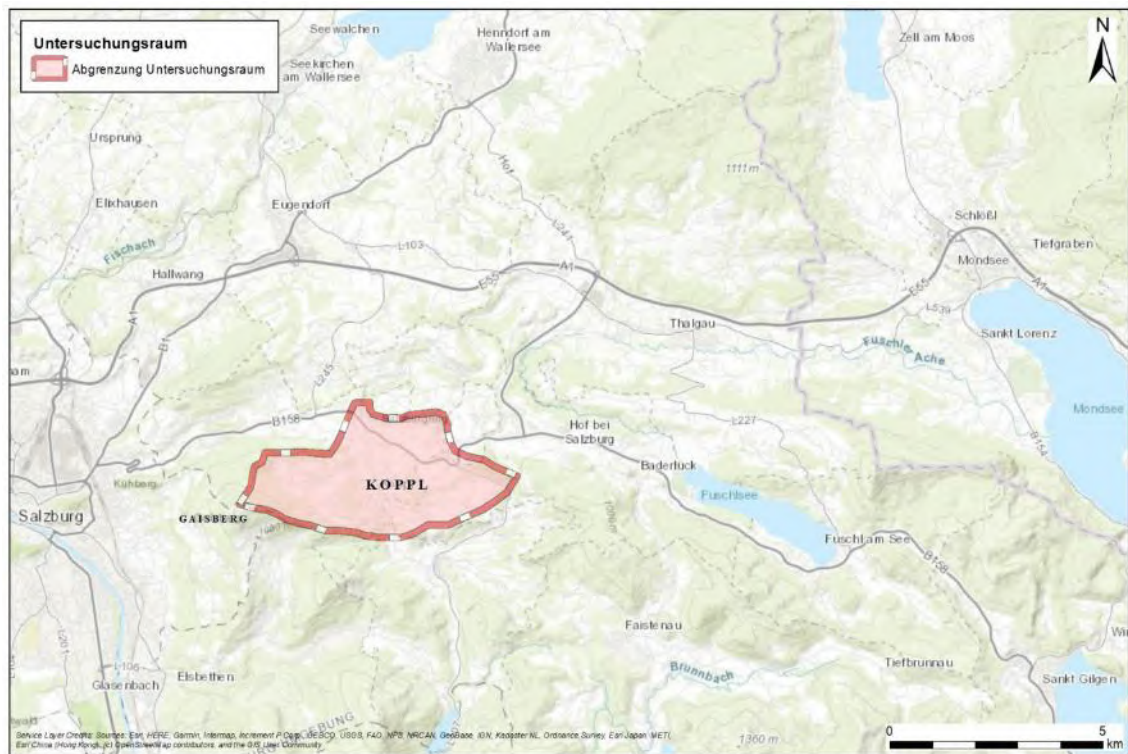


Abbildung 1: Geographische Einordnung des Untersuchungsraums (Überblick)

Das Untersuchungsgebiet hat etwa eine Fläche von 12,1 km<sup>2</sup>, eine maximale Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 3,2 km und eine maximale West-Ost-Ausdehnung von ca. 6,5 km. Die Geländehöhen (Abbildung 2) liegen zwischen 638 m ü. A. und 1.287 m ü. A., der Bereich Koppler Moor liegt um 760 bis 770 m ü. A., der Bereich zwischen Koppl und Bundesstraße zwischen 690 bis 740 m ü. A. Der Plainfelderbach hat sich in das Gelände erodiert, unmittelbar um den Bach liegen die Höhen bei 640 bis 690 m ü. A.

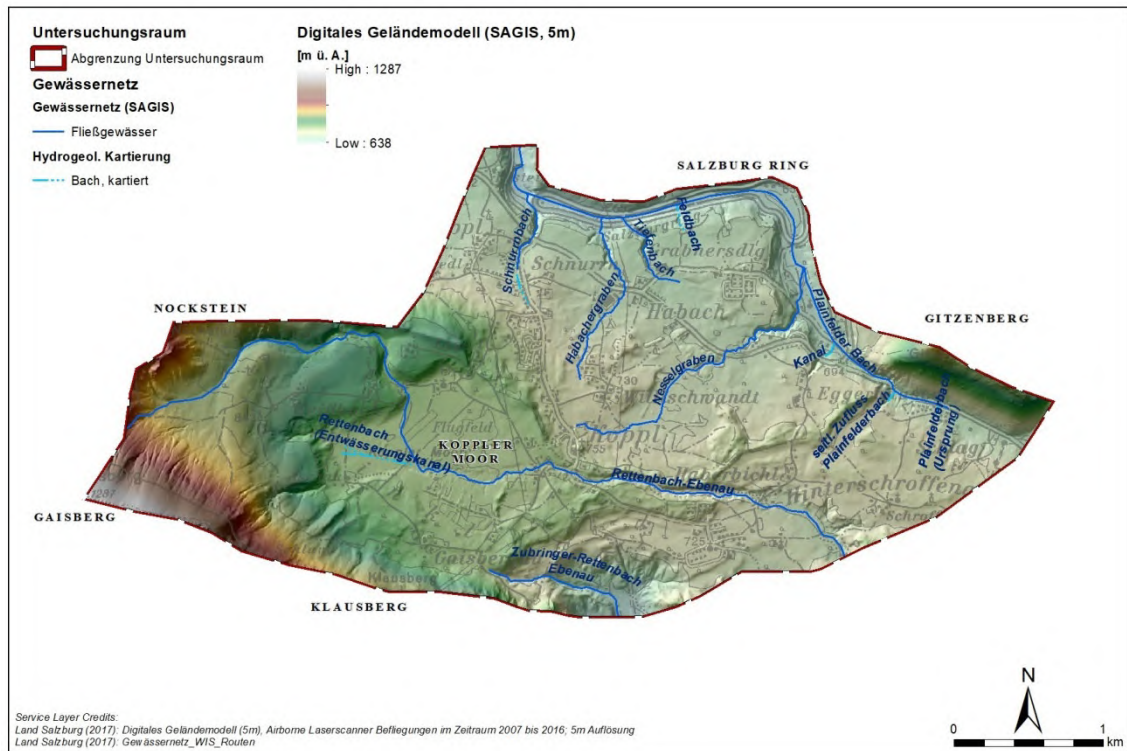


Abbildung 2: Überblick über die Geländehöhen im Untersuchungsraum

### 2.1.2 Geologischer Überblick

Die Geologie im Untersuchungsraum reicht von der Flyschzone im nördlichen Bereich bis in die Nördlichen Kalkalpen im südlichen Bereich. Ein Großteil des Gebiets ist von pleistozänen Lockersedimenten bedeckt (Abbildung 3).

Die Flyschzone wird grundsätzlich in drei Zonen untergliedert: die Rhenodanubische Flyschzone, das Ultrahelvetikum und das Südhelvetikum. Diese geologischen Einheiten bestehen hauptsächlich aus tonreichen Gesteinen, paläogenen Kalken und Kalksandsteinen, Sandsteinen und Siltsteinen mit unterschiedlichen Karbonatgehalten und tonreichen Sedimentgesteinen mit schwankenden Karbonatgehalten (EGGER & VAN HUSEN (2003)). Diese Gesteine sind im Untersuchungsgebiet nicht aufgeschlossen. Die Gesteine der Nördlichen Kalkalpen umfassen Sandsteine, Mergel, Konglomerate, Mergelkalke, Kalk und Dolomit, wobei den Hauptanteil im Untersuchungsgebiet im Bereich des Gaisberg, Nockstein und Gitzenberg Dachsteinkalke und Hauptdolomite ausmachen (EGGER & VAN HUSEN (2003)).

Diese großtektonischen Einheiten entstammen vier unterschiedlichen Sedimentationsräumen. Die Gesteine des Helvetikums und Ultrahelvetikums wurden auf dem südlichen Schelf der europäischen Platte und dem Kontinentalabhang abgelagert. Im Süden anschließend lag das penninische Meeresbecken, in welchem die rhenodanubischen Gesteine abgelagert wurden. Am südlichen Rand des Beckens lag der aktive Kontinentalhang der Adriatischen Platte, von dem die Nördlichen Kalkalpenge-

steine stammen (EGGER & VAN HUSEN (2003)). Durch die vorherrschende Tektonik (Kollision der europäischen mit der adriatischen Platte) kam es in diesen Bereichen zu nordvergenten Überschiebungen, wodurch die Nördlichen Kalkalpen die Flyschzone tektonisch überlagern. Desweiteren kommt es durch Blattverschiebungen zu dextralen Störungen innerhalb der Nördlichen Kalkalpengesteine (EGGER & VAN HUSEN (2003)).

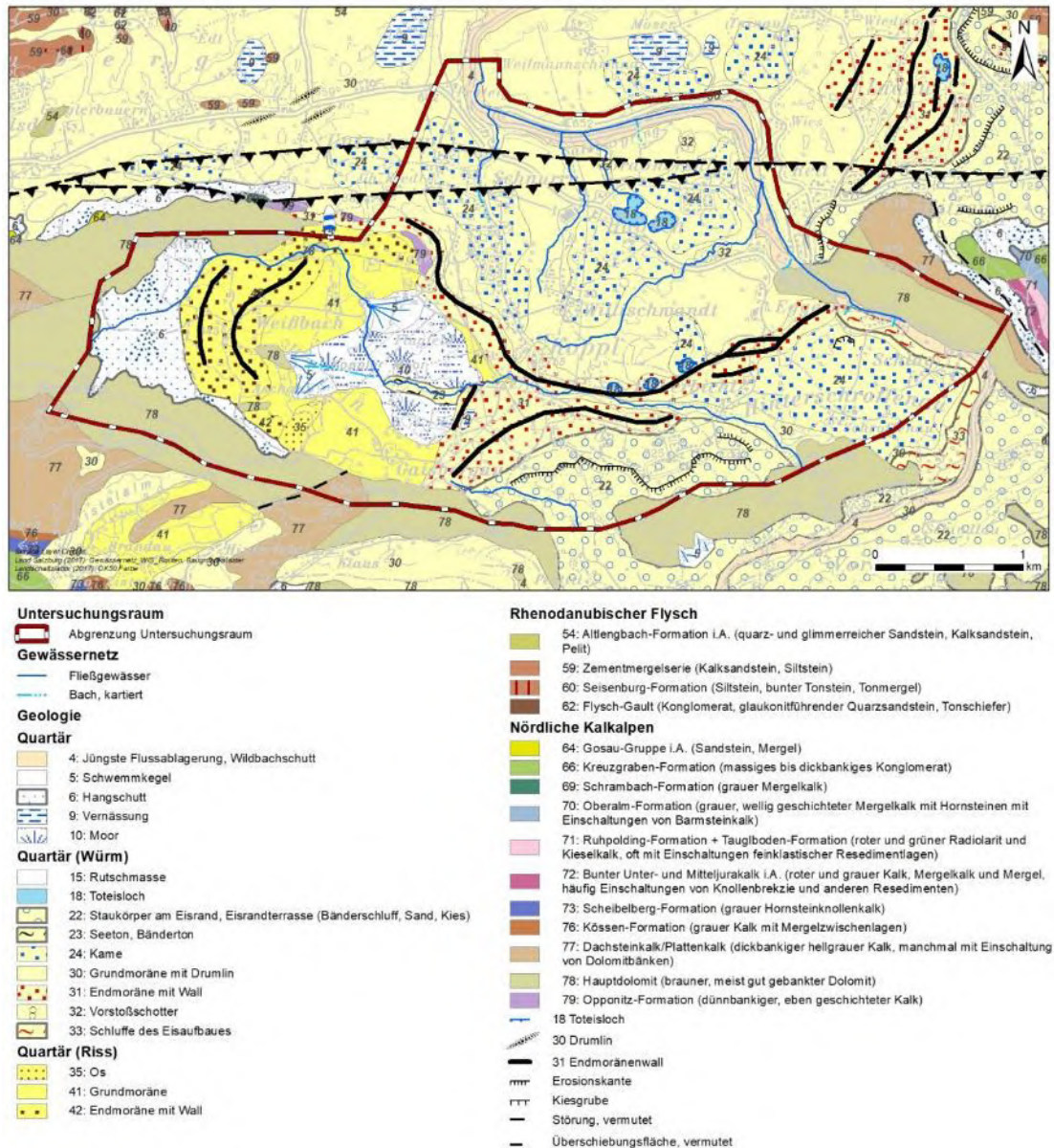


Abbildung 3: Geologische Übersichtskarte, digitalisiert im Zuge der vorliegenden Masterarbeit auf Basis der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 64 Straßwalchen (GBA) mit Baugrundkataster (LAND SALZBURG)

Überprägt wurden diese geologischen Großeinheiten durch das Vordringen und anschließende Zurückweichen der eiszeitlichen Gletscher, v. a. der letzten beiden Eiszeiten Riss und Würm. Hierbei schoben die vordringenden Gletscher Geröllmassen, abgeschürft und mittransportiert aus den durchflossenen Gebieten, auf. Vor diesen bildeten sich durch abfließende Schmelzwässer Täler, Abflussrinnen und Seen. Durch das Schmelzen der Gletscher blieben Moränen und Schmelzwasserseen zurück.

Diese Gletscher – im Untersuchungsgebiet Gletscherzungen des Traun- bzw. Salzachgletschers – zogen sich bis in die den Nördlichen Kalkalpen vorgelagerten Wolfgangsee-, Mondsee- und Irrsee- sowie Attersee- und Traunseeregionen. Dabei bildeten sich durch die Scherkraft der Gletscher tiefe Wannen (Gletscherzungenbecken). Durch die Gletscher bildeten sich Grund- und Endmoränenwälle. Nach dem Abschmelzen des Eises füllten sich die Becken mit Schmelzwasser, da durch das wasserundurchlässige Material der Grundmoränen die Wässer nicht versickern konnten. Dadurch lagerten sich teilweise auch Stillwassersedimente (Schluffe und Tone) ab. Randlich kam es durch einfließende Bäche zu Sedimentaufschüttungen. Es bildeten sich Schwemmkegel und Deltaablagerungen (FUCHS et al. (2007)). Die Moränensedimente wurden in den Beckenbereichen teilweise durch die großen Fließgewässersysteme wie Salzach und Saalach mit fluviatilen Sedimenten überlagert (Salzburger Becken).

Aus Bodenerkundungen seitens Landschaftslabor des Z\_GIS sowie Erhebungen im online verfügbaren Bodenkataster „eBod“ (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT) sind zudem die Bodenformen für das Untersuchungsgebiet bekannt (Abbildung 4). Im Bereich Koppl liegen bindige Bodentypen mit hohem Schluff- und Lehmanteil vor (Braunerden, Gleye). Diese Böden haben eine mäßige bis geringe Durchlässigkeit, die Wasserverhältnisse variieren zwischen mäßig feucht und feucht, im Bereich des Koppler Moors bis nass (Anhang 3).

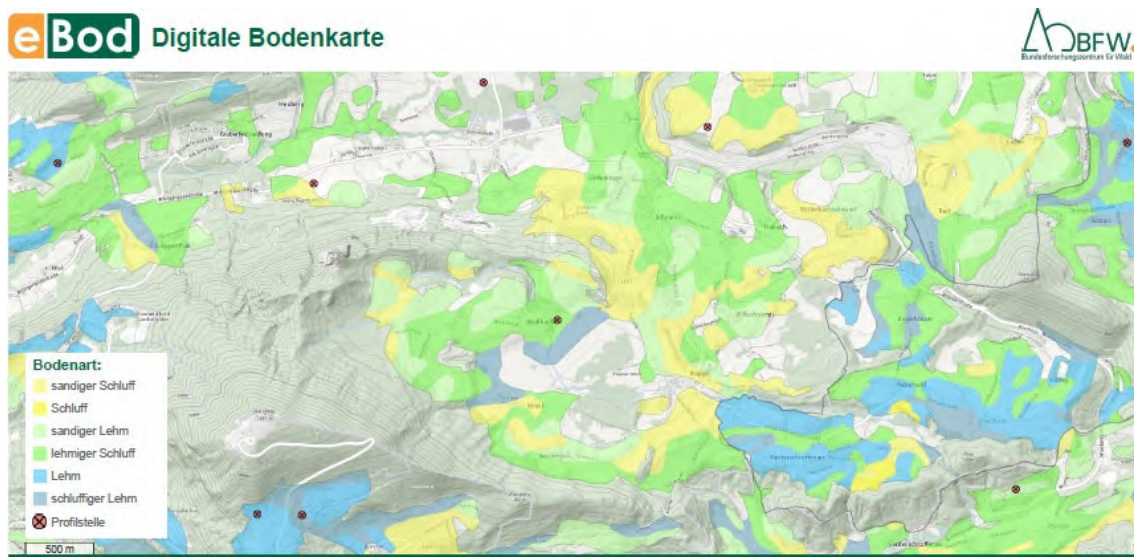


Abbildung 4: Überblick über die Bodenarten, Auszug aus Bodenkataster „eBod“ (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT)

### 2.1.3 Klima

Im Bereich Salzburg herrschen gemäßigte Klimaverhältnisse mit Einflüssen sowohl ozeanischen als auch kontinentalen Klimas. Die Sommer fallen aufgrund der geographi-

schen Lage relativ mild, die Winter kalt aus. Die Niederschlagsmenge lag in den Jahren 2015 bis 2018 bei ca. 1.100 mm pro Jahr. Die niederschlagsstärksten Monate sind in der Regel Juli und August, die niederschlagsärmsten Januar bis März. 2018 zeichnete sich durch überdurchschnittlich warme Wetterlagen aus. Es kam zu langanhaltenden Trockenperioden mit ca. 12 % weniger Niederschlag als in einem durchschnittlichen Jahr (ZAMG (2015-2018), Klimamonitoring; STADTGEMEINDE SALZBURG (2019)).

#### 2.1.4 Gewässer

Die Hauptvorfluter im Untersuchungsgebiet sind der Plainfelderbach und der Rettenbach-Ebenau (Abbildung 5). Letzterer heißt im westlichen Ursprungsgebiet am Gaisberg bis etwa auf Höhe Koppler Moor Weißenbach. Für die vorliegende Arbeit wurde zwecks der Lesbarkeit der gesamte Bachverlauf als Rettenbach-Weißenbach titulierte.

Der Plainfelderbach entspringt im Bereich Schroffenau an der Wiestal Landesstraße L107. Der Bachursprung teilt sich dabei in einen Kanal, gespeist aus einem oberirdischen Teich, und einem Quellaustritt, ca. 60 m oberhalb der Straße gelegen. Der Plainfelderbach verläuft im Untersuchungsgebiet entlang der Landesstraße L107 und unterfließt das Areal des Salzburg Ring mittels Kanalrohren. Der Plainfelderbach fließt anschließend über den Brunn- und Fischbach in die Fuschler Ache, welche in den Mondsee mündet.

Im Untersuchungsbereich entspringen mehrere kleinere Bäche, die in den Plainfelderbach münden (Abbildung 5).

Bäche, die auch im Gewässernetz verzeichnet sind:

- Schnurrnbach
- Tiefenbach
- Habachergraben
- Nesselgraben

Bäche, die im Zuge der Kartierung erfasst wurden, aber nicht im Gewässernetz sind:

- Waldbach (bei Salzburg Ring)
- Feldbach (entspringt aus der Böschungskante unterhalb eines Feldes (bei Salzburg Ring))
- Kanal (Entwässerung der oberhalb verlaufenden Bundesstraße B158)
- Zubringer (bei Hinterschroffenau, vor Beginn der Nesselgrabenstraße)

Am Gaisberg im westlichen Untersuchungsraum entspringt der Weißenbach. Dieser fließt von Norden kommend Richtung Koppler Moor. Hier entwässern einige Kanäle das Moor. Diese Entwässerungskanäle sowie der Weißenbach vereinigen sich im Koppler Moor zum Rettenbach-Ebenau. Dieser führt Richtung Süden nach Ebenau.

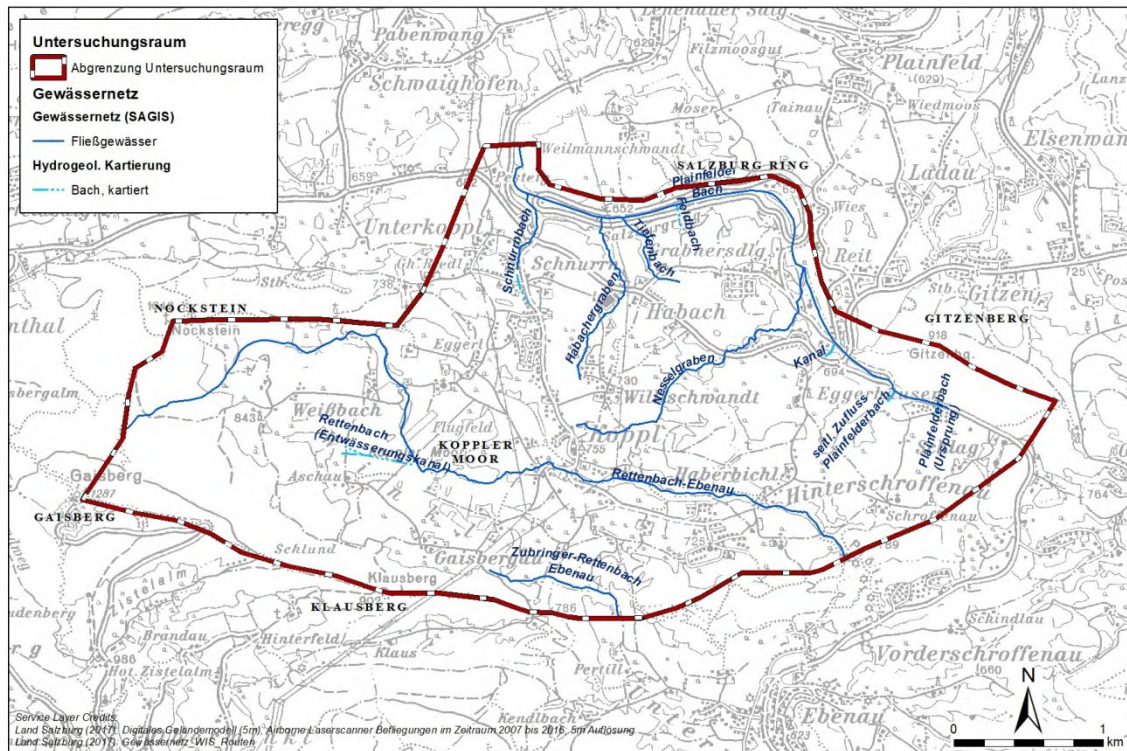


Abbildung 5: Überblick über den Untersuchungsraum mit Fließgewässern

Das Koppler Moor wird durch den Rettenbach-Ebenau entwässert. Das Koppler Moor ist ein ehemaliges Hochmoor und Landschaftsschutzgebiet. Zwischen 1783 und dem 20. Jahrhundert wurde Torf abgebaut (SALZBURGWIKI).

## 2.2 Datenbasis

Der Datenpool für die hydrochemische geostatistische Betrachtung sowie nachfolgende Variographie und Kriging-Interpolation beruht auf Eigenerhebungen im Gelände. Die Analyse der Daten erfolgte in den Laboren ESW CONSULTING WRUSS ZT GMBH und IsoLab (Geoconsult ZT GmbH).

Die geologischen Grundlagendaten wurden bei der Geologischen Bundesanstalt (WMS Server) und dem Salzburger Geographischen Informationssystem (SAGIS) digital erhoben und teilweise manuell in ArcMap 10.6 digitalisiert. Ergänzende Grundlagendaten wie bspw. das Gewässernetz, Orthofotos, Flächenwidmungen und Versiegelungen, wurden über das Landschaftslabor Koppl der Universität Salzburg, Opendata sowie SAGIS erhoben.

## 2.3 Messprogramm

### 2.3.1 Allgemein

Im Zeitraum September 2017 bis Dezember 2018 wurde eine hydrogeologische Kartierung des Untersuchungsgebiets durchgeführt. Entgegen der Norm (GRIMMELMANN

(1997)) konnte die Aufnahme nicht komplett in einer kurzen Zeit zusammenhängend durchgeführt werden. Gründe hierfür liegen in der Natur des Studiums (berufsbegleitend) und der damit einhergehenden knappen verfügbaren Zeit.

Die ursprüngliche Umsetzung der Thematik sollte mit Hilfe von isopenchemischen Messungen und Analysen erfolgen. Die Proben sollten im IsoLab der Firma Geoconsult ZT GmbH analysiert werden. Im Sommer und Herbst 2018 kam es zu einem Geräteausfall im IsoLab (Geoconsult ZT GmbH). Aus Kosten- und Zeitgründen wurde im Sommer 2018 entschieden, die Aufgabenstellung mittels hydrochemischer Proben und Analysen zu lösen. Hierfür wurde eine Probennahme im Dezember 2018 durchgeführt und zur Analyse an das Labor ESW Consulting WRUSS ZT GmbH in Wien geschickt.

### 2.3.2 Hydrogeologische Kartierung und Beweissicherung

Während der hydrogeologischen Kartierung wurden im Zuge von Geländebegehungen Fließgewässer, Quellen und eine Grundwassermessstelle im Untersuchungsgebiet erhoben. Die Aufnahme basierte dabei auf Beobachtungen im Gelände sowie Erhebungen im Quellskataster, verfügbar im SAGIS.

Bei den Quellen und Brunnen im Quellskataster handelt es sich vorwiegend um private Nutzungen bzw. um Gemeindennutzungen. Es wurde im Zuge der Kartierung versucht, direkt Kontakt mit den Anrainern aufzunehmen und eine Erlaubnis für regelmäßige, mindestens jedoch eine einmalige Messung und Probenahme zu erwirken. Aufgrund der Brisanz der Thematik Grundwasser und Nutzwasser in Zusammenhang mit Klimaänderung, diversen Bauprojekten (380 kV-Leitung, Anschluss an die örtliche Wasserversorgung) und landwirtschaftlicher Bewirtschaftung des Gebiets war teilweise weder eine Aufnahme noch eine Messung möglich. Einige wenige Eigentümer gewährten den Zugang bzw. gestatteten die Messungen am externen Überlauf. Von einigen wurden ältere hydrochemische Analysen zur Verfügung gestellt, die jedoch aufgrund der zeitlichen Varianz nicht in die folgenden Darstellungen einbezogen wurden. In Summe wurden 10 Bäche (an insgesamt 29 Messorten), 21 Quellen, 4 Teiche, 3 Drainagen und 1 Grundwassermessstelle aufgenommen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Messstellentypen

| Messstellen-Typ                          | Anzahl |
|------------------------------------------|--------|
| Fließgewässer                            | 10     |
| Quellen                                  | 21     |
| Teiche                                   | 4      |
| Drainagen                                | 3      |
| Grundwassermessstelle<br>(nicht beprobt) | 1      |

Basierend auf der hydrogeologischen Kartierung wurden Messorte zur regelmäßigen Erfassung der Vor-Ort-Parameter sowie zur Entnahme von isopenchemischen und

hydrochemischen Wasserproben definiert. Die Auswahl erfolgte hinsichtlich Eignung, Zugänglichkeit sowie Verteilung im Untersuchungsgebiet.

Die folgende Abbildung 6 sowie die Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigen das Ergebnis der hydrogeologischen Kartierung.

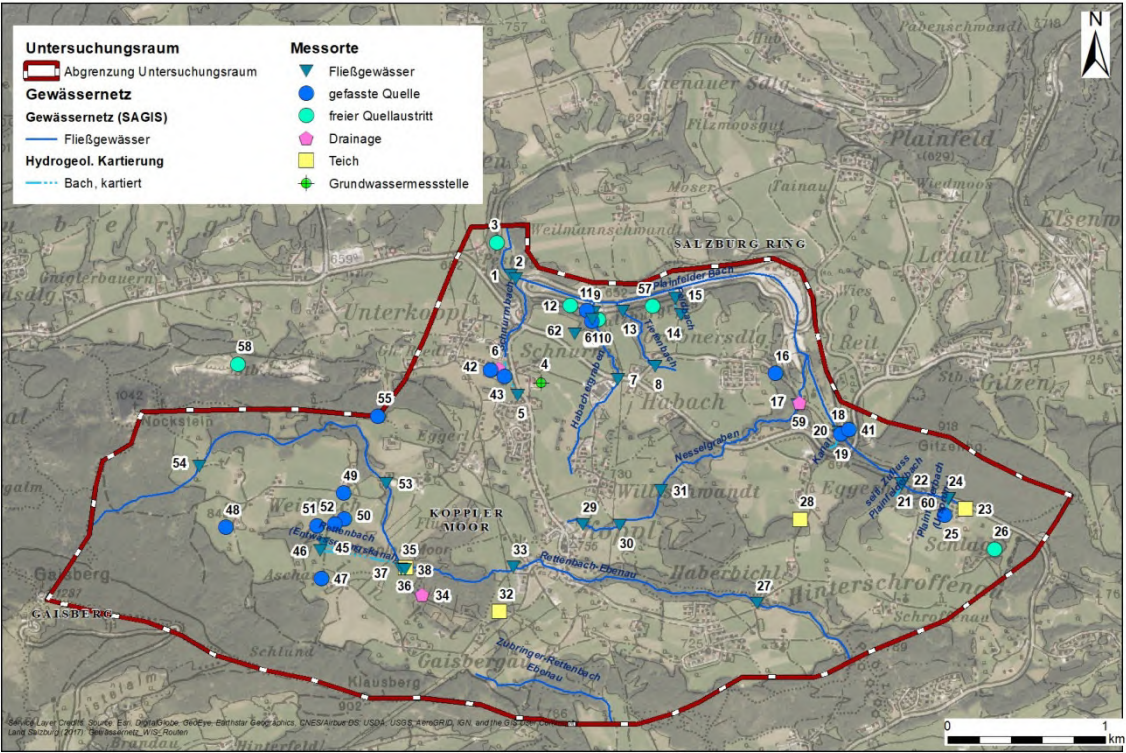


Abbildung 6: Ergebnis der hydrogeologischen Kartierung

Die in der hydrogeologischen Kartierung erfassten Messorte wurden in regelmäßigen Abständen (monatlich bis 2-monatlich) angegangen und gemessen. Bei diesen Vor-Ort-Messungen wurden Wasserproben zur Analyse der stabilen Wasserisotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) genommen. Des Weiteren wurden die Vor-Ort-Parameter Schüttung/Abfluss bzw. Abstich, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur gemessen.

Tabelle 2: Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung – Fließgewässer

| Nr. | Name                       | MO  | Bach-System               | Messort Beschreibung                          | HK | BWS |
|-----|----------------------------|-----|---------------------------|-----------------------------------------------|----|-----|
| 1   | Plainfelderbach            | MO1 | Plainfelderbach           | unterhalb Salzburg Ring (bei Messstation)     | x  | x   |
| 18  | Plainfelderbach            | MO2 |                           | bei Kanal (19)                                | x  | x   |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3 |                           | unterhalb Zufluss (21)                        | x  | x   |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4 |                           | bei Zulauf (60)                               | x  | x   |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5 |                           | Zulauf Plainfelderbach (Quelle Schmitzberger) | x  | x   |
| 2   | Schnurrnbach               | MO1 | Zubringer Plainfelderbach | vor Einmündung in Plainfelderbach             | x  | x   |
| 5   | Schnurrnbach               | MO2 |                           | auf Höhe Bushaltestelle Meindlbauer           | x  | x   |
| 9   | Habachergraben             | MO1 |                           | vor Einmündung in Plainfelderbach             | x  | x   |
| 7   | Habachergraben             | MO2 |                           | Bei Brücke (B158)                             | x  | x   |
| 61  | „Waldbach“                 | MO1 |                           | vor Einmündung in Habachergraben (Rohr)       | x  | x   |
| 62  | „Waldbach“                 | MO2 |                           | Ursprung                                      | x  | x   |

| Nr.                                                                      | Name                           | MO  | Bach-System         | Messort Beschreibung                                  | HK | BWS |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----|---------------------|-------------------------------------------------------|----|-----|
| 13                                                                       | Tiefenbach                     | MO1 |                     | vor Einmündung in Plainfelderbach                     | x  | x   |
| 8                                                                        | Tiefenbach                     | MO2 |                     | bei Brücke Habacherstraße, „Ursprung“                 | x  | x   |
| 15                                                                       | „Feldbach“                     | MO1 |                     | vor Einmündung in Plainfelderbach                     | x  | x   |
| 14                                                                       | „Feldbach“                     | MO2 |                     | Austritt unterhalb Feld                               | x  | x   |
| 17                                                                       | Nesselgraben                   | MO1 |                     | bei Brücke (Jochen-Rindt-Straße)                      | x  | x   |
| 31                                                                       | Nesselgraben                   | MO2 |                     | unterhalb Teich                                       | x  | x   |
| 30                                                                       | Nesselgraben                   | MO3 |                     | oberhalb Teich                                        | x  | x   |
| 29                                                                       | Nesselgraben                   | MO4 |                     | Rohre unterhalb Gärtnerei, „Ursprung“                 | x  | x   |
| 19                                                                       | Kanal                          |     |                     | vor Straßenunterführung                               | x  | x   |
| 21                                                                       | Seitl. Zufluss Plainfelderbach |     |                     | oberhalb Plainfelderbach (22)                         | x  | x   |
| 27                                                                       | Rettenbach                     | MO1 | Rettenbach-Weißbach | bei Brücke (Hinterschroffenaustraße)                  | x  | x   |
| 33                                                                       | Rettenbach                     | MO2 |                     | unterhalb Koppler Moor                                | x  | x   |
| 38                                                                       | Rettenbach                     | MO3 |                     | Zusammenführung Weißbach (35) und Rettenbach (37)     | x  | x   |
| 35                                                                       | Weißbach                       | MO4 |                     | vor Einmündung in Rettenbach (38)                     | x  | x   |
| 53                                                                       | Weißbach                       | NO5 |                     | bei Brücke (Nocksteinstraße)                          | x  | x   |
| 54                                                                       | Weißbach                       | MO6 |                     | an Fußweg Richtung Nockstein                          | x  | x   |
| 37                                                                       | Rettenbach                     | MO7 |                     | Entwässerungskanal, vor Einmündung in Rettenbach (38) | x  | x   |
| 45                                                                       | Rettenbach                     | MO8 |                     | Entwässerungskanal orogr. links                       | x  | x   |
| 46                                                                       | Rettenbach                     | MO9 |                     | Entwässerungskanal orogr. rechts                      | x  | x   |
| HK: Hydrogeologische Kartierung, BWS: regelmäßige Messung und Probenahme |                                |     |                     |                                                       |    |     |

Tabelle 3: Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung – Quellen

| Nr. | Name                            | Typ                  | Messort Beschreibung        | HK | BWS |
|-----|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|----|-----|
| 58  | Quelle Kiesgrube                | freier Quellaustritt | Steinbruch                  | x  |     |
| 3   | Quelle Murabgang                | freier Quellaustritt | Im Wald, Bereich Murabgang  | x  | x   |
| 12  | Waldquelle 1                    | freier Quellaustritt | südl. Hang am Salzburg Ring | x  | x   |
| 26  | Waldquelle 3                    | freier Quellaustritt | südl. Hang am Salzburg Ring | x  | x   |
| 57  | Waldquelle 5                    | freier Quellaustritt | südl. Hang am Salzburg Ring | x  | x   |
| 10  | Wiesenquelle                    | freier Quellaustritt | südl. Hang am Salzburg Ring | x  | x   |
| 42  | Quelle Bahngruber               | gefasste Quelle      | Holztrog                    | x  |     |
| 49  | Quelle Fuchsberger 1            | gefasste Quelle      | Viehtränke                  | x  | x   |
| 50  | Quelle Fuchsberger 2            | gefasste Quelle      | Rohr                        | x  | x   |
| 52  | Quelle Fuchsberger 3            | gefasste Quelle      | Rohr                        | x  | x   |
| 51  | Quelle Fuchsberger 4            | gefasste Quelle      | Rohr                        | x  | x   |
| 55  | Quelle Fuchsberger Johann u. a. | gefasste Quelle      | Überlauf                    | x  | x   |
| 41  | Quelle Fuchsberger Markus       | gefasste Quelle      | Überlauf                    | x  | x   |
| 20  | Quelle Fuchsberger Markus       | gefasste Quelle      | Ablauf                      | x  | x   |
| 16  | Quelle Neumayr                  | gefasste Quelle      | Überlauf                    | x  | x   |
| 47  | Quelle Reischl                  | gefasste Quelle      | Überlauf                    | x  | x   |
| 25  | Quelle Schmitzberger            | gefasste Quelle      | Überlauf, orogr. links      | x  | x   |
| 43  | Quelle Versnik/Rosenegger       | gefasste Quelle      | Holztrog                    | x  |     |
| 11  | Waldquelle 2                    | gefasste Quelle      | Rohr                        | x  | x   |

| Nr.                                                                      | Name         | Typ             | Messort Beschreibung | HK | BWS |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|----------------------|----|-----|
| 56                                                                       | Waldquelle 4 | gefasste Quelle | Schwarzer Schlauch   | x  | x   |
| HK: Hydrogeologische Kartierung, BWS: regelmäßige Messung und Probenahme |              |                 |                      |    |     |

Tabelle 4: Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung – Grundwassermessstellen, Drainagen, Teiche

| Nr.                                                                      | Name                  | Messort Beschreibung                       | HK | BWS |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|----|-----|
| <b>Drainage</b>                                                          |                       |                                            |    |     |
| 6                                                                        | Drainage Klug         | Drainagierung des oberhalb gelegenen Hangs | x  |     |
| 59                                                                       | Drainage, Ablauf      | Drainagerohr                               | x  | x   |
| 34                                                                       | Kanal Moor            | Entwässerungskanal im Koppler Moor         | x  |     |
| <b>Grundwassermessstelle</b>                                             |                       |                                            |    |     |
| 4                                                                        | Meindlbauer           |                                            | x  | x   |
| <b>Teiche</b>                                                            |                       |                                            |    |     |
| 23                                                                       | Plainfelderbach-Teich | Ursprung des Plainfelderbachs, Uferbereich | x  |     |
| 28                                                                       | Quellteich            | Vermutlich Überlauf einer gefassten Quelle | x  | x   |
| 32                                                                       | Moorteich             | Unterhalb Koppler Moor, Uferbereich        | x  | x   |
| 36                                                                       | Fischteich            | oberhalb Koppler Moor, Uferbereich         | x  |     |
| HK: Hydrogeologische Kartierung, BWS: regelmäßige Messung und Probenahme |                       |                                            |    |     |

In Summe wurden 235 Vor-Ort-Messungen an 10 Messterminen durchgeführt. Im Dezember 2018 wurde zusätzlich an allen relevanten Messstellen im Untersuchungsgebiet eine Wasserprobe zur hydrochemischen Analyse genommen. Die Proben wurden bis zur Übermittlung an das Labor ESW Consulting WRUSS ZT GmbH im Kühlschrank des IsoLab (Geoconsult ZT GmbH) als Rückstellprobe gelagert. Die genommenen Isotopenproben wurden bei IsoLab (Geoconsult ZT GmbH) in Wals/Siezenheim auf Sauerstoff-18, Sauerstoff-17 und Deuterium analysiert.

## 2.4 Datenverwaltung und Programme

Die Verwaltung der Daten der hydrogeologischen Kartierung, die Messwerte der Vor-Ort-Messungen sowie die Ergebnisse der isoto- und hydrochemischen Analysen erfolgte in Microsoft Excel. Die Auswertungen sowie darauf beruhenden Histogramme und Box-Whisker-Plots wurden mit Microsoft Excel bzw. dem Add-In „XLStat“ (Version 2019.1.2 by Addinsoft, <https://www.xlstat.com/de/>) durchgeführt. Die geostatistischen Auswertungen wurden mit „XLStat“ bzw. „IBM SPSS Statistics“ (IBM, [https://www.ibm.com/at-de/products/spss-statistics?S\\_TACT=M16100NW](https://www.ibm.com/at-de/products/spss-statistics?S_TACT=M16100NW)) durchgeführt. Zur Erstellung der Piper-Plots wurde das Programm „GeoDin 8.0“ (<https://www.geodin.com/>) der Firma Fugro verwendet. Die Darstellung der Messstellen in Form von Karten sowie die durchgeführte Variographie und Kriging Interpolationen erfolgten mittels ESRI ArcGIS 10.6 inkl. der Extensions „Geostatistical Analyst“ und „Spatial Analyst“.

## 3 Methodik und Grundlagen der Untersuchungen

### 3.1 Physikalische und hydrochemische Grundlagen

#### 3.1.1 Physikalische Parameter

##### 3.1.1.1 Abstich/Wasserstand

Der Abstich (in Meter) ist die Höhendifferenz zwischen Grundwasserspiegel und Messpunktauflage einer Grundwassermessstelle. Dieser Wert wird anschließend umgerechnet in den absoluten Grundwasserstand (in m ü. A.). Über die kontinuierliche Erfassung des Abstichs bzw. des Grundwasserstands können Aussagen über das Schwankungsverhalten, die Fließrichtung und das Gefälle sowie den Flurabstand getroffen werden.

Die Messung des Abstichs erfolgte Vor-Ort mittels Kabellichtlot. Es wurde ein Gerät der Firma SEBA Hydrometrie mit Kabellänge 15 m verwendet.

##### 3.1.1.2 Schüttung bzw. Abfluss

Die Schüttung entspricht dem Abfluss einer Quelle. Bei Fließgewässern spricht man von Abfluss. Beide Parameter werden in der Regel in Liter pro Sekunde (l/s), bei sehr großen Schüttungs- bzw. Abflusswerten auch in Kubikmeter pro Sekunde (m<sup>3</sup>/s) angegeben. Unterschieden werden perennierende (dauerhaft) und intermittierende (periodisch) schüttende Quellen und Fließgewässer (HÖLTING & COLDEWEY (2013)). Die Schüttung sowie das Schwankungsverhalten im Jahresverlauf geben Aufschluss über das Retentionspotential, Größe des Einzugsgebiets sowie Beeinflussungen durch oberflächennahe Wässer und Niederschlagseinträge.

Die Erfassung der Schüttung an Quellen erfolgte im Zuge dieser Arbeit durch repräsentative Kübelmessungen. Hierbei wird die Wassermenge durch Auffangen in einem geeichten Messbecher und gleichzeitiger Zeiterfassung ermittelt. Um eine möglichst genaue Erfassung zu gewährleisten, wurde die Messung mindestens dreimal wiederholt, der Schüttungswert ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel dieser drei Messungen. Die Erfassung der Quellschüttung erfolgte nach Möglichkeit direkt am Quellaustritt. War dies nicht möglich (baulicher Zustand, Zugänglichkeit), wurde am Überlauf der Fassung gemessen.

Die Abflussermittlung der Fließgewässer erfolgte mit Hilfe der Tracer-Verdünnungsmethode mit einem TQ-S Tracersystem der Firma Sommer Messtechnik. Hierbei wurde als Markierungsstoff (Tracer) Kochsalz (NaCl) eingesetzt und die Methode der Momenteingabe verwendet, wobei die gesamte definierte Tracermenge in einem Zug in das zu messende Gewässer gegeben wird. Die Abflussmenge berechnet sich dabei aus dem Verlauf der Tracerkonzentrationsänderung (Verdünnung des Salzes,

gemessen als Änderung der elektrischen Leitfähigkeit) als Verhältnis aus der (bekannten) eingegebenen Tracermenge und dem Integral unter der Konzentrationskurve über dem Wert der Grundleitfähigkeit des Gewässers.

#### 3.1.1.3 Wassertemperatur

Die Grundwassertemperatur ist das Ergebnis des Wärmeumsatzes an der Erdoberfläche, basierend auf der Wirkung von Ein- und Ausstrahlung, Wärmeleitung, Konvektion, Verdunstung sowie chemischen und thermonuklearen Prozessen (MATTHEß (2009)). Bedingt durch die jahreszeitlichen Schwankungen des Wärmeumsatzes an der Erdoberfläche unterliegt der oberflächennahe Boden (bis in Tiefen von ca. 25 m) und somit auch das oberflächennahe Grundwasser charakteristischen Temperaturschwankungen (WISOTZKY (2011)). Diese jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen setzen sich, zeitlich verzögert und gedämpft, im Untergrund fort und lassen sich im Grundwasser bis in eine Tiefe von ca. 25 m nachweisen (WISOTZKY (2011), MATTHEß (2009)). Oberflächennahe Wässer unterliegen den höchsten Temperaturschwankungen. Aus dem Temperatur-Jahresverlauf einer Messstelle würde sich somit auf den Einfluss von oberflächennahen Wässern rückschließen lassen. Die Temperaturmessungen erfolgten während der Messrunden mittels WTW Handgeräten (Cond 3110).

#### 3.1.1.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit (el. Leitfähigkeit) ist der reziproke Wert des elektrischen Widerstand (MATTHEß (2009)) und beschreibt somit die Fähigkeit des Wassers, elektrischen Strom zu leiten. Sie ist ein Maß für die gesamten gelösten ionaren Bestandteile im Grundwasser (Gesamtmineralisation). Sie wird in der Regel mit  $\mu\text{S}/\text{cm}$  oder  $\text{mS}/\text{cm}$  angegeben. Um eine Beeinflussung durch die Wassertemperatur und damit der Viskosität zu vermeiden, wird die el. Leitfähigkeit normalerweise auf 25 °C normiert. Die el. Leitfähigkeit wird beeinflusst durch die geologischen Eigenschaften des Aquifers und die stattfindenden chemischen Verwitterungs- und Lösungsprozesse, wodurch es zur An- bzw. Abreicherung von Mineralien kommt. Niederschlags- und oberflächennahe Wässer haben, aufgrund der kurzen Verweilzeiten im Untergrund und somit geringen Lösung von Mineralien, eine geringere el. Leitfähigkeit. Mischen sich solche gering mineralisierten Wässer mit Wässern, die bereits eine höhere Verweilzeit im Untergrund hatten, kommt es zu Verdünnungseffekten. Die Leitfähigkeitsmessungen erfolgten während der Messrunden mittels WTW Handgeräten (Cond 3110). Die eingestellte Referenztemperatur war 25 °C.

### 3.1.2 Hydrochemische Parameter

#### 3.1.2.1 Einflussfaktoren

Das Grundwasser und seine chemische Zusammensetzung werden von unterschiedlichen natürlichen und anthropogenen Faktoren beeinflusst. Zu den natürlichen Einflussfaktoren zählen der Stoffeintrag aus Niederschlag, Boden und ungesättigter Zone sowie die Wechselwirkungen der Wässer mit Böden und Gesteinen im Aquifer. Ausschlaggebend sind hierbei die chemische Zusammensetzung des Niederschlags und die anschließend stattfindenden chemischen und biologischen Prozesse in der oberen Bodenschicht sowie ungesättigten Zone. In der gesättigten Zone hängt die chemische Zusammensetzung von der Löslichkeit der Minerale der Festgesteine und Lockersedimente sowie der Verweilzeiten der Wässer ab. Weiter beeinflussen der Wasserstand und der Grundwasserschwankungsbereich durch Änderung der sauerstoffgesättigten Zone die Redoxbedingungen.

Gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie bzw. Qualitätszielverordnung (EUROPÄISCHE KOMMISSION, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT) werden Stoffkonzentrationen eines Indikators, die einen nicht oder nur sehr gering anthropogen beeinflussten Zustand repräsentiert, als Hintergrundwert bezeichnet.

Durch anthropogene Beeinflussung kommt es zu einer Überprägung des geogenen Wassers. Diese anthropogenen Einflussfaktoren sind beispielsweise industrielle Herstellungsprozesse, veränderte Energiegewinnung (z. B. Wärmepumpen) und landwirtschaftliche Nutzungen.

Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe steigen die Stickstoff-, Schwefel- und Spurenelementgehalte in der Luft und reichern sich so im Niederschlag an. Somit hat der Niederschlag eine andere chemische Zusammensetzung, dies macht sich in Folge im Wasserkreislauf bemerkbar.

Des Weiteren beeinflusst die Landnutzung und Landwirtschaft das Grundwasser. Ausbringen von Düngern, Pestiziden oder Härtebildnern führen, auch in Kombination mit dem chemisch geänderten Niederschlag, zu flächenhaft veränderten Sickerwassereinträgen und alternativen und/oder verstärkten/verminderten Lösungsvorgängen im Untergrund. Hinzu kommen punktuelle Einträge durch beispielsweise Klär- und Abwasseranlagen, Deponien oder Verkehrsflächen (HOBIGER et al. (2018)).

KUNKEL et al. (2004) zeigen in einer Studie anhand von Grundwassermessstellen in allen Bundesländern Deutschlands auf, dass sich in Grundwässern die natürliche (geogene) Stoffkonzentration von der beeinflussten (anthropogen) durch die Häufigkeitsverteilung unterscheiden lässt. Die natürliche Konzentrationsverteilung weist, bedingt durch die Wechselwirkung des Wassers mit dem umgebenden Gestein oder Bo-

den, eher einen lognormalen Verlauf auf. Im Gegensatz dazu zeigt der anthropogene Anteil, basierend auf der Höhe der Einträge, eher eine Normalverteilung der Häufigkeiten. Daraus ergibt sich für die beeinflussten Wässer eine Mischverteilung, die jedoch auch lognormal verteilt ist (Abbildung 7).

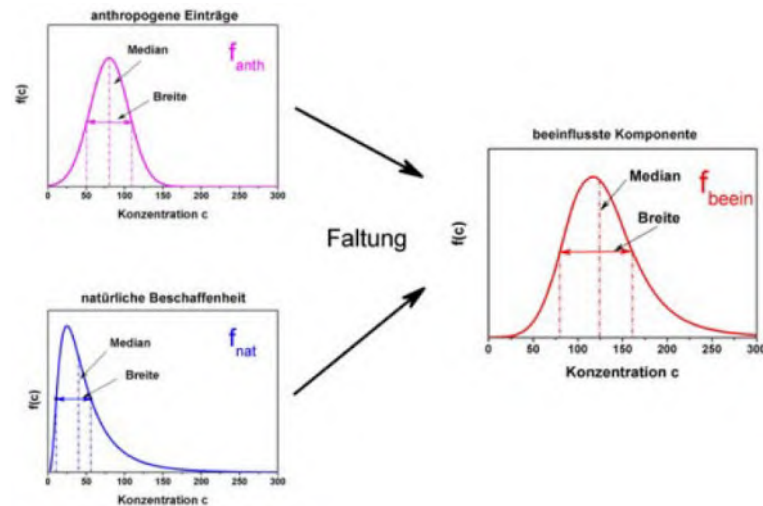


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Einflusses der Überlagerung der anthropogenen Einträge und natürlichen Einflüsse auf die Konzentrationsverteilung der beeinflussten Parameter (aus KUNKEL et al. (2004))

### 3.1.2.2 Methodik Probenahme

Die chemische Zusammensetzung gibt Aufschluss über die Herkunft, Genese und Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund. Einzelne Lithologien ergeben typische Wasserzusammensetzungen. Wie bereits in Kapitel 2.3.2 beschrieben, wurden im Dezember 2018 an allen relevanten Messorten Wasserproben für hydrochemische Analysen durchgeführt.

Tabelle 5: Analyseumfang und Verfahren (ESW Consulting WRUSS ZT GmbH)

| Parameter                                                                                               | Verfahren (Norm)   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| pH-Wert                                                                                                 | DIN 38404-5        |
| Gesamthärte (Summe Ca + Mg)                                                                             | DIN 38409-6        |
| Carbonathärte                                                                                           |                    |
| Calcium $\text{Ca}^{2+}$ , Magnesium $\text{Mg}^{2+}$ , Kalium $\text{K}^{+}$ , Natrium $\text{Na}^{+}$ | DIN EN ISO 17294-2 |
| Eisen Fe, Mangan Mn                                                                                     | DIN EN ISO 17294-2 |
| Hydrogencarbonat $\text{HCO}_3^{-}$                                                                     |                    |
| Chlorid $\text{Cl}^{-}$ , Nitrat $\text{NO}_3^{-}$ , Sulfat $\text{SO}_4^{2-}$                          | DIN EN ISO 10304-1 |
| ortho-Phosphat $\text{PO}_4^{3-}$                                                                       | DIN EN 1189        |
| Nitrit $\text{NO}_2^{-}$                                                                                | DIN EN 26777       |

In Absprache mit dem Labor wurde für die Analyse der Hauptelemente jeweils 1 l Wasser abgefüllt. Für die isotopenchemische Analyse wurden 50 bis 100 ml Wasser abgefüllt. Alle Proben wurden soweit möglich luftblasenfrei abgefüllt und im IsoLab (Geoconsult ZT GmbH) in Salzburg bis zur Analyse gekühlt und dunkel gelagert. Im Winter 2018/2019 wurden die hydrochemischen Proben an die ESW Consulting WRUSS ZT GmbH (akkreditierte Prüfstelle) in Wien übermittelt und dort analysiert (Tabelle 5).

### 3.1.2.3 Hauptelemente

In hydrochemischen Analysen werden Kationen und Anionen unterschieden. Im Bereich der Nördlichen Kalkalpen sind typische Kationen in Wässern Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium. Typische Anionen sind Chlorid, Hydrogencarbonat und Sulfat.

Calciumlieferanten sind hauptsächlich Karbonatgesteine, wie Kalkstein und Dolomit. Calciumminerale sind Calcit ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Anhydrit und Apatite. Anthropogen wird Calcium über Dünger und Bau-, Papier- und Kunststoffindustrie, aber auch über Straßenabwässer in Form von Streusalzen (Calciumchlorid) eingetragen. Typische Konzentrationen liegen bei ca. 100 mg/l (MATTHEß (2009)), bei sulfatischen Grundwässern bei bis zu 600 mg/l. Wässer ohne Nitrat- oder Sulfatanteil, die jedoch einen hohen Hydrogenanteil aufweisen, weisen Calciumgehalte  $< 100$  mg/l auf. In Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 37 mg/l, Porengrundwässer bei ca. 87 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Magnesium findet sich hauptsächlich in Carbonatgesteinen (Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Magnesit ( $\text{MgCO}_3$ )), Mineralen wie Silikaten (Tonminerale), Carbonaten und Phosphaten und marinen Salzlagerstätten (Sulfate und Chloride). Magnesium ist gut löslich und sehr mobil, hat aber in der Regel eine niedrigere Konzentration als Calcium aufgrund der geringeren Verbreitung. Anthropogene Einträge erfolgen in Form von Düngern, Deponien und Technologien (Spezialzement, Legierungen). Typische Konzentrationen liegen bei  $< 40$  mg/l (MATTHEß (2009)). In Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 8 mg/l, Porengrundwässer bei ca. 21 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Natrium liegt geogen in Evaporiten, Magmatiten und Meerwasser vor und ist aufgrund seiner hohen Löslichkeit und Reaktionsfähigkeit immer gebunden. Als Bestandteil von Feldspäten wird es während des Verwitterungsprozesses freigesetzt. Die häufigste Verbindung von Natrium ist Natriumchlorid und findet sich als Steinsalz (Halit) wieder. Dieses findet sich in Österreich insbesondere in der geologischen Einheit „Haselgebirge“. Aufgrund der langsamen Verwitterungsprozesse ist die Konzentration an Natrium im Vergleich eher gering. In Böden bindet Natrium verstärkt an Tonminerale und kann so Calcium verdrängen. Eine anthropogene Beeinflussung erfolgt vorrangig über Straßenabwässer als Streusalzeintrag oder Dünger. Typische Konzentrationen liegen bei 1 bis 20 mg/l (MATTHEß (2009)). In Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 1 mg/l, Porengrundwässer bei ca. 10 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS FÜR

LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Vorrangig findet sich Kalium in Magmatiten (in Form von Kalifeldspäten, Glimmer) und Tongesteinen. Bei der Verwitterung werden Kaliumionen eher im Boden sorbiert, wodurch Grundwässer eine geringere Kaliumkonzentration aufweisen. Kalium bindet stark in Tonmineralen und ist deswegen gering mobil. Kalium wird anthropogen als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt. Des Weiteren kann Kalium in Abwässern, Legierungen oder Feuerwerkskörpern vorkommen. Vor allem gering mineralisierte Grundwässer mit Natriumgehalten  $< 10$  mg/l weisen in der Regel Kaliumkonzentrationen von 1 - 5 mg/l auf. In Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 1 mg/l, Porengrundwässer bei ca. 2,4 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Die Konzentration an Hydrogencarbonat im Grundwasser ist abhängig vom Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Dabei wird Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$  (gelöst)) zu Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), welche in Folge zuerst zu Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) und dann zu Carbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dissoziiert. Diese Dissoziation ist abhängig von Temperatur und pH (siehe Kapitel 3.1.2.6). In pH-neutralen Wässern dominiert meist Hydrogencarbonat, in basischen Wässern Carbonat und in sauren Wässern undissoziierte Kohlensäure. Hauptlieferant für Hydrogencarbonat sind Carbonateinzugsgebiete. In reinen Carbonatwässern entspricht die Konzentration an Hydrogencarbonat der von Magnesium und Calcium. Anthropogen wird Hydrogencarbonat durch die Landwirtschaft (Kalkdüngung) beeinflusst. Typische Konzentrationen liegen zwischen 50 und 400 mg/l (MATTHEß (2009)), in Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 142 mg/l, Porengrundwässer bei 305 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Sulfat in Grundwässern weist auf ein Einzugsgebiet in Gips- oder Anhydritschichten hin. Des Weiteren kann Sulfat durch Oxidation sulfidischer Vererzungen sowie den Abbau tierischer und pflanzlicher Proteine entstehen. Typische Gipsvorkommen in Österreich sind Haselgebirge oder Raibler Schichten. In reduzierender Umgebung fällt Sulfid aus, welches unter aeroben Bedingungen zu Sulfat oxidiert. Sulfat gilt, ähnlich wie Chlorid, als hochmobil. Anthropogene Beeinflussung erfolgt durch industrielle Einträge (pharmazeutische Produkte, Farbe, Fungizide), Verbrennung fossiler Energieträger sowie landwirtschaftlich eingesetzte Mineraldünger und Verunreinigungen mit Jauche, Stallmist oder Deponiesickerwässern. Typische Konzentrationen liegen unter 30 mg/l (MATTHEß (2009)), wobei reduzierte Grundwässer nach Abschluss der Desulfurikation  $< 5$  mg/l Sulfat enthalten. In Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 10 mg/l, Porengrundwässer bei ca. 32 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS

FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Chlorid liegt meist gebunden als chemische Verbindung mit anderen Elementen vor, beispielsweise mit Natrium, Kalium und Magnesium. Chlorid liegt hauptsächlich gelöst in Meerwasser vor, eine geogene Anreicherung (als Evaporite) erfolgt durch Verdunstung von Meerwasser. Chloride sind hoch wasserlöslich und sehr mobil. Ein anthropogener Eintrag erfolgt über Streusalze und Straßenabwässer, beispielsweise Natriumchlorid, Calciumchlorid oder Magnesiumchlorid. Des Weiteren kommt Chlorid in der Landwirtschaft als Dünger und Futterzusatz sowie in Deponiesickerwässern vor. Typische Konzentrationen liegen zwischen 10 und 30 mg/l (MATTHEß (2009)), wobei höhere Konzentrationen auf mineralische oder anthropogene Beimischung oder die Nähe zu einem Salzstock schließen lassen. In Österreich liegen Karst- und Kluftgrundwässer bei ca. 0,6 mg/l, Porengrundwässer bei ca. 18 mg/l (Medianwerte, BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

#### 3.1.2.4 Nebenelemente

Die wichtigsten Eisenminerale sind Magnetit, Hämatit, Goethit und Siderit. Eisen entsteht auch als Verwitterungsprodukt von Carbonaten, Sulfiden und eisenführenden Silikaten. Die Mobilität von Eisen ist vom Milieu (oxidierend = unlöslich) und pH abhängig (Zunahme im sauren Bereich). Eine Anreicherung im Grundwasser erfolgt bei Reduktion von Eisen(III) zu Eisen(II), bei Oxidation von Eisensulfiden mit Nitrat bzw. mit Sauerstoff oder durch Lösung von Eisen unter sauren Bedingungen. Anthropogene Einträge sind Stahl, Farben, pharmazeutische Produkte, Metallverhüttung/-verarbeitung sowie Dünger und Herbizide. In sauerstoffhaltigen Wässern ist Eisen nicht oder nur in äußerst geringen Konzentrationen vorhanden. Unter reduzierenden Bedingungen kann die Konzentration zwischen 1 und 10 mg/l (MATTHEß (2009)) liegen (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Mangan ist ebenso wie Eisen vom Milieu und pH abhängig, d. h. unter reduzierenden, sauren Bedingungen sehr mobil. Es tritt oft gemeinsam mit Eisen auf. Es liegt in Form von Manganmineralen (z. B. Manganit, Rhodochrosit) bzw. als Spurenelement in anderen gesteinsbildenden Mineralen (z. B. Glimmer, Calcit, Dolomit, Amphibole) vor. Eine Anreicherung im Grundwasser erfolgt bei Reduktion von Mangandioxid zu Mangan(II), bei Oxidation von Mangansulfiden durch Nitrat bzw. mit Sauerstoff oder durch Lösung von Mangan unter sauren Bedingungen. Anthropogene Einträge erfolgen als Bestandteil von Legierungen, bei der Stahlproduktion, in Batterien, als Dünger und Futtermittelzusatz. Mangan kommt in sauerstoffhaltigen Wässern nur in Spuren vor und in geringerer

Konzentration als Eisen (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Phosphat tritt geogen hauptsächlich als Orthophosphat, in Form von bspw. Apatit, bzw. in Spuren in Amphibolen, Olivinen, Glimmern und Feldspäten auf. Phosphorsäure dissoziiert in Abhängigkeit vom pH-Wert zu Phosphationen, diese verbinden sich beispielsweise mit Eisen, Calcium oder Aluminium. Es besteht eine hohe Anbindung an Tonminerale und Eisenhydroxide, wodurch es zu eher geringen Konzentrationen von Phosphat im Grundwasser kommt. Unter reduzierenden Bedingungen kann es zu einer erhöhten Eisenlösung und damit auch Phosphatlösung kommen. Phosphat wird anthropogen über Dünger, Bodenerosion sowie Abwässer, Fäkalien oder Abfälle, Waschmittel, Kühlwasser und als Stabilisator im Lebensmittelbereich in das Grundwasser eingebracht. In pH-neutralen, sauerstoffhaltigen Wässern liegt die Konzentration um die 30 µg/l (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

Stickstoffverbindungen liegen als Nitrat und Nitrit vor. Stickstoff ist ein Bestandteil der Luft und wird über den Niederschlag in den Boden eingetragen. Der hier gebundene Anteil beschränkt sich auf Tongesteine. Stickstoff ist ein wesentlicher Bestandteil der Biomasse und wird biologisch umgesetzt (Stickstoffkreislauf). Durch Oxidation von Ammonium (Nitrifikation) bzw. Reduktion von Nitrat (Denitrifikation) entsteht Nitrit. Durch Mineralisation von organischem Stickstoff (Harnstoff, Gülle) entsteht Ammonium und ist somit ein Anzeiger für Fäkalbelastungen des Grundwassers. Im Grundwasser wird Ammonium normalerweise oxidiert oder bindet an Tonminerale. In reduzierendem Milieu liegt Ammonium gelöst vor. In aeroben Stickstoff-Redoxprozessen ist Nitrat das Endprodukt. Reduzierende Bedingungen in Kombination mit Eisensulfiden und organischem Kohlenstoff führen zu Nitrit und in Folge zur mikrobiellen Umwandlung zu Stickstoffgas und Rückführung in die Atmosphäre. Dünger und Abwassereinträge sind die primären anthropogenen Einflüsse. Nitrit kommt im Grundwasser selten vor, Ammonium ist ein Anzeiger für reduzierende Bedingungen. Nitratkonzentrationen können im Einzugsgebiet von Tonschiefern einige 100 mg/l betragen (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), HOBIGER et al. (2018)).

### 3.1.2.5 Härte

Die Gesamthärte (GH) entspricht der Summe der Äquivalentkonzentration der im Wasser gelösten Erdalkali-Elemente. Im Wesentlichen sind dies Magnesium-, Calcium-, Strontium- und Bariumionen. Die Gesamthärte wird in der Regel in Grad deutscher Härte (°dH) angegeben. Die Gesamthärte ist dabei zusätzlich definiert als Summe der Carbonathärte (CH) und Nichtcarbonathärte (NCH). Die Carbonathärte entspricht dabei der Konzentration Hydrogencarbonationen bzw. dem äquivalenten Anteil an Erdalkali-

metallionen. Die Nichtcarbonathärte entspricht jenem Anteil der Gesamthärte, der nicht durch Hydrogencarbonat oder Carbonat gebunden ist, sondern durch Anione wie Chlorid, Sulfat und Nitrat. Die Konzentration spielt dabei weniger eine Rolle, vielmehr kann die Herkunft der Wässer eingegrenzt werden. (HÖLTING & COLDEWEY (2013), WISOTZKY (2011), BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), MATTHEß (2009))

Österreichische Wässer werden gemäß BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017) in 3, gemäß HÖLTING & COLDEWEY (2013) in 6 Härtekategorien eingeteilt:

*Tabelle 6: Einteilung Wasserhärte – links HÖLTING & COLDEWEY (2013), rechts BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017)*

| GH [°dH] | Beurteilung   |
|----------|---------------|
| <4       | Sehr weich    |
| 4-8      | Weich         |
| 8-12     | Mittelhart    |
| 12-18    | Ziemlich hart |
| 18-30    | Hart          |
| >30      | Sehr hart     |

| GH [°dH] | Beurteilung          |
|----------|----------------------|
| 0-10     | Weich bis mäßig hart |
| 10-16    | Ziemlich hart        |
| >16      | Hart                 |

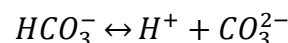
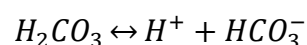
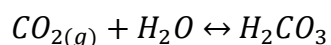
### 3.1.2.6 pH-Wert

Der pH-Wert ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität. Es gilt:

$$pH = -\log_{10}a(H^+)$$

Der pH-Wert ist ein Maß für den Säure- bzw. Basengehalt von Wässern. Der pH-Wert ist Temperatur- und Druckabhängig und wird durch verschiedene Säure-Base-Reaktionen beeinflusst. Am wichtigsten ist hierbei das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Dieses beschreibt die Lösung von CO<sub>2</sub> und die damit verbundene pH-abhängige Dissoziation (Abbildung 8) der unterschiedlichen Carbonatspezies: H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (WISOTZKY (2011)).

Freies Kohlendioxid → | ← gebundenes Kohlendioxid



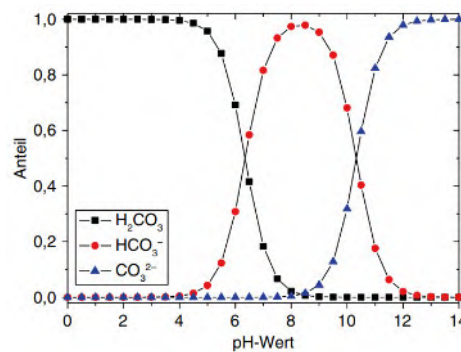


Abbildung 8: pH-Abhängigkeit der Häufigkeit der Carbonatspezies (WISOTZKY (2011))

### 3.1.2.7 Klassifikation

Die Darstellung der Hauptkationen und -anionen (Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Hydrogencarbonat, Sulfat, Chlorid und Nitrat) von hydrochemischen Analysen kann in Piperdiagrammen erfolgen (PIPER (1944)). Im linken unteren Dreieck werden die Kationen, im rechten unteren Dreieck die Anionen, jeweils als Ionenäquivalente, dargestellt. In der Raute werden Kationen und Anionen kombiniert abgebildet (Abbildung 9).

Basierend auf einer Weiterentwicklung von FURTAK & LANGGUTH (1967) werden 7 unterschiedliche Wassertypen unterschieden. Eine spezifische Einteilung für österreichische Wässer wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft geschaffen (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017)). Aufgrund des hohen Anteils an erdalkalisch-carbonatischem Wasser in Österreich (rund 70 %), wird der Typ 1 in drei Untertypen 1a bis 1c unterteilt.

#### Hydrochemische Wassertypen (Untertypen) (FURTAK et al. 1967 modifiziert)

- ① Erdalkalisch - carbonatische Wässer (Untertypen 1a - 1c)
  - ①a Ca - carbonatische Wässer ( $Mg < 20$  (eq)%; Untertyp von 1)
  - ①b Ca - Mg - carbonatische Wässer ( $Mg = 20-40$  (eq)%; Untertyp von 1)
  - ①c Dolomit - carbonatische Wässer ( $Mg > 40$  (eq)%; Untertyp von 1)
- ② Erdalkalische carbonatisch - sulfatische Wässer
- ③ Erdalkalisch - sulfatische Wässer ( $SO_4 > Cl, NO_3$ )
- ④ Erdalkalisch - alkalisch - carbonatische Wässer
- ⑤ Erdalkalisch - alkalisch - sulfatische Wässer ( $SO_4 > Cl, NO_3$ )
- ⑥ Alkalisch - carbonatische Wässer
- ⑦ Alkalisch - sulfatische Wässer ( $SO_4 > Cl, NO_3$ )

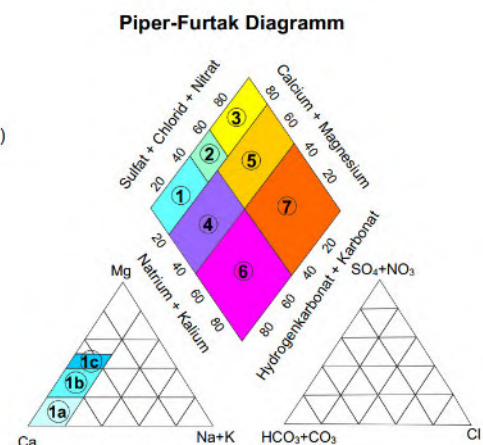


Abbildung 9: Piper-Diagramm mit Klassifikation der österreichischen Wassertypen (BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017))

Für die Klassifikation werden nicht die Gesamtkonzentrationen, sondern die Äquivalentprozentanteile herangezogen.

Die Umrechnung der analysierten Konzentrationen in mg/l erfolgt durch Division der Konzentration durch das Molgewicht, multipliziert mit der Wertigkeit. Dies ergibt die Äquivalentkonzentration in mmol/l. Gemäß KRALIK M., ZIERITZ I., GRATH J., VINCZE, G., PHILIPPITSCH, R., PAVLIK, H. (2005) werden die Äquivalentkonzentrationen auf 100 % bezogen (Äquivalent-Prozent).

Es werden folgende Wassertypen unterschieden (Tabelle 7):

- Erdalkalische Wässer: diese Wässer zeichnen sich durch hohe Gehalte an Calcium und Magnesium aus und umgekehrt niedrige Gehalte an Kalium und Natrium. In Abhängigkeit, ob Hydrogencarbonat oder Sulfat, Chlorid und Nitrat überwiegt, handelt es sich um erdalkalisch-carbonatische oder erdalkalisch-sulfatische Wässer. Für österreichische Wässer wird eine feinere Unterteilung für den erdalkalisch-carbonatischen Typ vorgenommen, je nachdem ob das Wasser eher Calcium- oder dolomitisch dominiert ist.
- Erdalkalisch-alkalische Wässer: es überwiegen nach wie vor die Calcium- und Magnesiumgehalte, jedoch steigt der Anteil an Natrium und Kalium. Die weitere Einteilung erfolgt analog den erdalkalischen Wässern – Hydrogencarbonatdominiert oder Sulfat-Chlorid-Nitrat-dominiert.
- Alkalische Wässer: in diesen Wässern überwiegt der Kalium- und Natriumanteil gegenüber Magnesium und Calcium. Die weitere Einteilung erfolgt analog der bisherigen Klassifikation – Hydrogencarbonatdominiert oder Sulfat-Chlorid-Nitrat-dominiert.

*Tabelle 7: Wassertypen nach FURTAK & LANGGUTH (1967), erweitert gemäß Hydrochemischer Einteilung der österreichischen Wässer (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017))*

| Hydrochemischer Wassertyp      |                                          | Charakteristik |             |                         |                                            |           |
|--------------------------------|------------------------------------------|----------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------------|-----------|
|                                |                                          | Ca+Mg<br>[%]   | Na+K<br>[%] | HCO <sub>3</sub><br>[%] | SO <sub>4</sub> +Cl+NO <sub>3</sub><br>[%] | Mg<br>[%] |
| Erdalkalische Wässer           |                                          |                |             |                         |                                            |           |
| 1                              | Erdalkalisch - carbonatisch              | >80            | <20         | >60                     | <40                                        |           |
| 1a                             | überw. Ca - Karbonat                     |                |             | >60                     | <40                                        | <20       |
| 1b                             | überw. Ca - Mg-Karbonat                  |                |             | >60                     | <40                                        | 20-40     |
| 1c                             | überw. Dolomit                           |                |             | >60                     | <40                                        | >40       |
| 2                              | Erdalkalisch - carbonatisch - sulfatisch |                |             | 40-60                   | 40-60                                      |           |
| 3                              | Erdalkalisch - sulfatisch                |                |             | <40                     | >60                                        |           |
| Erdalkalisch-alkalische Wässer |                                          |                |             |                         |                                            |           |
| 4                              | Erdalkalisch - alkalisch - carbonatisch  | 50-80          | 20-50       | >50                     | <50                                        |           |
| 5                              | Erdalkalisch - alkalisch - sulfatisch    |                |             | <50                     | >50                                        |           |
| Alkalische Wässer              |                                          |                |             |                         |                                            |           |
| 6                              | Alkalisch - carbonatisch                 | <50            | >50         | >50                     | <50                                        |           |
| 7                              | Alkalisch - sulfatisch                   |                |             | <50                     | >50                                        |           |

### 3.1.2.8 Ionenbilanz

Die Qualität der Analysen wurde durch Ermittlung des Ionenbilanzfehlers (HÖLTING & COLDEWEY (2013)) beurteilt. Dieser berechnet sich aus der Differenz der Äquivalentkonzentrationen der Kationen und Anionen:

$$\text{Ionenbilanzfehler [\%]} = \frac{\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen}}{\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen}} * 100$$

Datensätze, die zu hohe Ionenbilanzfehler aufweisen, sollten aus der Betrachtung ausgeschlossen werden. Folgende Richtwerte existieren zum Verwerfen eines Datensatzes (HÖLTING & COLDEWEY (2013)):

- Summe Äquivalentkonzentration  $\leq 2$  mmol/l UND Ionenbilanzfehler  $> 15$  %
- Summe Äquivalentkonzentration  $> 2$  mmol/l UND Ionenbilanzfehler  $> 10$  %

Der Ionenbilanzfehler sollte aus chemisch-ladungstechnischer Sicht bei Null liegen. In der Praxis ist dies selten erreichbar – Wasseranalysen mit Ionenbilanzfehlern  $\leq 5$  % gelten als tolerabel (HÖLTING & COLDEWEY (2013)). Zu Ionenbilanzfehlern kann es bei folgenden Zuständen kommen:

- Mangelhafte Probenahme
- Analysefehler im Labor
- Unvollständigkeit: es wurden nicht alle Hauptionen beprobt bzw. analysiert
- Ungefilterte Proben (Schwebstoffe lösen sich bei Säurezugabe)

### 3.1.2.9 Bestimmungs- und Nachweisgrenze

Werte unter der Bestimmungs- und Nachweisgrenze wurden durch den halben Konzentrationswert (DVWK (1992)) ersetzt, um sie in die Bewertung mit einfließen zu lassen.

## 3.2 Grundlagen der Statistik

### 3.2.1 Deskriptive und Explorative Statistik

Die deskriptive Statistik liefert Methoden, Parameter und Visualisierungen, um Informationen zu einem gewonnenen Datensatz hinsichtlich Größenordnungen, Häufigkeitsverteilungen und Varianz zusammenzufassen und zu beschreiben. So gewinnt man einen guten und schnellen Eindruck über den gesamten Datensatz, die Verteilung der einzelnen Variablen und erste mögliche Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern. Nachfolgend werden die wichtigsten deskriptiven Methoden und Formeln erklärt.

Bei den vorliegenden hydrochemischen Analysen handelt es sich um metrische Daten. Dies bedeutet, dass sich die Werte in genormten Einheiten quantifizieren und in zahlenmäßigen Größenordnungen ausdrücken lassen. Des Weiteren handelt es sich um quantitative, kontinuierliche oder stetige Variablen, d. h. zwischen zwei Werten können

beliebig viele weitere Werte liegen, in Abhängigkeit der messbaren bzw. gewünschten Genauigkeit.

### 3.2.1.1 Mittelungsmaße

Zuerst werden die Mittelungsmaße betrachtet: Mittelwert, Modus und Median. Diese fassen die Daten hinsichtlich der mittleren bzw. häufigsten Werte zusammen. Die Einheiten entsprechen jeweils dem betrachteten Parameter.

Das arithmetische Mittel  $\bar{x}$  (arithmetischer Mittelwert) gibt den Durchschnittswert einer Zahlenreihe an. Dafür werden alle Werte des Parameters aufsummiert und durch die Anzahl der Werte dividiert.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

mit  $n$ : Grundgesamtheit = Anzahl Messwerte,  $x_i$ :  $i$ -te Messwert

Der Median  $\tilde{x}$  gehört zu den Quartil-Werten (2. Quartil) und ist jener Wert einer Zahlenreihe, bei dem 50 % der Beobachtungen unterhalb und 50 % oberhalb liegen, d. h. der Wert, welcher in der Mitte der geordneten Datenreihe liegt.

$$\tilde{x} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (\text{bei ungerader Grundgesamtheit})$$

$$\tilde{x} = \frac{x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}}{2} \quad (\text{bei gerader Grundgesamtheit})$$

mit  $n$ : geordnete Grundgesamtheit

Da beim arithmetischen Mittel alle Werte in die Berechnung mit einfließen, haben Ausreißer einen höheren Einfluss auf das Ergebnis als beim Median, wodurch es zu einer Verfälschung der Aussage kommen kann.

Arithmetisches Mittel, Modus und Median geben Aufschluss über die Symmetrie der Datenverteilung. Bei eingipfeligen Verteilungen gibt es einen häufigsten Wert bzw. einen Wertebereich mit der höchsten Dichte, die Häufigkeiten der anderen Werte nehmen beidseitig ab. Gleichen sich arithmetisches Mittel, Modus und Median, liegt eine symmetrische Verteilung vor. Unterscheiden sich diese Maße (stark) voneinander, liegt eine unsymmetrische Verteilung vor. Man unterscheidet in rechtssteile (linksschiefe) und linkssteile (rechtsschiefe) Verteilungen (siehe Kapitel 3.2.2).

Ergänzend zum Median gibt es noch das 1. und 3. Quartil – diese geben analog zum Median jene Werte an, bei denen 25 % bzw. 75 % der Beobachtungen unterhalb liegen.

$$Q = \frac{p}{100} * n$$

mit  $n$ : Grundgesamtheit,  $p$ : gewünschtes Quartil

### 3.2.1.2 Variationsmaße

Weiter werden die Variationsmaße betrachtet: Spannweite, Standardabweichung, Varianz und Variabilität. Diese betrachten die Variation der Daten.

Die Spannweite  $Sp$  beschreibt die Differenz zwischen höchstem und niedrigstem betrachtetem Wert eines Merkmals.

$$Sp_x = x_{max} - x_{min}$$

mit  $x_{max}$ : höchster Wert des Parameters,  $x_{min}$ : niedrigster Wert des Parameters

Die Standardabweichung  $\sigma$  gibt die Breite der Datenverteilung an bzw. die mittlere Abweichung der Streuung vom Mittelwert des Parameters. Die Standardabweichung berechnet sich aus der Quadratwurzel der Varianz. Die Varianz ist die Summe der quadrierten Abweichungen aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl der Messwerte.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

mit  $n$ : Grundgesamtheit,  $\bar{X}$ : arithmetisches Mittel,  $X_i$ :  $i$ -te Messwert

Generell gibt eine kleinere Standardabweichung eine engere Streuung des betrachteten Parameters um den Mittelwert an, eine größere Standardabweichung eine breitere Streuung.

Die Varianz  $s$  ist ebenfalls ein Maß für die Streuung der Daten und bildet sich, wie eingangs erwähnt, aus der Summe der quadrierten Abweichung aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl der Messwerte.

$$s^2 = var(X) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})}{n}$$

mit  $n$ : Grundgesamtheit,  $\bar{X}$ : arithmetisches Mittel,  $X_i$ :  $i$ -te Messwert

Dabei gilt, je höher der Wert der Varianz, umso größer ist die Streuung um das arithmetische Mittel. Die Einheiten der Spannweite und Standardabweichung entsprechen jeweils jenen des Parameters, die Einheit der Varianz entspricht der quadrierten Einheit des Parameters.

Die bisher vorgestellten Methoden eignen sich für die Betrachtung einzelner Parameter, sind also eindimensional. Bei mehreren Dimensionen und damit Parametern sind andere statistische Methoden nötig, um Beziehungen zwischen diesen Parametern aufzeigen zu können.

Um die Streuungen verschiedener Parameter auch bei möglicherweise unterschiedlichen Mess- oder Analyseeinheiten vergleichen zu können, wird der Variationskoeffizient  $v_x$

berechnet. Dafür wird die Standardabweichung zum arithmetischen Mittel ins Verhältnis gesetzt und in Prozent angegeben.

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} * 100$$

mit  $\sigma_x$ : Standardabweichung des Parameters  $x$ ,  $\bar{x}$ : arith. Mittel des Parameters  $x$

Variationskoeffizienten  $> 1$  sind ein Anzeichen für Extremwerte im Datensatz, die weitere statistische Betrachtungen verfälschen können.

### 3.2.1.3 Darstellung

Diese deskriptiven Maße lassen sich graphisch in Form von Boxplots und Histogrammen darstellen und ermöglichen so einen schnellen visuellen Überblick über die Streuungsmaße des betrachteten Parameters.

In einem Histogramm werden die Werte eines Parameters in Klassen zusammengefasst und die Häufigkeiten pro Klasse aufgetragen. Dadurch kann die Verteilungsform, z. B. Normalverteilung, abgeschätzt werden. Eine mehrgipfelige Verteilung liefert unter Umständen Hinweise auf unterschiedliche Gruppierungen innerhalb des Datensatzes. Histogramme liefern weiters Lage und Anzahl möglicher Extremwerte.

Eine weitere Darstellungsform sind Boxplots bzw. Whisker-Boxplots. Die Box stellt dabei den Interquartilsabstand dar. Der Median (2. Quartil) wird durch einen Balken oder Strich in der Box symbolisiert, das arithmetische Mittel kann durch einen Punkt (Kreuz) dargestellt werden. Die Whisker stellen den höchsten und niedrigsten Wert der Verteilung dar, die keine Ausreißer sind. Als Ausreißer werden Werte definiert, die um das 1,5- bis 3-fache vom 1. bzw. 3. Quartil abweichen. Werte, die um über das 3-fache abweichen, gelten als Extremwerte.

Boxplots eignen sich für den direkten Vergleich der Streuungsmaße mehrerer unterschiedlicher Parameter bzw. unterschiedlicher Ausprägungen eines Parameters. Zusätzlich lässt sich anhand der Boxplots ähnlich wie bei Histogrammen eine ungefähre Aussage bezüglich der Verteilungsform machen (Abbildung 10):

- Rechtsschief: mittlere 50 % und Median tendenziell im unteren Bereich zwischen den Whiskern, oberer Whisker länger als unterer
- Linksschief: mittlere 50 % und Median tendenziell im oberen Bereich zwischen den Whiskern, unterer Whisker länger als der obere
- Symmetrisch: Whisker oben und unten etwa gleich lang, Median liegt mittig

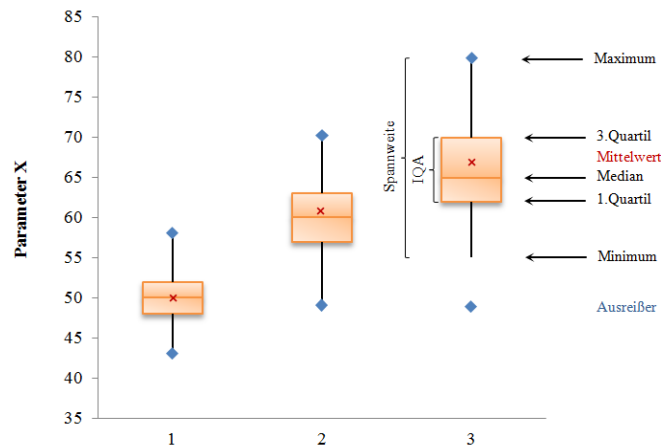


Abbildung 10: Whisker-Boxplot zeigt graphisch die wichtigsten Streuungsmaße

### 3.2.2 Verteilungsformen

Für diverse geostatistische Untersuchungsmethoden ist eine normalverteilte Grundgesamtheit Voraussetzung. Verteilungen zeigen die (absoluten oder relativen) Häufigkeiten von Merkmalswerten.

Eine Normalverteilung, auch Gauß'sche Glockenkurve genannt, zeigt eine symmetrische Verteilungsform des Datensatzes. Der Kurvenverlauf ist symmetrisch, Mittelwert und Median sind deckungsgleich und bilden das Maximum der Verteilungskurve.

Durch die Z-Transformation der Variablen erhält man die standardisierte Normalverteilung mit Erwartungswert 0 und Standardabweichung 1.

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma_x}$$

mit  $\bar{X}$ : arithmetisches Mittel,  $\sigma_x$ : Standardabweichung

Bei einer Normalverteilung gilt:

- $\bar{X} \pm 1\sigma$  bzw.  $z = \pm 1$ : 68,27 % der Werte
- $\bar{X} \pm 2\sigma$  bzw.  $z = \pm 2$ : 95,45 % der Werte
- $\bar{X} \pm 3\sigma$  bzw.  $z = \pm 3$ : 99,73 % der Werte

Größere Abweichungen entsprechen Ausreißern.

Zur Überprüfung, ob der Datensatz normalverteilt ist, können folgende Methoden verwendet werden:

- Normalisiertes Quantil-Quantil Diagramm (QQ-Diagramm)  
Hierbei werden die der Größe nach kumulativ sortierten Daten mit der Standardnormalverteilungsfunktion verglichen. Der Vergleich erfolgt mit Hilfe einer Referenzgeraden. Abweichungen zwischen theoretischer Normalverteilung und empirischer Verteilung zeigen sich in abweichenden Werten von der Geraden.

- Skewness und Kurtosis

Die Schiefe (Skewness) ist ein Maß für die Symmetrie bzw. Asymmetrie des Datensatzes:

- Werte um 0: Normalverteilung
- Werte  $> 0$ : rechtsschiefe Verteilung
- Werte  $< 0$ : linksschiefe Verteilung

Die Kurtosis ist ein Maß für die Streuung bzw. Kompaktheit des Datensatzes:

- Werte um 0: Normalverteilung
- Werte  $> 0$ : hohe Dichte bzw. geringe Streuung
- Werte  $< 0$ : geringe Dichte bzw. hohe Streuung

Eine stark negative Kurtosis weist auf eine bimodale Verteilung hin.

### 3.3 Multivariate Statistik

#### 3.3.1 Korrelationskoeffizient

Die Kovarianz  $cov$  erweitert die Varianz um eine Dimension, indem man die Differenz zwischen der ersten Variablen  $X$  und ihrem Mittelwert multipliziert, mit der Differenz zwischen der zweiten Variablen  $Y$  und ihrem Mittelwert aufsummiert und dann durch die Anzahl Messwerte dividiert.

$$cov(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n}$$

mit  $n$ : Grundgesamtheit,  $\bar{X}$ : arithmetisches Mittel von  $X$ ,  $X_i$ :  $i$ -te Messwert,  $\bar{Y}$ : arithmetisches Mittel von  $Y$ ,  $Y_i$ :  $i$ -te Messwert

Ein positiver Kovarianz-Wert bedeutet, dass beide Parameter gemeinsam zunehmen, ein negativer, dass ein Parameter zunimmt während der andere abnimmt. Ein Kovarianz-Wert nahe Null bedeutet Unabhängigkeit der Variablen.

Der Korrelationskoeffizient  $\rho$  ist ein Maß für den Zusammenhang zwischen 2 Variablen. Voraussetzung ist ein linearer Zusammenhang zwischen diesen Variablen, Normalverteilung bei beiden Parametern sowie Datenunabhängigkeit zwischen den Stichproben. Der Korrelationskoeffizient berechnet sich aus der Kovarianz dividiert durch die Wurzel aus dem Produkt der Standardabweichung der beiden Parameter.

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X, Y)}{\sqrt{\sigma_X^2 * \sigma_Y^2}}$$

mit  $cov(X, Y)$ : Kovarianz zwischen Parameter  $X$  und  $Y$ ,  $\sigma_{x,y}$ : Standardabweichung der Parameter  $X$  und  $Y$

Des Weiteren lässt sich die Rangkorrelation nach SPEARMAN ermitteln. Diese ist unabhängig der Verteilungsform der Parameter und erlaubt eine Abschätzung der Korrela-

tion auch bei nicht linearem Zusammenhang. Der Rangkorrelationskoeffizient  $\rho_R$  ergibt sich aus der Rangplatzdifferenz der in aufsteigender Rangfolge sortierten Parameter.

$$\rho_R = 1 - \frac{6 * \sum D_i^2}{n^3 - n}$$

mit  $D_i$ : Rangplatzdifferenz,  $n$ : Grundgesamtheit

### 3.3.2 Hauptkomponentenanalyse

Multivariate Daten können nicht zweidimensional dargestellt werden. Je mehr Variablen ein Datensatz enthält, umso schwieriger werden die Darstellung und das Verständnis der Zusammenhänge. Ziel der Hauptkomponentenanalyse ist die Analyse eines Datensatzes mit abhängigen, korrelierten Variablen. Dabei werden aus dem Datensatz durch lineare Transformation der Variablen die relevanten Informationen extrahiert und in Form einer geringeren Anzahl an Variablen, den Hauptkomponenten, dargestellt. Diese sollen einen größtmöglichen Anteil der Varianz des ursprünglichen Datensatzes erklären. Die neuen Variablen sollen orthogonal und dadurch unkorreliert sein.

Die Datenreduktion erfolgt in Form von Linearkombinationen als Gerade zwischen den Variablen, ähnlich einer Regressionsgeraden. Mathematisch handelt es sich bei diesem Verfahren um eine Rotation des Koordinatensystems. Die 1. Hauptkomponente entsteht dabei durch Minimierung der Summe der quadrierten Abweichungen aller Variablen. Dazu wird jener Varianzanteil, den die Komponente über alle Variablen hinweg erklären kann, maximiert. Die 2. Hauptkomponente steht senkrecht auf der 1. Die verbleibende Varianz soll durch die weiteren Hauptkomponenten erklärt werden. Die Anzahl der Hauptkomponenten ist abhängig vom Datensatz und gewünschten Maß an erklärter Varianz. Nicht relevante Komponenten, die ein Rauschen in den Daten beschreiben, können weggelassen werden.

Voraussetzungen für die Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse sind:

- Lineare Beziehung zwischen den Variablen
- Keine Ausreißer
- Stetige Variablen
- Mindeststichprobengröße

Für die Mindeststichprobengröße existieren unterschiedliche Literaturangaben, variierend von Minimum 4 Daten pro Variable (LITTLE (2013)) über ca. 20 Daten pro Variable (SCHUMACKER (2016)) bis hin zu mehrere 100 Daten pro Variable (GUILFORD (1954), GORSUCH (1983), nach MACCALLUM et al. (1999)).

Die Hauptkomponentenanalyse liefert als Ergebnis folgende Teile:

- Grundlegende statistische Parameter, Mittelwert und Standardabweichung

Diese geben einen Überblick über die Verteilung und Differenzen in der Skalierung der Daten. Bei hohen Differenzen in der Skalierung empfiehlt sich eine Standardisierung der Werte, dies hat jedoch keinen Einfluss auf das Ergebnis.

- **Korrelationsmatrix**

Die Berechnung der Korrelationsmatrix dient der Findung geeigneter Variablen für die Hauptkomponentenanalyse. Ungeeignet sind Variablen, die mit anderen nicht oder nur gering korrelieren. Es gilt: Je höher der Korrelationskoeffizient, umso stärker die Beziehung zwischen den Variablen. Das Vorzeichen (negativ oder positiv) gibt Aufschluss über die Art der Beziehung (siehe Kapitel 3.3.1)

Die Eignung von Variablen lässt sich durch das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO) bestimmen. Dieses errechnet sich aus den partiellen Korrelationen zwischen Variablen. Ein Wert um 1 bedeutet geringe partielle Korrelationskoeffizienten und somit Eignung der Variablen. MÖHRING & SCHLÜTZ (2013) und TABACHNICK & FIDELL (2014) empfehlen ein KMO von  $> 0,6$ , CLEFF (2015), HARTAS (2010) und FIELD (2013) empfehlen ein KMO von wenigstens  $> 0,5$ .

Des Weiteren sollte mit dem Bartlett-Test auf Sphärizität überprüft werden, ob die Korrelationsmatrix eine Identitätsmatrix ist, d. h. ob zwischen einigen Variablen eine Korrelation vorliegt. Dieser Test sollte signifikant, d. h.  $p > 0,05$  ausfallen.

- **Eigenwerte**

Durch Bildung von linearen Variablenkombinationen werden die Hauptkomponenten ausgewiesen, die den höchsten Anteil der Streuung (Varianz) der Variablen erklären. Dabei wird der Eigenwert der Komponenten berechnet. Dieser gibt an, welchen Anteil (in %) die jeweilige Komponente an der Gesamtstreuung hat. Gemäß dem Kaiser-Guttman-Kriterium (GUTTMAN (1954), KAISER (2016)) sollten nur Eigenwerte  $> 1$  verwendet werden. Alternativ empfiehlt URDAN (2010) Komponenten, die  $< 10\%$  der Varianz erklären, auszuschließen.

- **Transformation**

Die Hauptkomponentenmatrix wird einer Transformation unterzogen (Rotation). Für die Rotation der Daten stehen unterschiedliche Modelle zur Verfügung, wobei zwischen orthogonalen und schiefen Rotationsverfahren unterschieden wird. Beim orthogonalen Verfahren sind die Faktoren am Ende unkorreliert, bei einem schiefen Verfahren nicht zwingend. Des Weiteren lassen sich Ergebnisse aus orthogonalen Verfahren besser interpretieren. Jedoch bilden gemäß COSTELLO & OSBORNE (2005) schiefe Verfahren die tatsächlichen Verhältnisse mit besseren reproduzierbaren Ergebnissen ab.

Ein verbreitetes Rotationsverfahren ist Varimax. Es handelt sich um ein orthogonales Verfahren. Ziel ist, die Varianz in einer Hauptkomponente zu maximieren, sodass hohe Ladungen größer und niedrige Ladungen kleiner werden. Da-

durch werden Gruppen von Variablen gebildet, die hoch auf unterschiedlichen Komponenten laden. Dabei kann es allerdings vorkommen, dass Variable auf keiner Komponente hoch laden.

Am Ende wird eine Tabelle mit Faktoren und Faktorladungen ausgegeben. Die Faktoren geben an, wie oft sich die Daten unterteilen lassen. Die Faktorladungen geben an, wie stark eine Variable mit dem Faktor in Verbindung steht. Faktorladungen lassen sich wie Korrelationen interpretieren.

- **Screeplot**  
Verdeutlicht das Kaiser-Guttman-Kriterium und stellt die Eigenwerte graphisch dar. Der Screeplot kann ebenfalls zur Auswahl der einzubeziehenden Eigenwerte verwendet werden.

## **3.4 Geostatistik**

### **3.4.1 Allgemeines**

Die Geostatistik beschäftigt sich mit Zusammenhängen und Analysen räumlicher bzw. raum-zeitlicher Variablen. Dies basiert auf der Annahme der räumlichen Korrelation sowie dem Prinzip der räumlichen Abhängigkeit (regionalized variables). Ziel ist aus punktuell erfassten Daten über räumliche Interpolation auf das gesamte betrachtete Untersuchungsgebiet zu schließen. Basis hierfür ist die Annahme, dass näher beieinanderliegende Werte aufgrund räumlicher Korrelation eine größere Ähnlichkeit haben als weiter entfernte (TOBLER (1970)).

Mithilfe der Variographie erfolgt zuerst eine Abschätzung bis zu welcher Entfernung und in welchem Ausmaß Variablen voneinander abhängen. Dafür werden experimentelle Semivariogramme erstellt und die Ähnlichkeiten mittels Modellfunktion beschrieben. Diese Modellfunktion bildet anschließend die Basis für die Interpolation mittels Kriging. Dabei erhalten die gemessenen Werte je nach Nähe zum Schätzwert und in Abhängigkeit der ermittelten Modellfunktion unterschiedliche Wichtungen. Voraussetzung für diese Interpolation sind Homogenität und Stationarität.

### **3.4.2 Variographie**

Ziel der Variographie ist das Entdecken räumlicher Autokorrelationen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass näher zusammenliegende Punkte einander ähnlicher sind als weiter auseinander liegende – die Varianz nimmt mit zunehmender Distanz zu. In der Variographie werden Punktpaare hinsichtlich ähnlicher Richtung und Distanz gruppiert und so ein Variogramm-Modell ermittelt. Basierend darauf kann im nächsten Schritt mit Interpolationsverfahren eine Vorhersage bezüglich nicht gemessener Punkte getroffen werden.

Eine regionalisierte bzw. ortsabhängige Variable hat einen definierten Ortsbezug (in einem Koordinatensystem) und der z-Wert nimmt an jeder Stelle einen beliebigen Wert ein. Ortsabhängige Variable besitzen Kontinuität zwischen den Punkten, aufgrund der Komplexität lassen sie sich aber nicht mit einer rein deterministischen Funktion beschreiben. Ortsabhängige Variable, die einer Messung von Werten in Abhängigkeit vom jeweiligen Ort entsprechen, werden als Zufallsvariable bezeichnet und sind das Ergebnis eines Zufallsprozesses. Messungen an einem Ort entsprechen also einer Realisation dieser Zufallsvariablen.

Diese graduelle Abhängigkeit kann gemäß der Theorie der regionalisierten bzw. ortsabhängigen Variablen nach MATHERON (1963), basierend auf empirischen Arbeiten von KRIGE (1951), quantifiziert werden. Dabei wird die regionalisierte Variable in drei Komponenten zerlegt – eine Trendkomponente, eine zufällige lokale Ortsabhängigkeit und eine Fehlervarianz. Die Zufallsfunktion beschreibt die Abhängigkeiten (Autokorrelation) der Werte. Die daraus entstehende Wahrscheinlichkeitsverteilung wird als räumliches Verteilungsgesetz bezeichnet.

Die räumliche Varianz einer ortsabhängigen Variablen wird mit Streudiagrammen dargestellt. Hierbei handelt es sich um ein xy-Diagramm aller Wertepaare ( $z(x)$ ,  $z(x+h)$ ) einer ortsabhängigen Variablen  $z$  die durch einen festgelegten Abstand  $h$  voneinander getrennt sind. Je größer die Streuung desto größer ist die Varianz der Variablen. Dabei werden die Daten in Abstandsklassen aufgeteilt. Pro  $h$ -Diagramm wird eine Abstandsklasse dargestellt, die gesamte räumliche Varianz muss mit mehreren Streudiagrammen abgedeckt werden.

Die Kovarianz  $cov(h)$  der Wertpaare ( $z(x)$ ,  $z(x+h)$ ) lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$cov(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} z(x_i) * z(x_i + h) - (\bar{x}_x * \bar{x}_{x+h})}{n(h)}$$

wobei

$$\bar{x}_x = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} z(x_i)}{n(h)} \quad \text{und} \quad \bar{x}_{x+h} = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} z(x_i + h)}{n(h)}$$

mit  $n(h)$ : Anzahl Wertepaare in Abstandsklasse  $h$ ,  $z(x)$  Wert der ortsunabhängigen Variablen am Punkt  $x$ ,  $z(x+h)$ : Wert der Variablen am Punkt  $x+h$

Bei Kovarianzen verschiedener Abstandsklassen bezeichnet man die Folge der geordneten Kovarianzen als experimentelle Kovarianzfunktion (GRAMS (2000), nach GOOVAERTS (1997)). Korrelogramme sind die standardisierte Form von experimentellen Kovarianzfunktionen, sie ergeben sich aus den geordneten Korrelationskoeffizienten:

$$\rho(h) = \frac{cov(h)}{\sqrt{s_x^2 * s_{x+h}^2}}$$

wobei

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - \bar{x}_x]^2}{n(h)} \quad \text{und} \quad s_{x+h}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i + h) - \bar{x}_{x+h}]^2}{n(h)}$$

Beim experimentellen Semivariogramm wird die Unähnlichkeit zwischen Wertepaaren einer Abstandsklasse gemessen. Das experimentelle Semivariogramm entspricht der halben, mittleren quadratischen euklidischen Distanz zwischen den Werten jedes Wertepaares ( $z(x)$ ,  $z(x+h)$ ) der Abstandsklasse  $h$ .

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} * \frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Der Wert des experimentellen Semivariogramms wird für einen vorgegebenen Abstand  $h$  als Semivarianz bezeichnet (GRAMS (2000), GOOVAERTS (1997)).

Zuerst werden für alle Messpunktpaare die Distanzen im betrachteten Untersuchungsraum über die quadratische euklidische Distanz berechnet. Anschließend werden Entfernungsintervalle („lags“) gebildet und die Punktpaare gruppiert (in „bins“). Dafür werden alle Punktpaare nach ihrer Distanz und Richtung gruppiert, pro Gruppe („bin“) wird der Mittelwert berechnet. In den Semivariogrammen werden auf der x-Achse die Distanzen als Distanzintervalle unabhängig der Himmelsrichtung, entlang der y-Achse die gemittelten Werte der Semivarianzen je bin aufgetragen (empirisches Semivariogramm, rote Punkte in Abbildung 11).

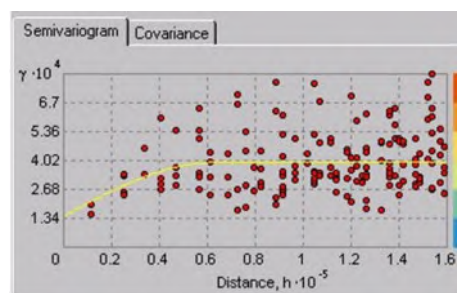


Abbildung 11: Semivariogramm aus ESRI ArcMap

Mittels einer Regressionsanalyse über alle „lags“ wird dann das theoretische Semivariogramm bzw. das Semivariogramm-Modell (gelbe Linie in Abbildung 11) ermittelt. Dieses Modell repräsentiert die bestmögliche Anpassung an die Punktwolke über die Minimierung der Summe der Abweichungsquadrate.

Wichtig ist eine geeignete Festlegung der „lag“- und „bin“-Größen. Geringe „lag“-Distanzen erlauben die Analyse lokaler Variationen und damit kleinräumiger Ausprägungen räumlicher Autokorrelationen. Da hierbei die Aufteilung auf die „bins“ diffe-

renzierter erfolgt, wird die Semivariogramm-Kurve steiler. Es ist ein „overfitting“ des Modells zu vermeiden. In einer ersten Näherung zur Festlegung der „lags“ und „bins“ dient folgende Formel:

$$lag_{size} * lag_{num} = \frac{1}{2} * d_{max}$$

mit  $d_{max}$ : maximale Distanz zwischen Punktpaaren

Im Verlauf des Variogramms (Abbildung 12) sind die Semivarianzen zu Beginn noch geringer bzw. die räumliche Autokorrelation hoch. Mit zunehmender Distanz nehmen die Semivarianzen bis zu einem gewissen maximalen Wert zu und bleiben dann annähernd konstant.

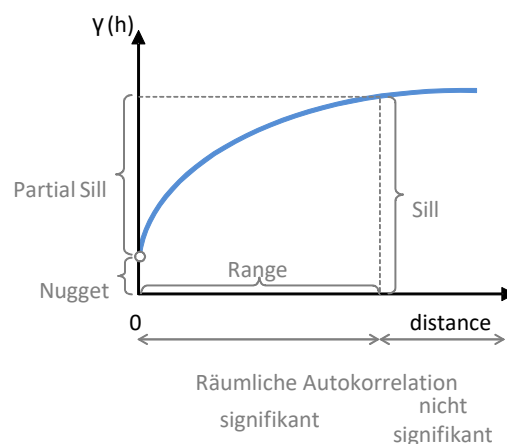


Abbildung 12: Graphische Darstellung der Begrifflichkeiten im Semivariogramm-Modell

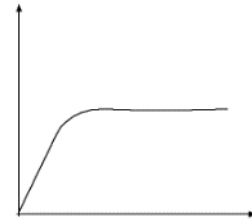
Das dazugehörige Distanzintervall wird „Range“ genannt, der Bereich bis zum Erreichen des maximalen Semivarianzwerts „Sill“ bzw. „Partial Sill“. Die „Range“ entspricht der signifikanten räumlichen Autokorrelation. Wird kein Schwellenwert erreicht, kann dies auf einen Datentrend hinweisen. Die Variogrammfunktion verläuft normalerweise durch den Ursprung. Ergibt sich ein Wert ungleich Null, spricht man vom Nugget-Effekt. Dieser entsteht entweder durch Messfehler im Datensatz oder minimale Variabilitäten, die aufgrund der Beprobungsabstände nicht erfasst werden. Der Nugget-Effekt sollte maximal die Hälfte, eher nur ein Drittel, der Semivarianz erreichen.

Das experimentelle Semivariogramm sowie Kovarianzfunktion liefern für die Abstandsklassen  $h$  experimentelle Werte für die Semivarianz  $\gamma(h)$  und Kovarianz  $cov(h)$ . Um diese Werte für jeden beliebigen Abstand ableiten zu können, werden an diese experimentellen Werte Modelle angepasst. Die wesentlichsten Modelle sind:

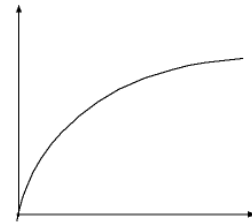
Beim Nugget-Modell ist die Variabilität der Parameter kleinräumiger als die geringsten Probenabstände. Der Nuggeteffekt kann auf Fehler im Datensatz (fehlerhafte

Probenahme oder Analytik) oder kleinräumige Variationen hinweisen.

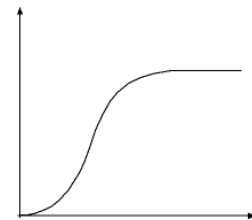
Das Sphärische Modell weist bei geringen Abständen ein lineares Verhalten auf. Es erfolgt ein allmählicher Übergang zum Plateau, wenn der Schwellenwert erreicht ist. Die „Range“ ist der Distanz-Wert, bei dem der Schwellenwert erreicht wird.



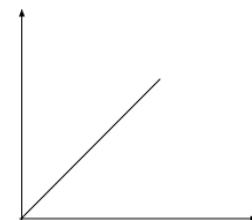
Das exponentielle Modell zeigt bereits bei geringen Abständen einen gekrümmten Verlauf. Die Annäherung an den Schwellenwert erfolgt asymptotisch. Die „Range“ ist der Distanz-Wert, bei dem 95 % des Schwellenwertes erreicht werden.



Das Gauß'sche Modell weist einen parabolischen Verlauf auf, die Annäherung an den Schwellenwert erfolgt ebenfalls asymptotisch. Analog dem exp. Modell ist die „Range“ der Distanz-Wert, bei dem 95 % des Schwellenwertes erreicht werden. Das Gauß'sche Modell beschreibt Zufallsfunktionen von Variablen mit sehr hohen räumlichen Zusammenhängen, beispielsweise Grundwasserspiegel oder Geländehöhen.



Das lineare Modell erreicht keinen Schwellenwert.



Häufig werden experimentelle Semivariogramm-Modellanpassungen durch den sogenannten Locheffekt erschwert: nach Erreichen eines Schwellenwerts fällt das experimentelle Semivariogramm mit zunehmender Distanz wieder ab, es stellt sich kein Plateau ein. Ursache für diesen Effekt sind nah beieinander liegende Bereiche mit stark voneinander abweichenden, also mit hohen und niedrigen, Werten. Solche Semivariogramme lassen sich am besten durch ein sphärisches Modell, bei dem der Maximalwert dem Schwellenwert entspricht, beschreiben.

Ist eine richtungsgebundene, systematische Zu- oder Abnahme der Parameter zu beobachten, liegt ein Drift vor: nach Erreichen eines Schwellenwerts steigt das experimentelle Semivariogramm parabolisch an, das bedeutet, dass bei großen Abständen die zugrundeliegende Funktion nicht mehr stationär ist. In diesem Fall darf Kriging strenggenommen nicht mehr eingesetzt werden.

Anisotropie: Anisotropie herrscht vor, wenn für eine Variable das experimentelle Variogramm in unterschiedlichen Richtungen einen unterschiedlichen Verlauf zeigt. Unterschieden werden dabei geometrische und zonale Anisotropie. Bei der geometrischen Anisotropie variiert der Wert in vertikaler Richtung, beispielsweise sind hydraulische Leitfähigkeitswerte in diversen geologischen Schichten in vertikaler Richtung geringer als in horizontaler. Bei zonalen Anisotropien variieren die Werte in unterschiedlichen horizontalen Richtungen.

Gute Voraussetzung für Variogramme sind umfangreiche, homogene und normalverteilte Daten. Kontraproduktiv sind starke Clusterbildung, Extremwerte oder lognormale Verteilungen. Der Datensatz kann durch Transformation oder Löschen von Extremwerten den idealen Bedingungen angenähert werden.

### **3.4.3 Kriging**

#### **3.4.3.1 Allgemein**

Viele räumlich kontinuierlich variierende Oberflächen können naturgemäß nicht flächendeckend beobachtet bzw. gemessen werden. Es kann nur eine punktuelle Erfassung des Phänomens erfolgen. Ausgehend von den punktuell erfassten Daten soll flächendeckend auf das ganze Untersuchungsgebiet rückgeschlossen werden. Zur Quantifizierung der Parameter an den nicht gemessenen Stellen kommen Verfahren zur räumlichen Interpolation zur Anwendung. Ziel der Interpolation ist es, Näherungswerte für nicht gemessene Punkte zu ermitteln und aus den punktuellen Daten ein möglichst genaues Verständnis der thematischen Variation im Untersuchungsgebiet zu erlangen.

Bei der Interpolation wird ein Wert zwischen zwei bekannten Stützpunkten ermittelt. Approximation bedeutet die Anpassung einer mathematischen Funktion an den Datenbestand mit geringst möglicher Abweichung. Typisch für Approximation ist beispielsweise Kriging. Kriging steht dabei als Überbegriff für eine Reihe an Schätzverfahren. Kriging ist eine probabilistische Interpolationsmethode: sie berücksichtigt die räumlich-korrelative Beziehung zwischen den Messpunkten, ergibt Schätzoberflächen (Prediction Surface/Map) und dazugehörige Fehleroberflächen (Prediction Standard Error Surface). Kriging liefert dabei den besten Schätzwert (BLUE = Best Linear Unbiased Estimator), bezieht über Variogramme die räumliche Struktur der Daten ein und gibt für jeden Punkt eine Fehlervarianz zurück (SCHAFMEISTER (1999)).

#### **3.4.3.2 Ordinary Kriging**

Bei Simple Kriging wird für das Untersuchungsgebiet ein Erwartungswert (E) angenommen. Dieser ergibt sich aus dem Mittelwert der bekannten Variablenwerte. Dieser Wert wird auch für die unbekannten Punkte herangezogen. Dabei ermöglicht Simple Kriging eine Abschätzung, wie groß die Differenz zwischen wahrem und Schätzwert ist.

Der gesuchte Punkt  $x_0$  berechnet sich aus der Differenz zwischen Erwartungswert und Werten der bekannten Punkte  $x_i$ , multipliziert mit den Krigingschätzwichten.

Im Unterschied dazu ist beim Ordinary Kriging der Erwartungswert nicht bekannt, dieser muss schrittweise ermittelt werden. Ein unbeprobter Punkt wird durch ein gewichtetes Mittel der vorhandenen, bekannten Nachbarpunkte geschätzt. Der Schätzwert  $z_0^*$  für den unbekannten Werte  $z_0$  berechnet sich aus dem gewichteten Mittelwert der umgebenden Nachbarpunkte (GRAMS (2000), SCHAFMEISTER (1999)).

$$z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i)$$

Dabei sind die Gewichte  $\lambda$  so zu bestimmen, dass der Schätzwert folgende Bedingungen erfüllt (SCHAFMEISTER (1999)):

- |                                              |                                                           |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| (1) $E = \{z_0^* - z_0\} = 0$                | Erwartungstreue                                           |
| (2) $E = \{z_0^* - z_0\}^2 = \text{Minimum}$ | Schätzvarianz bzw. mittlerer quadratischer Fehler minimal |

Unter Annahme von Stationarität (kein Trend) ist der Erwartungswert  $E\{z(x_i)\} = m$  und  $z_0 = m$ . Die Bedingung (1) ergibt dann:

$$E \left\{ \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) - z_0 \right\} = \sum_{i=1}^n \lambda_i m - m = m \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) = 0$$

Daraus folgt, dass die Summe der Gewichte 1 sein muss (SCHAFMEISTER (1999)).

Das Erfüllung der Bedingung (2) wird durch das Variogramm ausgedrückt (SCHAFMEISTER (1999)):

$$E = \{z_0^* - z_0\}^2 = \text{Var}\{z_0^* - z_0\}$$

Ziel ist, die Gewichte  $\lambda$  so zu bestimmen, dass die Schätzvarianz möglichst klein und die Summe der Gewichte etwa 1 wird. Um dies zu erreichen, wird der Lagrange-Multiplikator  $\mu$  eingeführt und stattdessen die Formel  $\varphi = \varphi(\lambda_1, \dots, \lambda_n, \mu)$  verwendet (SCHAFMEISTER (1999)).

$$\varphi = \text{Var}\{z_0^* - z_0\} - 2\mu \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right)$$

Das Minimum erhält man durch Null-Setzen der partiellen Ableitung mit dem Ergebnis eines linearen Kriginggleichungssystems (KGS) mit  $n+1$  Gleichungen, für  $i=1, \dots, n$  (SCHAFMEISTER (1999)):

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_i - x_0)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

Durch Umwandlung des KGS in eine Matrix, Multiplikation mit  $\sum \lambda_i$  und Aufsummieren erhält man für die Kriging-Schätzvarianz:

$$\sigma_K^2 = \text{Var}\{z_0^* - z_0\} = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_0)$$

Zusammenfassend gilt, dass beim Kriging die Lage des unbekannten Punkts in Bezug auf die Datenpunkte und die Struktur der Variablen berücksichtigt wird.

#### 3.4.3.3 Cross Validation

Ob und wie gut die bisher angenommenen Modelle die Ausgangsdaten repräsentieren, lässt sich mit der Kreuzvalidierung (Cross Validation) überprüfen. Dafür werden in dem vorgegebenen Modell an den ursprünglichen Messstützpunkten  $z_i$  die Werte  $z_i^*$  geschätzt bzw. interpoliert. Dafür werden jeweils die benachbarten Stützpunkte, nicht aber der eigentliche Stützpunkt verwendet. Nach so erfolgter schrittweiser Überprüfung aller Stützpunkte werden aus der Differenz der jeweiligen berechneten Fehler zwischen gemessenem und geschätztem Wert die Mittelwerte gebildet, dieser sollte möglichst nahe Null sein. Somit lässt sich für jeden Punkt bzw. für das Modell die Güte der Schätzung überprüfen (SCHAFMEISTER (1999)). Die Cross Validation gibt keinen Aufschluss über die Richtigkeit des gewählten Modells, nur über die Güte der damit geschätzten Ergebnisse.

Folgende Kriterien sollten in der Cross Validation erreicht werden:

*Tabelle 8: Vorgabewerte für Cross Validation*

| Fehler                                                 | Wert                               |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Mean of Prediction Error (Mean)                        | 0                                  |
| Root-Mean-Square Standardized Prediction Error (RMSSE) | 1                                  |
| Root-Mean-Square Prediction Error (RMSE)               | nah beieinander<br>möglichst klein |
| Average Standard Prediction Error (ASE)                |                                    |

#### 3.4.3.4 Eignung des Datensatzes

Gemäß GRAMS (2000) ist es wichtig, den Datensatz auf Anzahl und Verteilung der Stützpunkte sowie räumliche Kontinuität der Variablen zu prüfen, um belastbare Ergebnisse zu erzielen. Hierfür wird der K-Wert ermittelt.

Dieser setzt sich aus dem R-Wert (Beurteilung der Reichweite) und dem N-Wert (Bewertung des Nuggeteffekts) zusammen. Die Reichweite des Variogrammodells entspricht dem maximalen Wirkungsbereich um den Messpunkt. Dieser sollte gemäß GRAMS (2000) größer sein als der minimale Einflussbereich des Messpunkts (Buffer aus Near-Funktion). Über den R-Wert wird die Messstellendichte (von der Probennahme abhängiger Faktor) mit der Reichweite des Variogramms (von der räumlichen Kontinuität der Variablen abhängiger Faktor) verknüpft (GRAMS (2000)).

Nach Prüfung des Datensatzes auf Normalverteilung (und ggf. Transformation) und Validierung von möglichen Extremwerten, wird das Variogrammodell dem experimentellen Variogramm angepasst. Aus den Variogrammodellen lassen sich für die Eignungsprüfung des Datensatzes die Reichweite („Range“) und der Nuggetwert ablesen.

Die Messstellendichte basiert auf Anzahl und Verteilung der Messstellen im Untersuchungsraum. Nach GRAMS (2000) gibt die Messstellendichte an, wie groß der minimale Einflussradius um jeden Stützpunkt sein muss, um eine ausreichende Datendichte für die Berechnung der Schätzwerte zu gewährleisten. GRAMS (2000) empfiehlt eine Berechnung basierend auf mindestens 2 Stützpunkten.

Zur Ermittlung der Messstellendichte wird in ESRI ArcMap mit den Geoprocessing Tools „Near“ (Analysis Tools/Proximity/Generate Near Table) und „Buffer“ (Analysis Tools/Proximity/Buffer) die Entfernung von jedem Stützpunkt zu seinem nächstgelegenen Nachbarn ermittelt. Die maximale Distanz kann anschließend für die Buffererstellung genutzt werden: um jeden Stützpunkt wird ein Buffer mit definiertem Radius (Maximalwert aus Near-Funktion) gelegt. Wenn sich an jedem Punkt mindestens zwei Buffer überlagern, ist eine ausreichende Messpunktdichte nach GRAMS (2000) erreicht. Der so ermittelte Radius entspricht dem minimalen Einflussbereich des Messpunkts.

Der Nuggetwert berechnet sich als prozentualer Anteil am Sill.

Basierend auf dem R- und N-Wert wird dann der K-Wert gebildet:

$$K - Wert = R - Wert * N - Wert$$

## 4 Auswertung und Ergebnisse

### 4.1 Physikalische Parameter

Im nachfolgenden Kapitel wird untersucht, ob anhand der geostatistischen Auswertungen der physikalischen und hydrochemischen Parameter eine Aussage bezüglich räumlicher und zeitlicher Verteilung und Korrelation an den Messpunkten möglich ist. Basierend auf dem Parameter el. Leitfähigkeit sollen erste Verteilungen und mögliche geogene und anthropogene Einflüsse herausgearbeitet werden. Hierfür werden zwei Wasserzustände betrachtet: ein relativer Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) sowie ein relativer Hochwasserabfluss (Dezember 2018).

#### 4.1.1 Fließgewässer

Der Abfluss des Plainfelderbachs (Abbildung 13) schwankte an allen fünf Messorten (Tabelle 9) im Beobachtungszeitraum zwischen 1,04 und 176,98 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $21,91 \pm 46,40$  l/s, der Median bei 2,74 l/s. Einige Messorte waren jedoch zu unterschiedlichen Messterminen trocken.

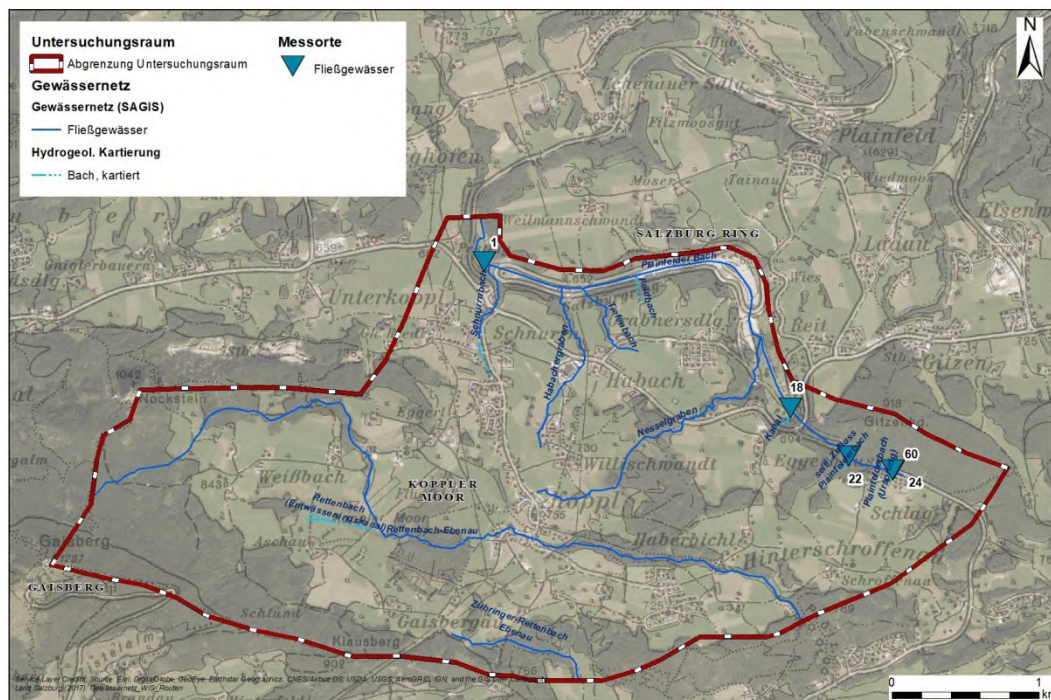


Abbildung 13: Übersichtskarte der Messorte am Plainfelderbach

Der Messort 1, welcher der am flussabwärts gelegenste Messort des Baches ist, zeigt den höchsten Abfluss. Der Abfluss schwankte hier zwischen 10,97 und 176,98 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $67,13 \pm 65,61$  l/s, der Median bei 44,89 l/s. Die restlichen Messorte weisen durchschnittlich Abflüsse geringer als 10 l/s auf.

Tabelle 9: Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Abfluss in [l/s]

| Statistik                | Abfluss [l/s] |         |          |          |          |          |
|--------------------------|---------------|---------|----------|----------|----------|----------|
|                          | Gesamt        | 1 / MO1 | 18 / MO2 | 22 / MO3 | 24 / MO4 | 60 / MO5 |
| Anz. der Beobachtungen   | 39            | 10      | 5        | 8        | 9        | 7        |
| Minimum                  | 0,00          | 10,97   | 0,00     | 1,04     | 0,00     | 1,28     |
| Maximum                  | 176,98        | 176,98  | 4,00     | 7,00     | 0,64     | 5,41     |
| 1. Quartil               | 0,35          | 20,29   | 0,13     | 2,53     | 0,00     | 1,43     |
| Median                   | 2,74          | 44,89   | 0,25     | 4,02     | 0,00     | 2,21     |
| 3. Quartil               | 11,13         | 88,14   | 2,13     | 5,51     | 0,00     | 3,92     |
| Mittelwert               | 21,91         | 67,13   | 1,42     | 4,02     | 0,11     | 2,80     |
| Varianz (n-1)            | 2153,81       | 4304,35 | 5,02     | 17,78    | 0,07     | 2,76     |
| Standardabweichung (n-1) | 46,4          | 65,61   | 2,24     | 4,22     | 0,26     | 1,66     |
| Variationskoeffizient    | 2,1           | 0,9     | 1,3      | 0,7      | 2,2      | 0,5      |
| Schiefte (Pearson)       | 2,6           | 0,9     | 0,7      | 0,0      | 1,8      | 0,6      |
| Kurtosis (Pearson)       | 5,6           | -0,8    | -1,5     | -2,0     | 1,2      | -1,2     |

Am Messort 2 lag der Abfluss zwischen 0 (trocken, Oktober 2018) und 4,0 l/s, im Mittel bei  $1,42 \pm 2,24$  l/s, der Median bei 0,25 l/s. Bachaufwärts zwischen Messort 2 und Messort 3 war der Plainfelderbach im Oktober 2018 auf einer Strecke von ca. 400 m trocken (Abbildung 14).

Der Plainfelderbach führte am Messort 3 an allen Messterminen zwar Wasser, es konnte jedoch nur an 2 Messterminen der Abfluss erfasst werden: gemäß diesen Messungen lag zwischen 1,04 und 7,0 l/s, im Mittel bei  $4,02 \pm 4,22$  l/s, der Median bei 4,02 l/s.



Abbildung 14: Versickerung des Plainfelderbachs zwischen Messort 2 und 3 im Oktober 2018

Der Messort 4 war während des Beobachtungszeitraums meistens trocken oder wies nur stehendes Wasser auf. Im April 2018 konnte einmalig ein Abfluss von 0,64 l/s gemessen werden.

Am Messort 5, welcher in etwa dem Ursprung des Plainfelderbachs entspricht, schwankte der Abfluss zwischen 1,28 und 5,41 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $2,80 \pm 1,66$  l/s, der Median bei 2,21 l/s.

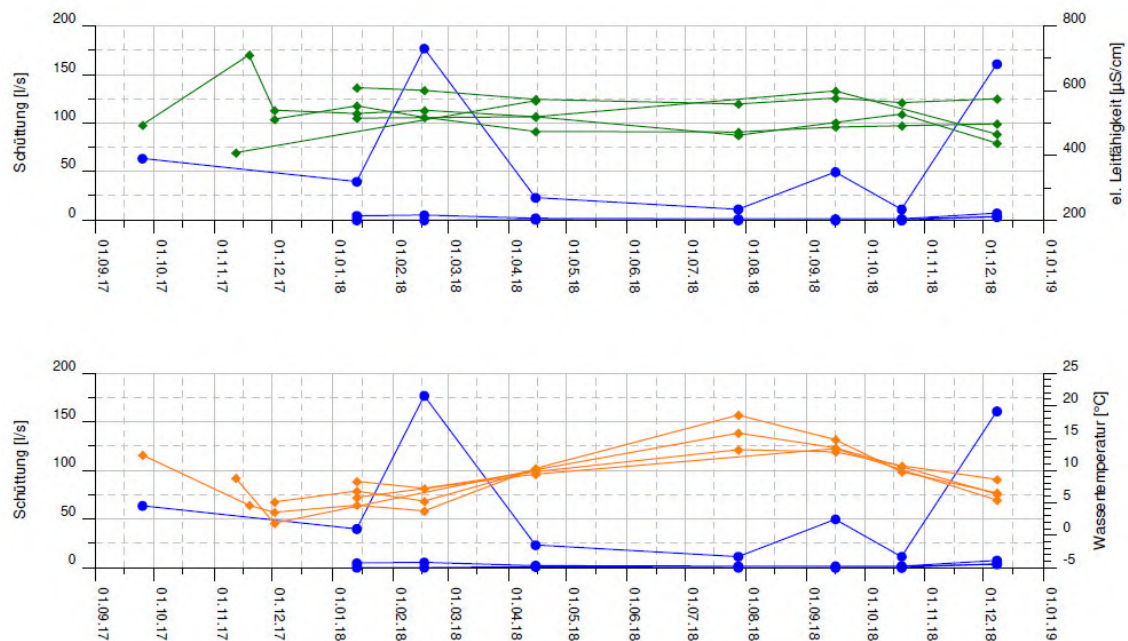


Abbildung 15: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Messorte Plainfelderbach

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe ist an keinem der Messorte ein eindeutiger Jahresgang zu erkennen (Abbildung 15). Jedoch wies der Messort 1 im Februar 2018 den höchsten Abflusswert, im Oktober 2018 den niedrigsten auf. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 17).

Die el. Leitfähigkeiten am Plainfelderbach (Tabelle 14) schwankten im Beobachtungszeitraum zwischen 409 und 711  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Der Mittelwert lag bei  $530 \pm 59 \mu\text{S}/\text{cm}$ , der Median bei 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Tabelle 10: Plainfelderbach – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeiten in [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

| Statistik                | el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |         |          |          |          |          |
|--------------------------|-----------------------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
|                          | Gesamt                                        | 1 / MO1 | 18 / MO2 | 22 / MO3 | 24 / MO4 | 60 / MO5 |
| Anz. der Beobachtungen   | 39                                            | 10      | 5        | 8        | 9        | 7        |
| Minimum                  | 409                                           | 438     | 466      | 472      | 409      | 559      |
| Maximum                  | 711                                           | 711     | 600      | 553      | 569      | 610      |
| 1. Quartil               | 494                                           | 497     | 503      | 485      | 449      | 569      |
| Median                   | 520                                           | 524     | 518      | 496      | 489      | 576      |
| 3. Quartil               | 567                                           | 538     | 540      | 513      | 529      | 589      |
| Mittelwert               | 530                                           | 527     | 525      | 501      | 489      | 580      |
| Varianz (n-1)            | 3490                                          | 5324    | 3077     | 691      | 12800    | 350      |
| Standardabweichung (n-1) | 59                                            | 73      | 55       | 26       | 113      | 19       |
| Variationskoeffizient    | 0,1                                           | 0,1     | 0,1      | 0,0      | 0,2      | 0,0      |
| Schiefe (Pearson)        | 0,7                                           | 1,6     | 0,5      | 0,8      | 0,0      | 0,6      |
| Kurtosis (Pearson)       | 1,4                                           | 2,4     | -1,0     | -0,1     | -2,0     | -1,0     |

Im Dezember 2017 wurde am Messort 4 einmalig ein el. Leitfähigkeitswert von 7.650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemessen. Ein Geräte- oder Messfehler konnte ausgeschlossen werden. Dieser Ausreißer wird in der weiteren statistischen Auswertung der physikalischen Pa-

parameter nicht berücksichtigt. Im November 2017 zeigte sich am Messort 1 ein erhöhter Leitfähigkeitswert von 711  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Aufgrund der Zeitreihe kann nicht eindeutig festgestellt werden, ob es sich um einen Ausreißer handelt. Die el. Leitfähigkeit nimmt im Mittel ausgehend vom Messort 1 zum Messort 4 bachaufwärts von 524 auf 489  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ab. Der Messort 5, welcher in etwa mit dem Messort 4 zusammenfällt, weist jedoch einen deutlich höheren el. Leitfähigkeitswert von im Mittel 580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf.

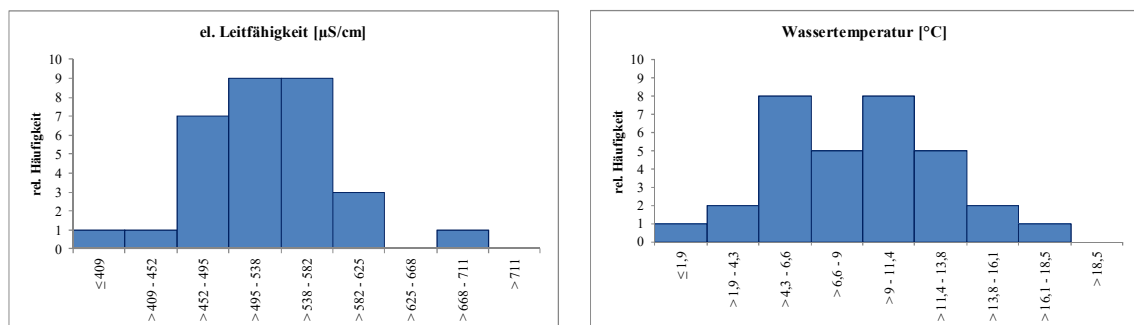


Abbildung 16: Plainfelderbach – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe ist an keinem der Messorte ein eindeutiger Jahresgang zu erkennen (Abbildung 15). Es zeigt sich jedoch eine leichte Erhöhung in den Wintermonaten sowie eine leichte Absenkung in den Sommermonaten. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 16, Abbildung 17).

Die Wassertemperatur am Plainfelderbach (Tabelle 11) schwankte im Beobachtungszeitraum zwischen 1,9 und 18,5  $^{\circ}\text{C}$ , der Mittelwert lag bei  $9,0 \pm 4,0$   $^{\circ}\text{C}$ , der Median bei 9,1  $^{\circ}\text{C}$ .

Tabelle 11: Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [ $^{\circ}\text{C}$ ]

| Wassertemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ] |        |         |          |          |          |          |
|-----------------------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                               | Gesamt | 1 / MO1 | 18 / MO2 | 22 / MO3 | 24 / MO4 | 60 / MO5 |
| Anz. der Beobachtungen                  | 39     | 10      | 5        | 8        | 9        | 7        |
| Minimum                                 | 1,9    | 3,5     | 5,4      | 5,1      | 1,9      | 7,2      |
| Maximum                                 | 18,5   | 18,5    | 13,4     | 15,8     | 10,1     | 13,2     |
| 1. Quartil                              | 5,7    | 4,6     | 5,7      | 6,0      | 5,4      | 8,5      |
| Median                                  | 9,1    | 8,2     | 7,6      | 8,5      | 8,8      | 9,8      |
| 3. Quartil                              | 11,1   | 11,9    | 10,4     | 11,3     | 9,5      | 11,8     |
| Mittelwert                              | 9,0    | 8,9     | 8,5      | 9,2      | 6,9      | 10,1     |
| Varianz (n-1)                           | 15,7   | 26,8    | 13,9     | 16,0     | 19,4     | 5,3      |
| Standardabweichung (n-1)                | 4,0    | 5,2     | 3,7      | 4,0      | 4,4      | 2,3      |
| Variationskoeffizient                   | 0,4    | 0,6     | 0,4      | 0,4      | 0,5      | 0,2      |
| Schiefe (Pearson)                       | 0,3    | 0,6     | 0,5      | 0,5      | -0,6     | 0,3      |
| Kurtosis (Pearson)                      | -0,5   | -0,9    | -1,3     | -1,1     | -1,5     | -1,3     |

Trotz der unregelmäßigen Messreihe zeigt sich ein Jahresgang (Abbildung 15) mit niedrigen Temperaturen in den Wintermonaten mit einem Minimum von 1,9  $^{\circ}\text{C}$  am Messort 4 im Dezember 2017 und hohen Temperaturen in den Sommermonaten mit einem Maximum von 18,5  $^{\circ}\text{C}$  am Messort 1 im Juli 2018. Es ist aufgrund des Messrhythmus und

der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 16, Abbildung 17).

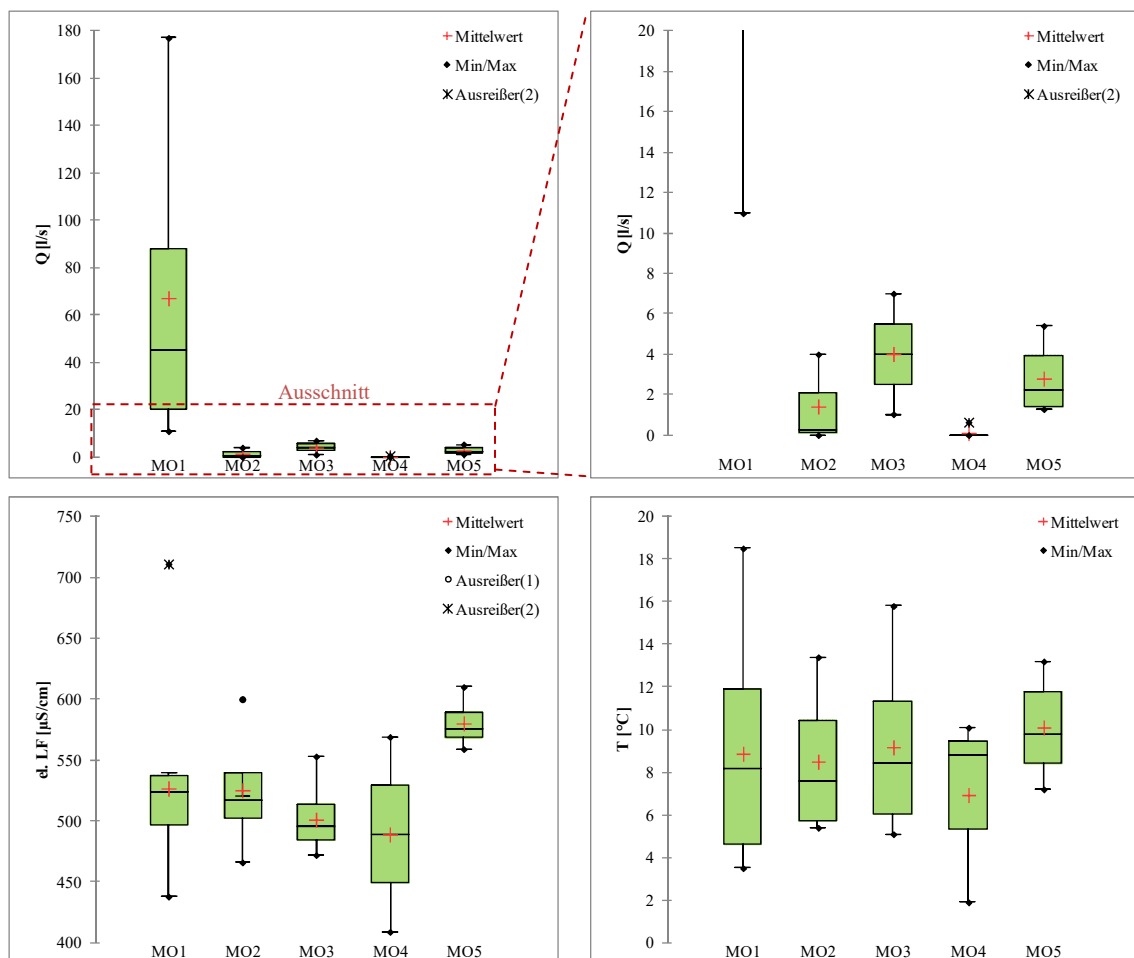


Abbildung 17: Plainfelderbach – Boxplots für Abfluss, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

Der Plainfelderbach hat im Untersuchungsraum vom Messort 1 bachaufwärts 9 Seitenzubringer (Abbildung 18, Tabelle 12).

Tabelle 12: Zuordnung Messstellen-Nummer und Messort

| Nr. | Name           | Messort Nr. | Messort  |
|-----|----------------|-------------|----------|
| 9   | Habachergraben | MO1         | Mündung  |
| 7   | Habachergraben | MO2         | Ursprung |
| 19  | Kanal          | MO1         | Mündung  |
| 17  | Nesselgraben   | MO1         | Mündung  |
| 31  | Nesselgraben   | MO2         |          |
| 30  | Nesselgraben   | MO3         |          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4         | Ursprung |
| 2   | Schnurrnbach   | MO1         | Mündung  |
| 5   | Schnurrnbach   | MO2         | Ursprung |

| Nr. | Name                                          | Messort Nr. | Messort  |
|-----|-----------------------------------------------|-------------|----------|
| 13  | Tiefenbach                                    | MO1         | Mündung  |
| 8   | Tiefenbach                                    | MO2         | Ursprung |
| 15  | „Feldbach“                                    | MO1         | Mündung  |
| 14  | „Feldbach“                                    | MO2         | Ursprung |
| 61  | „Waldbach“                                    | MO1         | Mündung  |
| 62  | „Waldbach“                                    | MO2         | Ursprung |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach                       | MO1         | Mündung  |
| 60  | Zulauf Plainfelderbach (Quelle Schmitzberger) | MO1         | Mündung  |

Von den Seitenzubringern des Plainfelderbachs hatte der Nesselgraben den höchsten Abfluss mit bis zu 131 l/s, stellt somit den größten Anteil an den Wässern des Plainfelderbachs. Die restlichen Zubringer weisen Abflusswerte im Mittel unter 20 l/s auf (Tabelle 13).

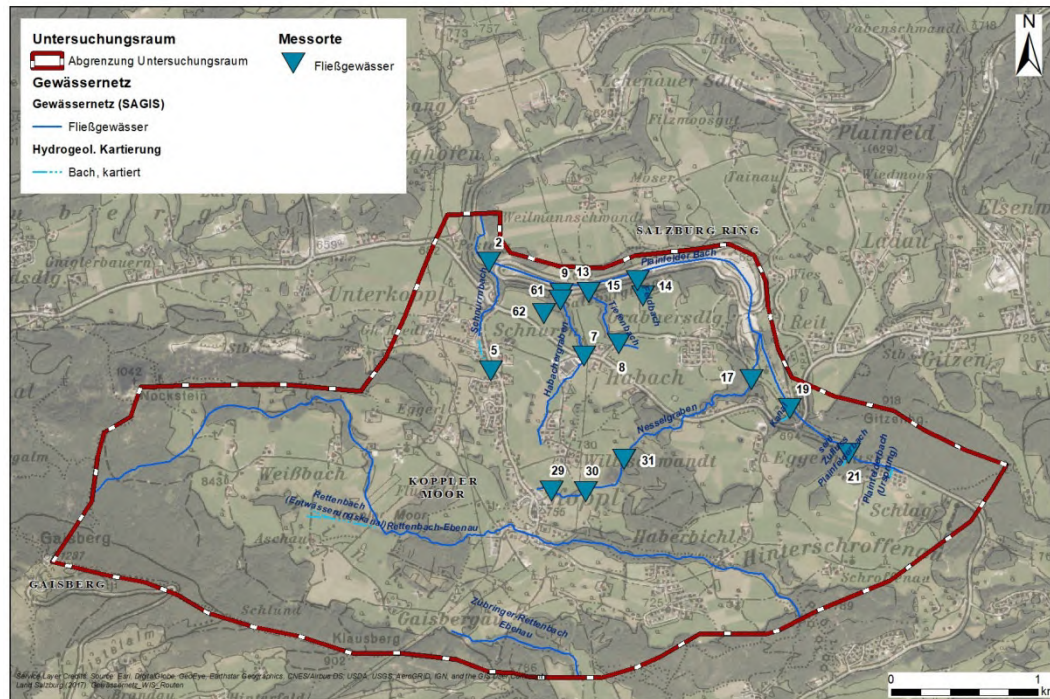


Abbildung 18: Übersichtskarte der Messorte der Zubringer des Plainfelderbachs

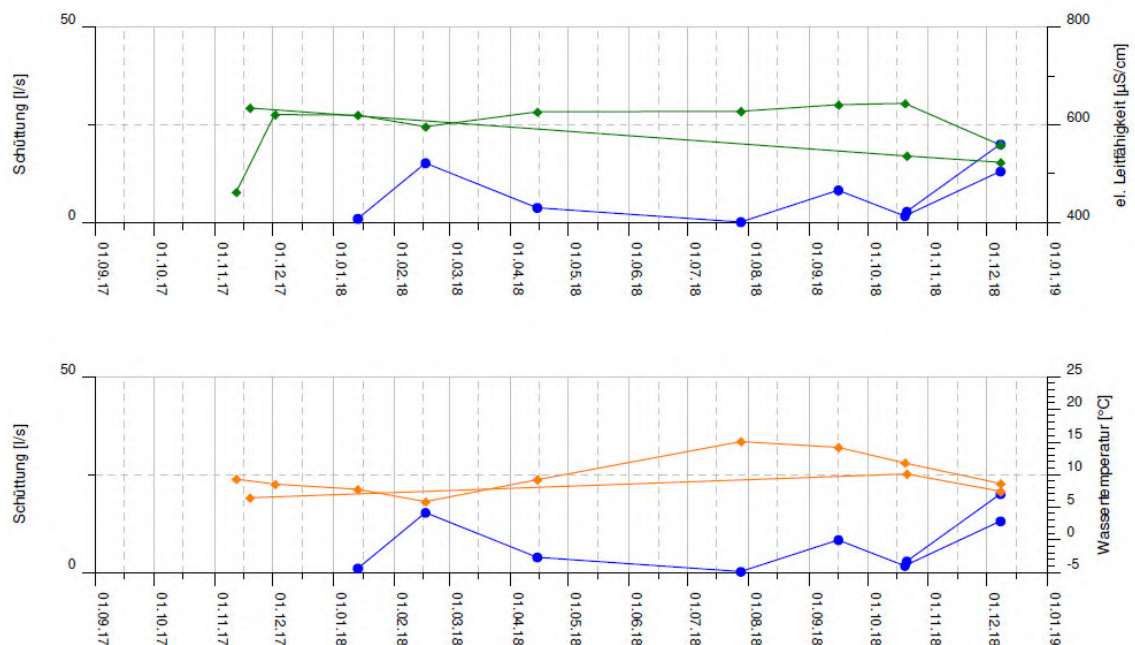


Abbildung 19: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Messorte Tiefenbach

Der Abfluss an allen Bächen schwankte zwischen 0,03 und 131 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $7,12 \pm 18,09$  l/s, der Median bei ca. 1,16 l/s. Ein eindeutiger Jahresgang ist auf-

grund der unregelmäßigen Messreihe nicht auszumachen (Abbildung 19). Einzelne Messorte waren im Bereich des jeweiligen Bachursprungs im Sommer 2018 trocken: Habachergraben (MO2) und Schnurrnbach (MO2). Die Messstelle Kanal (19) war im Sommer 2018 auf der gesamten Länge trocken.

Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 20, Abbildung 21).

Tabelle 13: Seitenzubringer Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Abfluss in [l/s]

| Abfluss [l/s]            |        |       |       |        |         |        |        |
|--------------------------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|
| Statistik                | gesamt | 9 MO1 | 7 MO2 | 19 MO1 | 17 MO1  | 31 MO2 | 30 MO3 |
| Anz. der Beobachtungen   | 87     | 3     | 9     | 9      | 9       | 1      | 1      |
| Minimum                  | 0,00   | 1,16  | 0,00  | 0,00   | 0,64    | n.m.   | n.m.   |
| Maximum                  | 131,00 | 20,00 | 5,60  | 5,50   | 131,00  |        |        |
| 1. Quartil               | 0,27   | 3,08  | 0,03  | 0,00   | 7,37    |        |        |
| Median                   | 1,16   | 5,00  | 0,36  | 0,00   | 15,07   |        |        |
| 3. Quartil               | 5,58   | 12,50 | 1,13  | 0,54   | 54,10   |        |        |
| Mittelwert               | 7,12   | 8,72  | 1,19  | 0,84   | 36,41   |        |        |
| Varianz (n-1)            | 327,40 | 99,13 | 3,82  | 3,63   | 2013,77 |        |        |
| Standardabweichung (n-1) | 18,09  | 9,96  | 1,95  | 1,90   | 44,88   |        |        |
| Variationskoeffizient    | 2,5    | 0,9   | 1,5   | 2,1    | 1,2     |        |        |
| Schiefe (Pearson)        | 5,1    | 0,6   | 1,7   | 2,2    | 1,3     |        |        |
| Kurtosis (Pearson)       | 29,6   | -1,5  | 1,4   | 2,9    | 0,4     |        |        |

| Abfluss [l/s]            |        |       |       |        |       |        |
|--------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Statistik                | 29 MO4 | 2 MO1 | 5 MO2 | 13 MO1 | 8 MO2 | 15 MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 8      | 10    | 9     | 3      | 9     | 2      |
| Minimum                  | 0,09   | 0,66  | 0,00  | 2,77   | 0,10  | 0,28   |
| Maximum                  | 7,46   | 25,77 | 3,22  | 20,00  | 15,30 | 2,81   |
| 1. Quartil               | 0,58   | 3,52  | 0,12  | 7,08   | 1,29  | 0,91   |
| Median                   | 0,87   | 9,45  | 0,47  | 11,39  | 3,77  | 1,54   |
| 3. Quartil               | 5,00   | 14,07 | 1,28  | 15,69  | 10,63 | 2,17   |
| Mittelwert               | 2,80   | 10,35 | 0,89  | 11,39  | 6,14  | 1,54   |
| Varianz (n-1)            | 8,73   | 74,54 | 1,21  | 148,44 | 37,47 | 3,19   |
| Standardabweichung (n-1) | 2,95   | 8,63  | 1,10  | 12,18  | 6,12  | 1,79   |
| Variationskoeffizient    | 1,0    | 0,8   | 1,2   | 0,8    | 0,9   | 0,8    |
| Schiefe (Pearson)        | 0,5    | 0,6   | 1,3   | 0,0    | 0,5   | 0,0    |
| Kurtosis (Pearson)       | -1,4   | -0,7  | 0,5   | -2,0   | -1,4  | -2,0   |

| Abfluss [l/s]            |        |        |        |        |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Statistik                | 14 MO2 | 61 MO1 | 62 MO2 | 21 MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 2      | 2      | 1      | 9      |
| Minimum                  | 0,18   | 0,07   | 1,67   | 0,10   |
| Maximum                  | 0,57   | 1,97   | 1,67   | 5,96   |
| 1. Quartil               | 0,28   | 0,54   |        | 0,25   |
| Median                   | 0,37   | 1,02   |        | 0,64   |
| 3. Quartil               | 0,47   | 1,49   |        | 1,10   |
| Mittelwert               | 0,37   | 1,02   |        | 1,29   |
| Varianz (n-1)            | 0,07   | 1,80   |        | 3,81   |
| Standardabweichung (n-1) | 0,27   | 1,34   |        | 1,95   |
| Variationskoeffizient    | 0,5    | 0,9    |        | 1,4    |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0    | 0,0    |        | 2,0    |
| Kurtosis (Pearson)       | -2,0   | -2,0   |        | 2,4    |

Die el. Leitfähigkeiten schwankten an den Seitenzubringern im Beobachtungszeitraum zwischen 325 und 772  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Im Oktober 2018 wurde am Nesselgraben Messort 4 (29)

einmalig ein Leitfähigkeitswert von 1.283  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemessen. Dieser Ausreißer wird in der weiteren statistischen Auswertung der physikalischen Parameter nicht berücksichtigt. Mittelwert und Median lagen bei 538 bzw. 536  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabelle 14). Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann kein eindeutiger Jahresgang (Abbildung 19) erkannt werden. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 20, Abbildung 21).

Tabelle 14: Seitenzubringer Plainfelderbach – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeit in [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

| Statistik                | el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |       |       |        |        |        |        |
|--------------------------|-----------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                          | gesamt                                        | 9 MO1 | 7 MO2 | 19 MO1 | 17 MO1 | 31 MO2 | 30 MO3 |
| Anz. der Beobachtungen   | 87                                            | 3     | 9     | 9      | 9      | 1      | 1      |
| Minimum                  | 325                                           | 541   | 383   | 355    | 325    | 543    | 637    |
| Maximum                  | 772                                           | 582   | 631   | 772    | 547    | 543    | 637    |
| 1. Quartil               | 478                                           | 546   | 465   | 468    | 451    |        |        |
| Median                   | 536                                           | 550   | 493   | 565    | 490    |        |        |
| 3. Quartil               | 618                                           | 566   | 570   | 662    | 535    |        |        |
| Mittelwert               | 538                                           | 558   | 511   | 564    | 469    |        |        |
| Varianz (n-1)            | 10202                                         | 464   | 7133  | 31382  | 7516   |        |        |
| Standardabweichung (n-1) | 101                                           | 22    | 84    | 177    | 87     |        |        |
| Variationskoeffizient    | 0,2                                           | 0,0   | 0,2   | 0,3    | 0,2    |        |        |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0                                           | 0,6   | 0,0   | 0,0    | -0,9   |        |        |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,4                                          | -1,5  | -1,0  | -1,3   | -0,7   |        |        |

| Statistik                | el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |       |       |        |       |        |
|--------------------------|-----------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|
|                          | 29 MO4                                        | 2 MO1 | 5 MO2 | 13 MO1 | 8 MO2 | 15 MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 8                                             | 10    | 9     | 3      | 9     | 2      |
| Minimum                  | 610                                           | 450   | 440   | 523    | 462   | 458    |
| Maximum                  | 758                                           | 735   | 586   | 634    | 644   | 562    |
| 1. Quartil               | 673                                           | 495   | 509   | 530    | 596   | 484    |
| Median                   | 692                                           | 521   | 521   | 536    | 621   | 510    |
| 3. Quartil               | 704                                           | 582   | 533   | 585    | 628   | 536    |
| Mittelwert               | 688                                           | 551   | 518   | 564    | 600   | 510    |
| Varianz (n-1)            | 2006                                          | 8176  | 1682  | 3682   | 3339  | 5408   |
| Standardabweichung (n-1) | 45                                            | 90    | 41    | 61     | 58    | 74     |
| Variationskoeffizient    | 0,1                                           | 0,2   | 0,1   | 0,1    | 0,1   | 0,1    |
| Schiefe (Pearson)        | -0,2                                          | 1,0   | -0,4  | 0,7    | -1,7  | 0,0    |
| Kurtosis (Pearson)       | 0,0                                           | -0,2  | 0,4   | -1,5   | 1,7   | -2,0   |

| Statistik                | el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |        |        |        |
|--------------------------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                          | 14 MO2                                        | 61 MO1 | 62 MO2 | 21 MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 2                                             | 2      | 1      | 9      |
| Minimum                  | 511                                           | 535    | 570    | 343    |
| Maximum                  | 646                                           | 587    | 570    | 427    |
| 1. Quartil               | 545                                           | 548    |        | 393    |
| Median                   | 579                                           | 561    |        | 407    |
| 3. Quartil               | 612                                           | 574    |        | 418    |
| Mittelwert               | 579                                           | 561    |        | 401    |
| Varianz (n-1)            | 9113                                          | 1352   |        | 671    |
| Standardabweichung (n-1) | 95                                            | 37     |        | 26     |
| Variationskoeffizient    | 0,1                                           | 0,0    |        | 0,1    |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0                                           | 0,0    |        | -1,3   |
| Kurtosis (Pearson)       | -2,0                                          | -2,0   |        | 0,9    |

Die Wassertemperatur schwankte an den Seitenzubringern im Beobachtungszeitraum zwischen 1,1 und 19,6 °C. Der Mittelwert lag bei  $8,9 \pm 4,2$  °C, der Median bei 8,2 °C (Tabelle 15). Trotz der unregelmäßigen Messreihe zeigt sich ein Jahresgang mit niedrigen Temperaturen in den Wintermonaten mit einem Minimum von 1,1 °C am Kanal (19) im Dezember 2017 und hohen Temperaturen in den Sommermonaten mit einem Maximum von 19,6 °C am Schnurrnbach Messort 2 (5) im Juli 2018.

Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 20, Abbildung 21).

Tabelle 15: Seitenzubringer Plainfelderbach – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C]

| Wassertemperatur [°C]    |        |       |       |        |        |        |        |
|--------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Statistik                | gesamt | 9 MO1 | 7 MO2 | 19 MO1 | 17 MO1 | 31 MO2 | 30 MO3 |
| Anz. der Beobachtungen   | 87     | 3     | 9     | 9      | 9      | 1      | 1      |
| Minimum                  | 1,1    | 6,2   | 4,2   | 1,1    | 2,8    | 12,2   | 13,3   |
| Maximum                  | 19,6   | 9,8   | 15,5  | 8,2    | 17,3   | 12,2   | 13,3   |
| 1. Quartil               | 5,9    | 6,7   | 4,7   | 1,9    | 4,0    |        |        |
| Median                   | 8,2    | 7,2   | 6,5   | 4,2    | 7,8    |        |        |
| 3. Quartil               | 11,3   | 8,5   | 9,8   | 6,6    | 10,6   |        |        |
| Mittelwert               | 8,9    | 7,7   | 7,9   | 4,4    | 8,4    |        |        |
| Varianz (n-1)            | 17,6   | 3,5   | 17,0  | 11,0   | 25,8   |        |        |
| Standardabweichung (n-1) | 4,2    | 1,9   | 4,1   | 3,3    | 5,1    |        |        |
| Variationskoeffizient    | 0,5    | 0,2   | 0,5   | 0,7    | 0,6    |        |        |
| Schiefe (Pearson)        | 0,5    | 0,5   | 0,9   | 0,1    | 0,6    |        |        |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,4   | -1,5  | -0,4  | -1,7   | -0,9   |        |        |

| Wassertemperatur [°C]    |        |       |       |        |       |        |
|--------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Statistik                | 29 MO4 | 2 MO1 | 5 MO2 | 13 MO1 | 8 MO2 | 15 MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 8      | 10    | 9     | 3      | 9     | 2      |
| Minimum                  | 5,6    | 4,2   | 3,8   | 6,4    | 5,8   | 7,3    |
| Maximum                  | 15,8   | 19,0  | 19,6  | 10,1   | 15,1  | 10,3   |
| 1. Quartil               | 7,5    | 4,9   | 5,4   | 6,9    | 8,5   | 8,1    |
| Median                   | 8,8    | 8,1   | 9,0   | 7,4    | 9,2   | 8,8    |
| 3. Quartil               | 13,3   | 12,2  | 14,1  | 8,8    | 11,8  | 9,6    |
| Mittelwert               | 10,1   | 9,2   | 10,2  | 8,0    | 10,0  | 8,8    |
| Varianz (n-1)            | 14,0   | 25,5  | 33,2  | 3,7    | 9,4   | 4,5    |
| Standardabweichung (n-1) | 3,7    | 5,0   | 5,8   | 1,9    | 3,1   | 2,1    |
| Variationskoeffizient    | 0,3    | 0,5   | 0,5   | 0,2    | 0,3   | 0,2    |
| Schiefe (Pearson)        | 0,4    | 0,7   | 0,5   | 0,5    | 0,5   | 0,0    |
| Kurtosis (Pearson)       | -1,4   | -0,7  | -1,2  | -1,5   | -0,9  | -2,0   |

| Wassertemperatur [°C]    |        |        |        |
|--------------------------|--------|--------|--------|
| Statistik                | 14 MO2 | 61 MO1 | 62 MO2 |
| Anz. der Beobachtungen   | 2      | 2      | 1      |
| Minimum                  | 8,2    | 7,5    | 8,6    |
| Maximum                  | 11,7   | 10,4   | 8,6    |
| 1. Quartil               | 9,1    | 8,2    |        |
| Median                   | 10,0   | 9,0    |        |
| 3. Quartil               | 10,8   | 9,7    |        |
| Mittelwert               | 10,0   | 9,0    |        |
| Varianz (n-1)            | 6,1    | 4,2    |        |
| Standardabweichung (n-1) | 2,5    | 2,1    |        |
| Variationskoeffizient    | 0,2    | 0,2    |        |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0    | 0,0    |        |
| Kurtosis (Pearson)       | -2,0   | -2,0   |        |

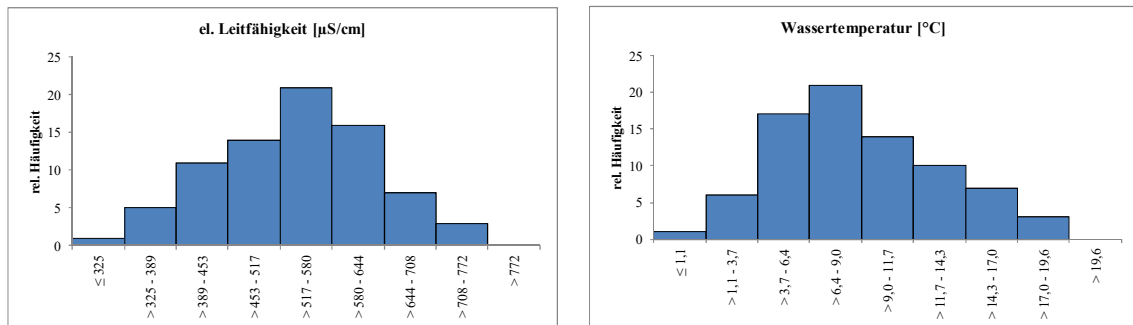


Abbildung 20: Seitenzubringer Plainfelderbach – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

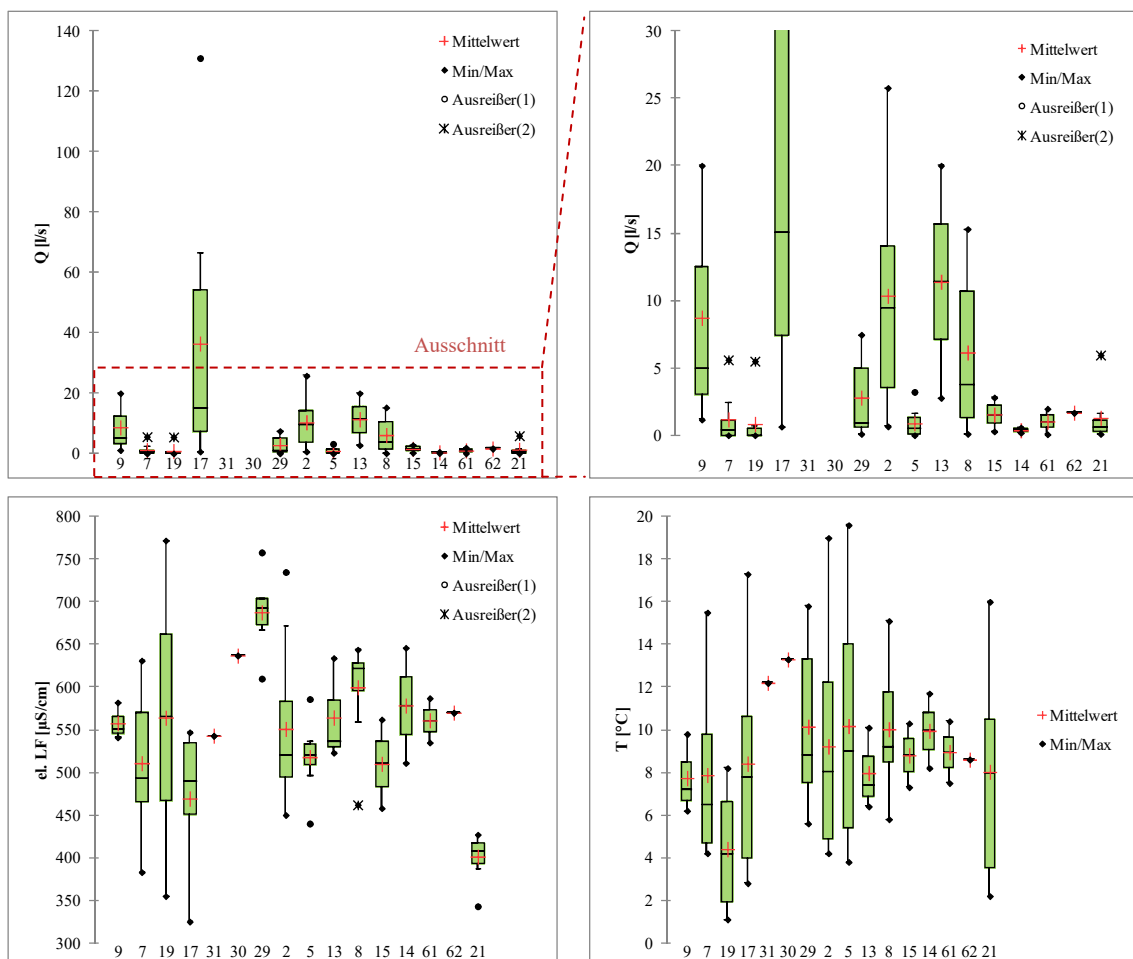


Abbildung 21: Seitenzubringer Plainfelderbach – Boxplots für Abfluss, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

Der Abfluss des Rettenbach-Weißenbach schwankte an allen Messorten (Abbildung 22) im Beobachtungszeitraum zwischen 0,07 und 92,22 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $8,75 \pm 18,68$  l/s, der Median lag bei 0,61 l/s (Tabelle 16). Einige Messorte waren zu unterschiedlichen Messterminen nicht messbar. Alle Messorte waren zu allen Terminen messbar und führten Wasser. Ausnahme: Am Messort 1 war im Oktober 2010 kein Abfluss messbar, da der Bach im Untergrund versickerte bzw. zu wenig Wasser für eine Messung führte. Der Messort 8 war im Juli 2018 trocken.

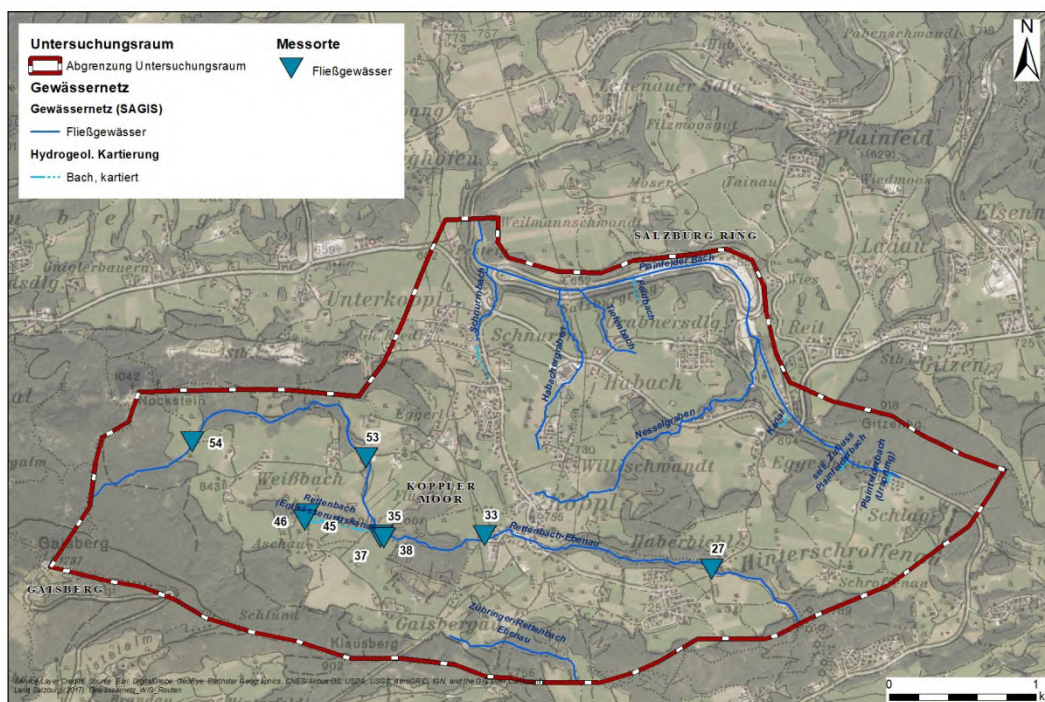


Abbildung 22: Übersichtskarte der Messorte des Rettenbach-Weissenbach

*Tabelle 16: Rettenbach-Weißenbach – Statistische Kennwerte Abfluss in [l/s]*

| Abfluss [l/s]            |        |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Statistik                | gesamt | 27 /<br>MO1 | 33 /<br>MO2 | 38 /<br>MO3 | 35 /<br>MO4 | 53 /<br>MO5 | 54 /<br>MO6 | 37 /<br>MO7 |
| Anz. der Beobachtungen   | 42     | 8           | 2           | 1           | 1           | 9           | 2           | 1           |
| Minimum                  | 0,00   | 0,14        | 32,00       | n.m.        | n.m.        | 0,08        | 0,12        | n.m.        |
| Maximum                  | 92,22  | 92,22       | 32,00       |             |             | 25,55       | 2,18        |             |
| 1. Quartil               | 0,19   | 9,36        |             |             |             | 0,16        | 0,63        |             |
| Median                   | 0,61   | 18,74       |             |             |             | 1,72        | 1,15        |             |
| 3. Quartil               | 6,82   | 32,58       |             |             |             | 7,00        | 1,67        |             |
| Mittelwert               | 8,75   | 28,88       |             |             |             | 5,95        | 1,15        |             |
| Varianz (n-1)            | 348,92 | 1116,0      |             |             |             | 85,65       | 2,13        |             |
| Standardabweichung (n-1) | 18,68  | 33,41       |             |             |             | 9,25        | 1,46        |             |
| Variationskoeffizient    | 2,1    | 1,1         |             |             |             | 1,4         | 0,9         |             |
| Schiefe (Pearson)        | 3,3    | 1,3         |             |             |             | 1,6         | 0,0         |             |
| Kurtosis (Pearson)       | 11,5   | 0,3         |             | 1,0         | -2,0        |             |             |             |

| Abfluss [l/s]             |             |             |
|---------------------------|-------------|-------------|
| Statistik                 | 45 /<br>MO8 | 46 /<br>MO9 |
| Anz. der Beobachtungen    | 9           | 9           |
| Minimum                   | 0,00        | 0,07        |
| Maximum                   | 4,24        | 4,40        |
| 1. Quartil                | 0,23        | 0,15        |
| Median                    | 0,50        | 0,23        |
| 3. Quartil                | 0,61        | 0,90        |
| Mittelwert                | 0,92        | 0,97        |
| Varianz (n-1)             | 2,20        | 2,48        |
| Standardabweichung (n-1)  | 1,48        | 1,57        |
| Variationskoeffizient     | 1,5         | 1,5         |
| <i>Schiefte (Pearson)</i> | <i>1,9</i>  | <i>1,7</i>  |
| <i>Kurtosis (Pearson)</i> | <i>2,0</i>  | <i>1,4</i>  |

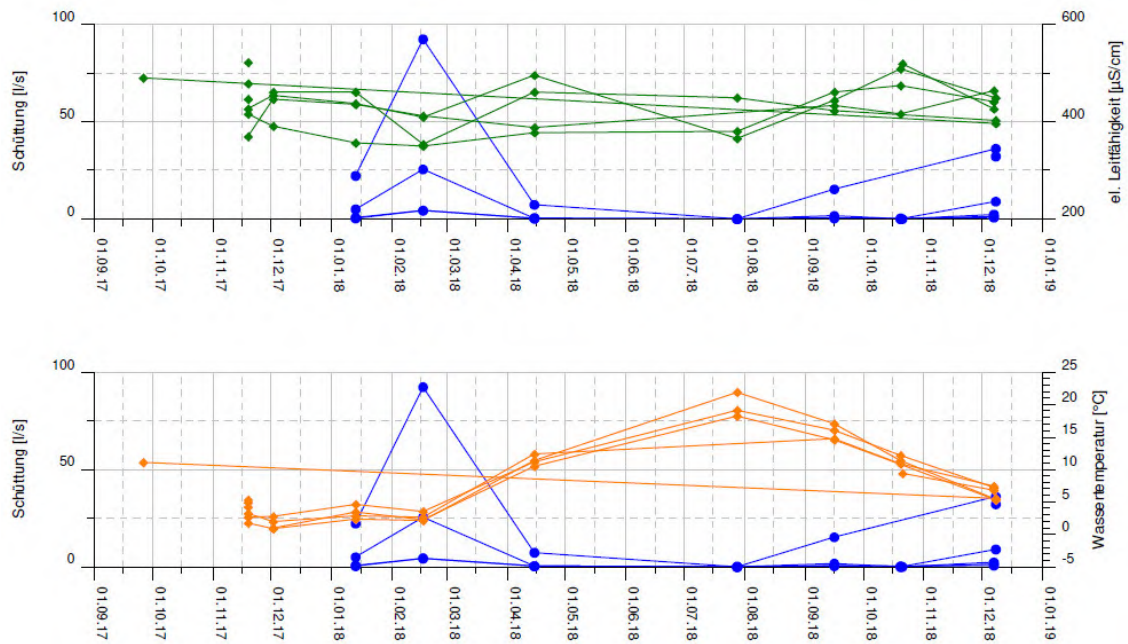


Abbildung 23: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Messorte Rettenbach-Weißbach

Der Messort 1, welcher der am flussabwärts gelegenste Messort des Baches ist, zeigte deutlich den höchsten Abfluss. Der Abfluss schwankte hier zwischen 0,14 und 92,22 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $28,88 \pm 33,41$  l/s, der Median bei 18,74 l/s.

Der Abfluss am Messort 2 wurde nur zu einem Messtermin erfasst und lag hier bei 32,0 l/s. Der Abfluss an den Messorten 3 und 4 konnte aus technischen Gründen nicht erfasst werden. Am Messort 5 lag der Abfluss zwischen 0,08 und 25,55 l/s, im Mittel bei  $5,95 \pm 9,25$  l/s. Der Messort 6, welcher der flussaufwärts gelegenste Messort des Rettenbach-Weißbachs ist, zeigte den geringsten Abfluss: dieser schwankte zwischen 0,12 und 2,18 l/s, der mittlere Abfluss lag bei  $1,15 \pm 1,46$  l/s, der Median ebenfalls bei 1,15 l/s. Bei den Messorten 7 bis 9 handelt es sich um kleine Entwässerungskanäle, wobei der Messort 7 den Hauptabfluss darstellt. Der Abfluss konnte aus technischen Gründen hier nicht erfasst werden. Die Messorte 8 und 9 wiesen Abflussschwankungen zwischen 0,21 und 4,24 bzw. 0,07 und 4,40 l/s auf, der mittlere Abfluss lag bei  $0,92 \pm 1,48$  l/s und  $0,97 \pm 1,57$  l/s, der Median bei 0,5 bzw. 0,23 l/s. Der Messort 8 war im Juli 2018 einmalig trocken.

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe ist kein eindeutiger Jahresgang erkennbar (Abbildung 23). Jedoch wies der Messort 1 im Februar 2018 den höchsten Abflusswert, im Oktober 2018 den niedrigsten auf. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 24, Abbildung 25).

Die el. Leitfähigkeiten schwankten am Rettenbach-Weißbach im Beobachtungszeitraum zwischen 350 und 522  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Der Mittelwert lag bei  $432 \pm 45 \mu\text{S}/\text{cm}$ , der Median bei 437  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabelle 17). Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann kein eindeutiger Jahresgang erkannt werden. Es zeigt sich jedoch eine leichte Erhöhung in den Wintermonaten sowie eine leichte Absenkung in den Sommermonaten (Abbildung 23). Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 24, Abbildung 25).

Tabelle 17: Rettenbach-Weißbach – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeit in  $[\mu\text{S}/\text{cm}]$

| Statistik                | el. Leitfähigkeit $[\mu\text{S}/\text{cm}]$ |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------|---------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                          | gesamt                                      | 27 /<br>MO1 | 33 /<br>MO2 | 38 /<br>MO3 | 35 /<br>MO4 | 53 /<br>MO5 | 54 /<br>MO6 |
| Anz. der Beobachtungen   | 42                                          | 8           | 2           | 1           | 1           | 9           | 2           |
| Minimum                  | 350                                         | 354         | 396         | 478         | 447         | 365         | 427         |
| Maximum                  | 522                                         | 461         | 490         | 478         | 447         | 509         | 519         |
| 1. Quartil               | 401                                         | 413         | 420         |             |             | 427         | 450         |
| Median                   | 437                                         | 449         | 443         |             |             | 444         | 473         |
| 3. Quartil               | 461                                         | 461         | 467         |             |             | 454         | 496         |
| Mittelwert               | 432                                         | 430         | 443         |             |             | 443         | 473         |
| Varianz (n-1)            | 2027                                        | 1633        | 4418        |             |             | 1844        | 4232        |
| Standardabweichung (n-1) | 45                                          | 40          | 66          |             |             | 43          | 65          |
| Variationskoeffizient    | 0,1                                         | 0,1         | 0,1         |             |             | 0,1         | 0,1         |
| Schiefte (Pearson)       | 0,0                                         | -1,0        | 0,0         |             |             | -0,2        | 0,0         |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,6                                        | -0,3        | -2,0        |             |             | -0,3        | -2,0        |

| Statistik                | el. Leitfähigkeit $[\mu\text{S}/\text{cm}]$ |             |             |
|--------------------------|---------------------------------------------|-------------|-------------|
|                          | 37 /<br>MO7                                 | 45 /<br>MO8 | 46 /<br>MO9 |
| Anz. der Beobachtungen   | 1                                           | 9           | 9           |
| Minimum                  | 522                                         | 369         | 350         |
| Maximum                  | 522                                         | 464         | 474         |
| 1. Quartil               |                                             | 406         | 377         |
| Median                   |                                             | 425         | 391         |
| 3. Quartil               |                                             | 439         | 441         |
| Mittelwert               |                                             | 421         | 405         |
| Varianz (n-1)            |                                             | 970         | 2043        |
| Standardabweichung (n-1) |                                             | 31          | 45          |
| Variationskoeffizient    |                                             | 0,1         | 0,1         |
| Schiefte (Pearson)       |                                             | -0,3        | 0,3         |
| Kurtosis (Pearson)       |                                             | -0,9        | -1,3        |

Die Wassertemperatur schwankte im Beobachtungszeitraum zwischen 0,9 und 21,9 °C. Der Mittelwert lag bei  $7,8 \pm 5,7 \text{ °C}$ , der Median bei 5,5 °C (Tabelle 18). Trotz der unregelmäßigen Messreihe zeigte sich ein Jahresgang mit niedrigen Temperaturen in den Wintermonaten mit einem Minimum von 0,9 °C am Messort 5 im Dezember 2017 und hohen Temperaturen in den Sommermonaten mit einem Maximum von 21,9 °C ebenfalls am Messort 5 im Juli 2018 (Abbildung 23). Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 24, Abbildung 25).

Tabelle 18: Rettenbach-Weissenbach – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C]

| Statistik                | Wassertemperatur [°C] |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                          | gesamt                | 27 /<br>MO1 | 33 /<br>MO2 | 38 /<br>MO3 | 35 /<br>MO4 | 53 /<br>MO5 | 54 /<br>MO6 | 37 /<br>MO7 |
| Anz. der Beobachtungen   | 42                    | 8           | 2           | 1           | 1           | 9           | 2           | 1           |
| Minimum                  | 0,9                   | 1,0         | 5,5         | 4,9         | 4,2         | 0,9         | 6,8         | 5,3         |
| Maximum                  | 21,9                  | 18,2        | 11,1        | 4,9         | 4,2         | 21,9        | 9,4         | 5,3         |
| 1. Quartil               | 2,8                   | 2,9         | 6,9         |             |             | 2,2         | 7,5         |             |
| Median                   | 5,5                   | 5,3         | 8,3         |             |             | 5,4         | 8,1         |             |
| 3. Quartil               | 11,4                  | 12,6        | 9,7         |             |             | 11,4        | 8,8         |             |
| Mittelwert               | 7,8                   | 7,9         | 8,3         |             |             | 8,3         | 8,1         |             |
| Varianz (n-1)            | 32,5                  | 44,0        | 15,7        |             |             | 57,4        | 3,4         |             |
| Standardabweichung (n-1) | 5,7                   | 6,6         | 4,0         |             |             | 7,6         | 1,8         |             |
| Variationskoeffizient    | 0,7                   | 0,8         | 0,3         |             |             | 0,9         | 0,2         |             |
| Schiefe (Pearson)        | 0,7                   | 0,5         | 0,0         |             |             | 0,7         | 0,0         |             |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,5                  | -1,3        | -2,0        |             |             | -0,9        | -2,0        |             |

| Statistik                | Wassertemperatur [°C] |             |
|--------------------------|-----------------------|-------------|
|                          | 45 /<br>MO8           | 46 /<br>MO9 |
| Anz. der Beobachtungen   | 9                     | 9           |
| Minimum                  | 2,0                   | 2,6         |
| Maximum                  | 14,8                  | 19,1        |
| 1. Quartil               | 2,8                   | 3,5         |
| Median                   | 5,3                   | 7,2         |
| 3. Quartil               | 11,3                  | 12,2        |
| Mittelwert               | 7,0                   | 8,8         |
| Varianz (n-1)            | 26,0                  | 37,6        |
| Standardabweichung (n-1) | 5,1                   | 6,1         |
| Variationskoeffizient    | 0,7                   | 0,7         |
| Schiefe (Pearson)        | 0,4                   | 0,5         |
| Kurtosis (Pearson)       | -1,5                  | -1,2        |

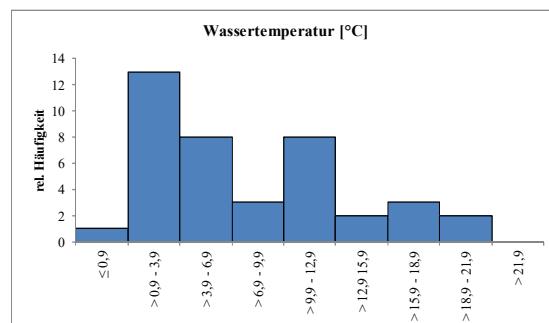
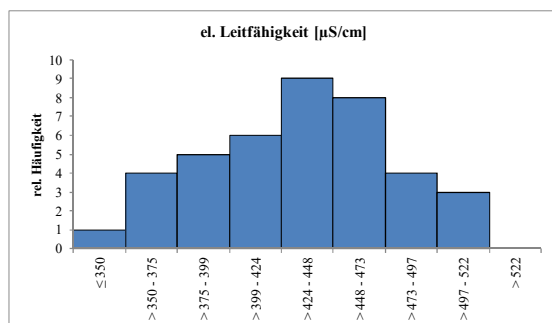


Abbildung 24: Rettenbach-Weissenbach – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

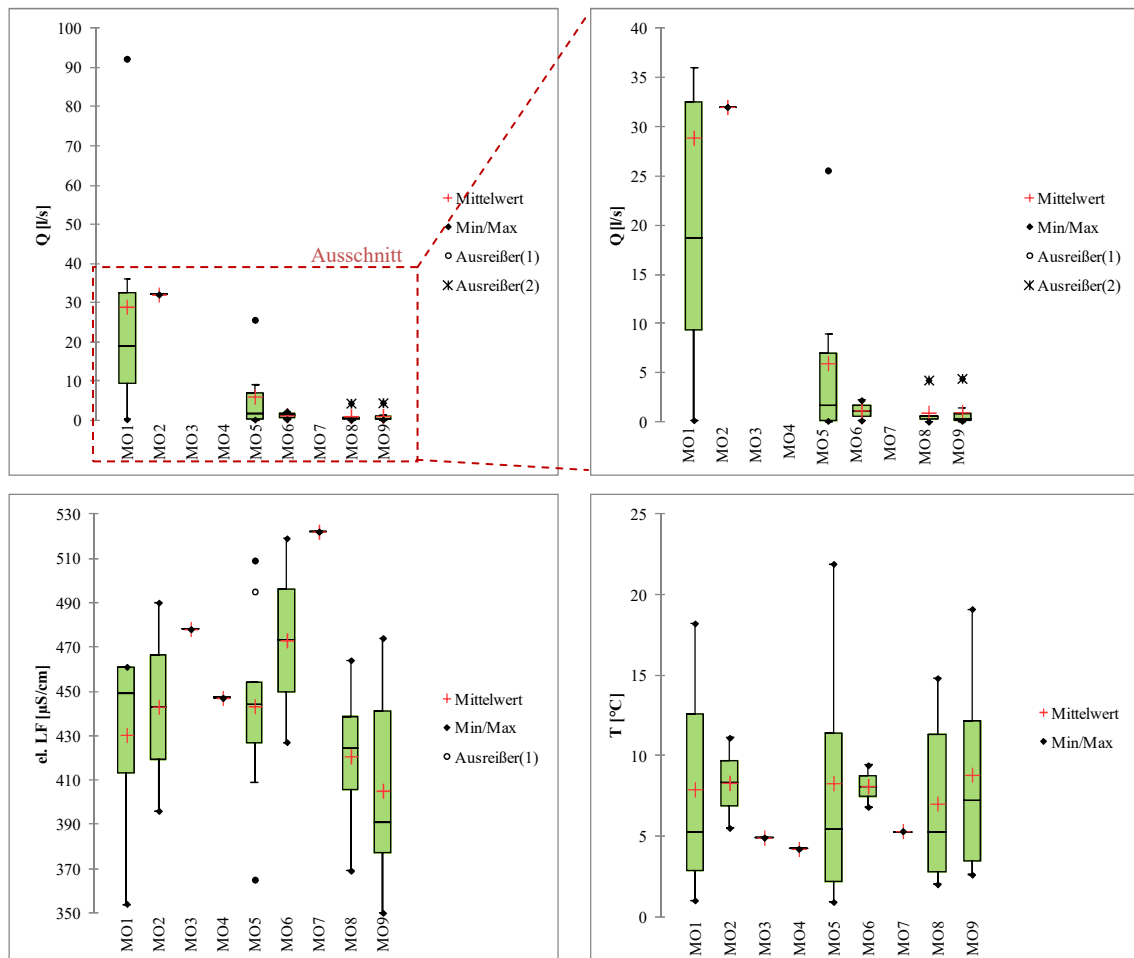


Abbildung 25: Rettenbach-Weißbach – Boxplots für Abfluss, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

#### 4.1.2 Quellen

Die Quellen im Untersuchungsgebiet weisen fast alle relativ geringe Schüttungen auf. Die Schüttungen schwankten an allen Quellen im Beobachtungszeitraum zwischen 0,01 und 6,60 l/s, wobei einige Quellen an manchen Messterminen nur tropften oder trocken waren. Die Schüttung lag im Mittel bei  $0,65 \pm 1,9$  l/s, der Median bei 0,13 l/s (Tabelle 19).

Die höchsten Schüttungen konnten an der Quelle Schmitzberger (25) und der Wiesenquelle (10) beobachtet werden: die Werte schwankten hier zwischen 1,22 und 5,00 l/s, der Mittelwert lag bei  $2,43 \pm 1,27$  l/s an der Quelle Schmitzberger (25) (Abbildung 27); an der Wiesenquelle (10) lagen die Schüttungen zwischen 1,52 und 6,60 l/s, im Mittel bei  $3,72 \pm 2,61$  l/s. Die restlichen Quellen zeigten im Mittel  $< 1$  l/s Schüttung.

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann kein eindeutiger Jahresgang erkannt werden. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über

tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 29, Abbildung 30).

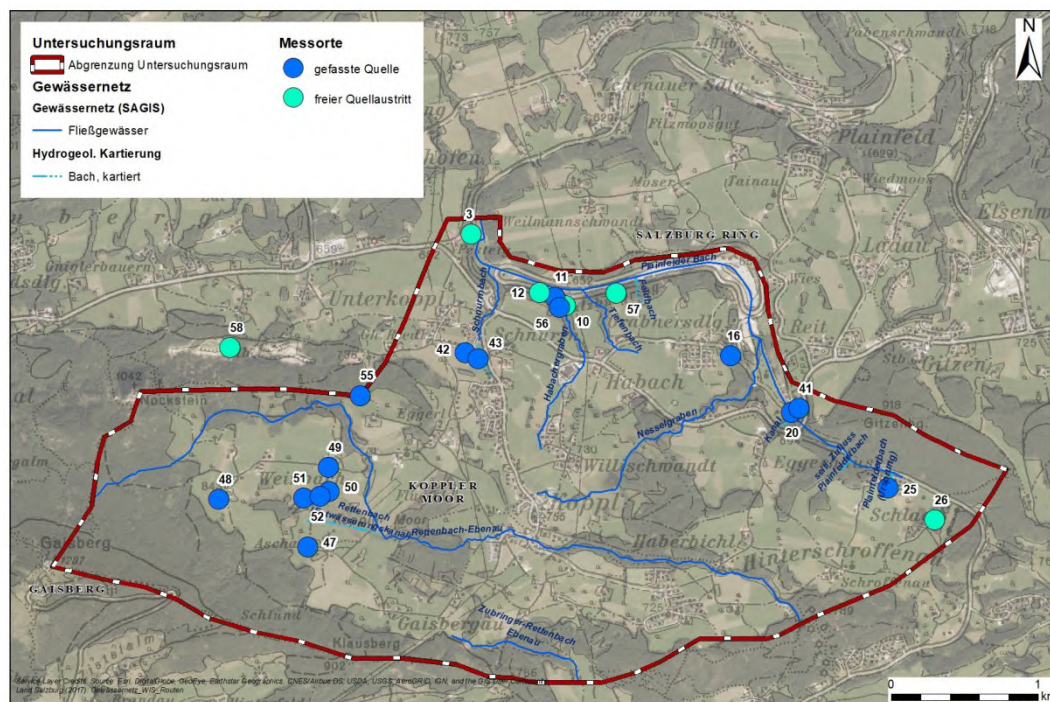


Abbildung 26: Übersichtskarte der Messorte der Quellen

Tabelle 19: Quellen – Statistische Kennwerte Schüttung in [l/s]

| Schüttung [l/s]          |        |   |      |    |      |    |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|--------|---|------|----|------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| Statistik                | gesamt | 3 | MO1  | 42 | MO1  | 49 | MO1  | 50   | MO1  | 52   | MO1  | 51   | MO1  |
| Anz. der Beobachtungen   | 70     |   | 10   |    | 1    |    | 1    |      | 3    |      | 2    |      | 2    |
| Minimum                  | 0,00   |   | 0,00 |    | n.m. |    | 0,13 |      | 0,15 |      | 0,04 |      | 0,18 |
| Maximum                  | 6,60   |   | 0,47 |    |      |    | 0,13 |      | 0,29 |      | 0,94 |      | 1,64 |
| 1. Quartil               | 0,04   |   | 0,02 |    |      |    |      |      | 0,18 |      | 0,26 |      | 0,55 |
| Median                   | 0,13   |   | 0,30 |    |      |    |      |      | 0,22 |      | 0,49 |      | 0,91 |
| 3. Quartil               | 0,45   |   | 0,45 |    |      |    |      |      | 0,25 |      | 0,71 |      | 1,28 |
| Mittelwert               | 0,65   |   | 0,25 |    |      |    |      |      | 0,22 |      | 0,49 |      | 0,91 |
| Varianz (n-1)            | 1,50   |   | 0,04 |    |      |    |      |      | 0,01 |      | 0,41 |      | 1,07 |
| Standardabweichung (n-1) | 1,23   |   | 0,21 |    |      |    |      |      | 0,10 |      | 0,64 |      | 1,03 |
| Variationskoeffizient    | 1,9    |   | 0,8  |    |      |    |      |      | 0,3  |      | 0,9  |      | 0,8  |
| Schiefte (Pearson)       | 3,0    |   | -0,2 |    |      |    |      |      | 0,0  |      | 0,0  |      | 0,0  |
| Kurtosis (Pearson)       | 9,7    |   | -1,7 |    |      |    |      | -2,0 |      | -2,0 |      | -2,0 |      |

| Statistik                | Schüttung [l/s] |     |    |     |      |     |      |     |
|--------------------------|-----------------|-----|----|-----|------|-----|------|-----|
|                          | 55              | MO1 | 41 | MO1 | 20   | MO1 | 58   | MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 2               |     | 1  |     | 1    |     | 1    |     |
| Minimum                  | 0,03            |     |    |     | 0,24 |     | 0,38 |     |
| Maximum                  | 0,08            |     |    |     | 0,24 |     | 0,38 |     |
| 1. Quartil               | 0,05            |     |    |     |      |     |      |     |
| Median                   | 0,06            |     |    |     |      |     |      |     |
| 3. Quartil               | 0,07            |     |    |     |      |     |      |     |
| Mittelwert               | 0,06            |     |    |     |      |     |      |     |
| Varianz (n-1)            | 0,00            |     |    |     |      |     |      |     |
| Standardabweichung (n-1) | 0,03            |     |    |     |      |     |      |     |
| Variationskoeffizient    | 0,4             |     |    |     |      |     |      |     |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0             |     |    |     |      |     |      |     |
| Kurtosis (Pearson)       | -2,0            |     |    |     |      |     |      |     |

| Statistik                | Schüttung [l/s] |          |          |          |          |          |          |  |
|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
|                          | 43   MO1        | 12   MO1 | 11   MO1 | 26   MO1 | 56   MO1 | 57   MO1 | 10   MO1 |  |
| Anz. der Beobachtungen   | 1               | 2        | 3        | 9        | 2        | 2        | 3        |  |
| Minimum                  | n.m.            | 0,07     | 0,02     | 0,00     | 0,12     | 0,01     | 1,52     |  |
| Maximum                  |                 | 0,09     | 0,11     | 2,16     | 0,18     | 0,06     | 6,60     |  |
| 1. Quartil               |                 | 0,08     | 0,05     | 0,00     | 0,13     | 0,02     | 2,28     |  |
| Median                   |                 | 0,08     | 0,07     | 0,08     | 0,15     | 0,03     | 3,03     |  |
| 3. Quartil               |                 | 0,09     | 0,09     | 0,09     | 0,16     | 0,05     | 4,82     |  |
| Mittelwert               |                 | 0,08     | 0,07     | 0,31     | 0,15     | 0,03     | 3,72     |  |
| Varianz (n-1)            |                 | 0,00     | 0,00     | 0,56     | 0,00     | 0,00     | 6,80     |  |
| Standardabweichung (n-1) |                 | 0,01     | 0,05     | 0,75     | 0,04     | 0,04     | 2,61     |  |
| Variationskoeffizient    |                 | 0,1      | 0,6      | 2,2      | 0,2      | 0,8      | 0,6      |  |
| Schiefe (Pearson)        |                 | 0,0      | -0,2     | 2,3      | 0,0      | 0,0      | 0,5      |  |
| Kurtosis (Pearson)       |                 | -2,0     | -1,5     | 3,1      | -2,0     | -2,0     | -1,5     |  |

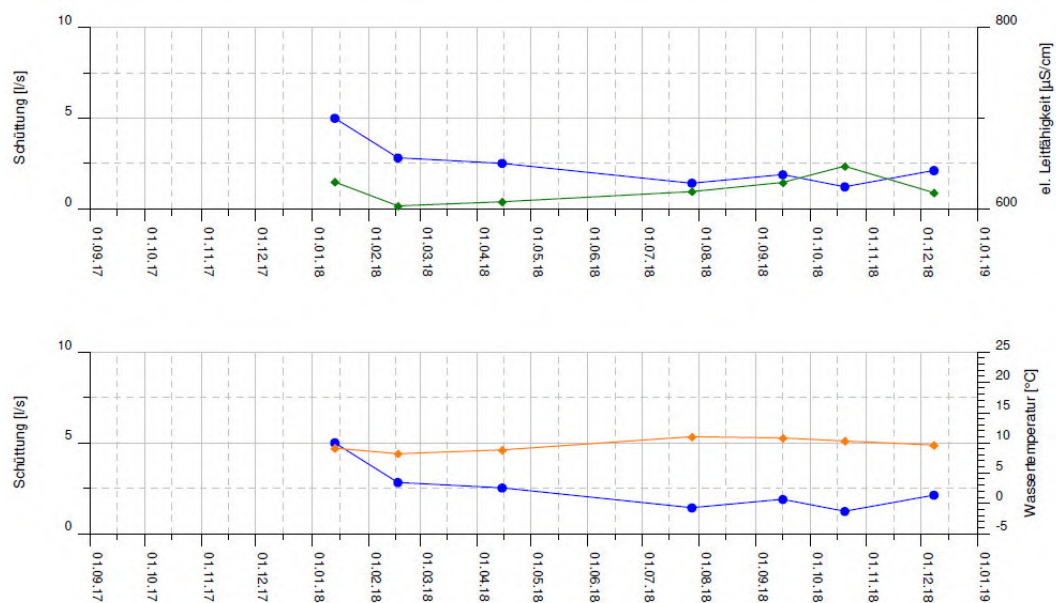


Abbildung 27: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Quelle Schmitzberger (25)

Die el. Leitfähigkeiten der Quellen lagen im Beobachtungszeitraum zwischen 342 und 1.139  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabelle 20). Dieser Maximalwert wurde einmalig im Dezember 2018 an der Quelle Fuchsberger Markus (41) gemessen. Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann es sich bei diesem Maximalwert um einen Ausreißer handeln. Die Nähe zur Bundesstraße kann jedoch auch auf den Eintrag von Streusalz hindeuten. Aufgrund der fehlenden langjährigen Datenbasis wurde der Wert in der Betrachtung belassen. Die el. Leitfähigkeiten liegen im Mittel, unter Einbezug des hohen Wertes, bei  $539 \pm 105 \mu\text{S}/\text{cm}$ , der Median liegt bei  $548 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann kein eindeutiger Jahresgang erkannt werden. Bei den regelmäßig gemessenen Messstellen lässt sich ein leichter Jahresverlauf erkennen mit leicht erhöhten el. Leitfähigkeitswerten im Sommer und niedrigeren Werten im Winter. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 29, Abbildung 30).

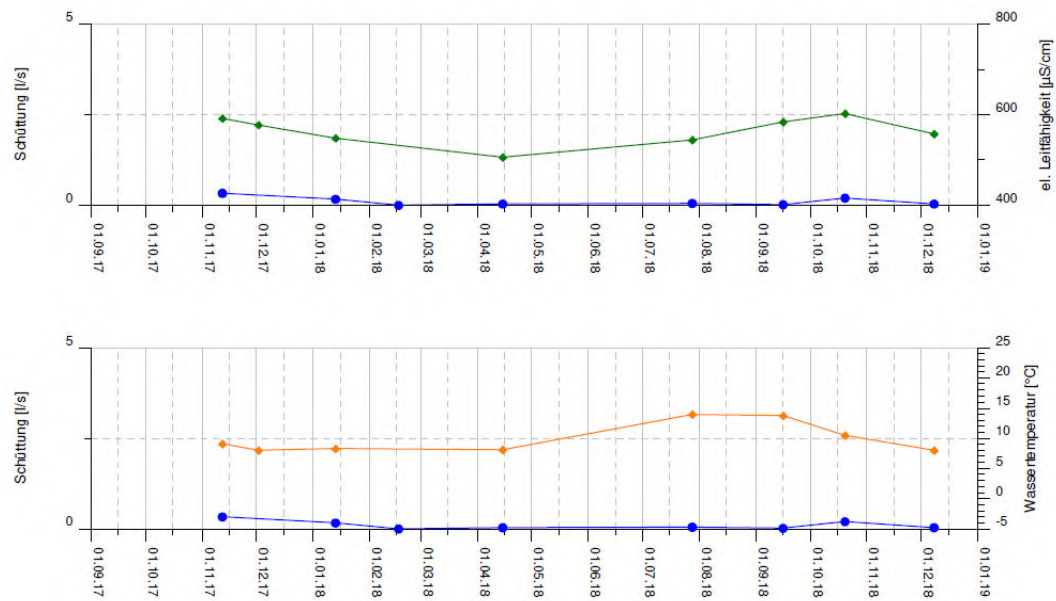


Abbildung 28: Ganglinien für Schüttung (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Quelle Neumayr (16)

Tabelle 20: Quellen – Statistische Kennwerte el. Leitfähigkeit in [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

| el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |        |         |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                                     | gesamt | 3   MO1 | 42   MO1 | 49   MO1 | 50   MO1 | 52   MO1 | 51   MO1 |
| Anz. der Beobachtungen                        | 70     | 10      | 1        | 1        | 3        | 2        | 2        |
| Minimum                                       | 342    | 376     | 548      | 590      | 502      | 589      | 490      |
| Maximum                                       | 1139   | 529     | 548      | 590      | 583      | 637      | 556      |
| 1. Quartil                                    | 477    | 410     |          |          | 539      | 601      | 507      |
| Median                                        | 548    | 440     |          |          | 576      | 613      | 523      |
| 3. Quartil                                    | 590    | 507     |          |          | 580      | 625      | 540      |
| Mittelwert                                    | 539    | 452     |          |          | 554      | 613      | 523      |
| Varianz (n-1)                                 | 11039  | 3121    |          |          | 2014     | 1152     | 2178     |
| Standardabweichung (n-1)                      | 105    | 56      |          |          | 45       | 34       | 47       |
| Variationskoeffizient                         | 0,2    | 0,1     |          |          | 0,1      | 0,0      | 0,1      |
| Schiefte (Pearson)                            | 2,6    | 0,3     |          |          | -0,7     | 0,0      | 0,0      |
| Kurtosis (Pearson)                            | 14,2   | -1,3    |          |          | -1,5     | -2,0     | -2,0     |

| el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                                     | 55   MO1 | 41   MO1 | 20   MO1 | 58   MO1 | 16   MO1 | 47   MO1 | 25   MO1 |
| Anz. der Beobachtungen                        | 2        | 1        | 1        | 1        | 9        | 8        | 7        |
| Minimum                                       | 589      | 1139     | 601      | 342      | 506      | 423      | 603      |
| Maximum                                       | 607      | 1139     | 601      | 342      | 602      | 492      | 647      |
| 1. Quartil                                    | 594      |          |          |          | 547      | 445      | 613      |
| Median                                        | 598      |          |          |          | 568      | 461      | 619      |
| 3. Quartil                                    | 603      |          |          |          | 586      | 484      | 630      |
| Mittelwert                                    | 598      |          |          |          | 564      | 462      | 622      |
| Varianz (n-1)                                 | 162      |          |          |          | 977      | 660      | 222      |
| Standardabweichung (n-1)                      | 13       |          |          |          | 31       | 26       | 15       |
| Variationskoeffizient                         | 0,0      |          |          |          | 0,1      | 0,1      | 0,0      |
| Schiefte (Pearson)                            | 0,0      |          |          |          | -0,6     | -0,2     | 0,4      |
| Kurtosis (Pearson)                            | -2,0     |          |          |          | -0,5     | -1,4     | -0,7     |

| el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                                     | 43   MO1 | 12   MO1 | 11   MO1 | 26   MO1 | 56   MO1 | 57   MO1 | 10   MO1 |
| Anz. der Beobachtungen                        | 1        | 2        | 3        | 9        | 2        | 2        | 3        |
| Minimum                                       | 589      | 426      | 458      | 478      | 567      | 477      | 560      |
| Maximum                                       | 589      | 434      | 487      | 629      | 579      | 534      | 587      |
| 1. Quartil                                    |          | 428      | 460      | 511      | 570      | 491      | 562      |
| Median                                        |          | 430      | 461      | 547      | 573      | 506      | 565      |
| 3. Quartil                                    |          | 432      | 474      | 613      | 576      | 520      | 576      |

| el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                                     | 43   MO1 | 12   MO1 | 11   MO1 | 26   MO1 | 56   MO1 | 57   MO1 | 10   MO1 |
| Mittelwert                                    |          | 430      | 469      | 557      | 573      | 506      | 571      |
| Varianz (n-1)                                 |          | 32       | 254      | 4053     | 72       | 1625     | 212      |
| Standardabweichung (n-1)                      |          | 6        | 16       | 64       | 8        | 40       | 15       |
| Variationskoeffizient                         |          | 0,0      | 0,0      | 0,1      | 0,0      | 0,1      | 0,0      |
| Schiefe (Pearson)                             |          | 0,0      | 0,7      | -0,1     | 0,0      | 0,0      | 0,6      |
| Kurtosis (Pearson)                            |          | -2,0     | -1,5     | -1,5     | -2,0     | -2,0     | -1,5     |

Die Wassertemperatur schwankte an den Quellen zwischen 2,5 und 25,9 °C, der Mittelwert lag bei  $9,4 \pm 3,9$  °C, der Median bei 9,2 °C. Der Maximalwert von 25,9 °C wurde im Juli 2018 an der Waldquelle 3 (26) gemessen (Tabelle 21). Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann es sich bei diesem Maximalwert um einen Ausreißer handeln. Aufgrund der fehlenden langjährigen Datenbasis wurde der Wert in der Betrachtung belassen.

Trotz der unregelmäßigen Messreihe zeigte sich ein Jahresgang mit niedrigen Temperaturen in den Wintermonaten mit einem Minimum von 2,5 °C an der Waldquelle 3 (26) im Februar 2018 und hohen Temperaturen in den Sommermonaten mit einem Maximum von 25,9 °C ebenfalls an der Waldquelle 3 (26) im Juli 2018. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 29, Abbildung 30).

Tabelle 21: Quellen – Statistische Kennwerte Wassertemperatur in [°C]

| Wassertemperatur [°C]    |        |         |          |          |          |          |          |
|--------------------------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                | gesamt | 3   MO1 | 42   MO1 | 49   MO1 | 50   MO1 | 52   MO1 | 51   MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 70     | 10      | 1        | 1        | 3        | 2        | 2        |
| Minimum                  | 2,5    | 5,0     | n.m.     | 13,6     | 5,5      | 10,0     | 10,2     |
| Maximum                  | 25,9   | 13,5    |          | 13,6     | 12,3     | 13,7     | 12,6     |
| 1. Quartil               | 7,5    | 6,4     |          |          | 7,5      | 10,9     | 10,8     |
| Median                   | 9,2    | 10,7    |          |          | 9,5      | 11,9     | 11,4     |
| 3. Quartil               | 10,9   | 10,8    |          |          | 10,9     | 12,8     | 12,0     |
| Mittelwert               | 9,4    | 9,3     |          |          | 9,1      | 11,9     | 11,4     |
| Varianz (n-1)            | 14,2   | 10,5    |          |          | 11,7     | 6,8      | 2,9      |
| Standardabweichung (n-1) | 3,8    | 3,2     |          |          | 3,4      | 2,6      | 1,7      |
| Variationskoeffizient    | 0,4    | 0,3     |          |          | 0,3      | 0,2      | 0,1      |
| Schiefe (Pearson)        | 1,3    | -0,2    |          |          | -0,2     | 0,0      | 0,0      |
| Kurtosis (Pearson)       | 4,3    | -1,4    |          |          | -1,5     | -2,0     | -2,0     |

| Wassertemperatur [°C]    |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Statistik                | 55   MO1 | 41   MO1 | 20   MO1 | 58   MO1 | 16   MO1 | 47   MO1 | 25   MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 2        | 1        | 1        | 1        | 9        | 8        | 7        |
| Minimum                  | 6,9      | 8,5      | 10,0     | 7,7      | 8,0      | 3,8      | 8,2      |
| Maximum                  | 11,5     | 8,5      | 10,0     | 7,7      | 14,0     | 17,4     | 11,0     |
| 1. Quartil               | 8,1      |          |          |          | 8,1      | 4,8      | 9,0      |
| Median                   | 9,2      |          |          |          | 8,7      | 9,6      | 9,6      |
| 3. Quartil               | 10,4     |          |          |          | 11,3     | 12,1     | 10,6     |
| Mittelwert               | 9,2      |          |          |          | 10,0     | 9,4      | 9,7      |
| Varianz (n-1)            | 10,6     |          |          |          | 6,6      | 25,3     | 1,1      |
| Standardabweichung (n-1) | 3,3      |          |          |          | 2,6      | 5,0      | 1,0      |
| Variationskoeffizient    | 0,3      |          |          |          | 0,2      | 0,5      | 0,1      |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0      |          |          |          | 0,9      | 0,3      | -0,1     |
| Kurtosis (Pearson)       | -2,0     |          |          |          | -1,0     | -1,3     | -1,4     |

| Statistik                | Wassertemperatur [°C] |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                          | 43   MO1              | 12   MO1 | 11   MO1 | 26   MO1 | 56   MO1 | 57   MO1 | 10   MO1 |
| Anz. der Beobachtungen   | 1                     | 2        | 3        | 9        | 2        | 2        | 3        |
| Minimum                  |                       | 4,8      | 5,0      | 2,5      | 9,3      | 7,5      | 8,9      |
| Maximum                  |                       | 6,3      | 9,3      | 25,9     | 9,8      | 10,9     | 9,3      |
| 1. Quartil               |                       | 5,2      | 5,5      | 3,8      | 9,4      | 8,4      | 9,1      |
| Median                   |                       | 5,6      | 5,9      | 7,3      | 9,6      | 9,2      | 9,2      |
| 3. Quartil               |                       | 5,9      | 7,6      | 11,4     | 9,7      | 10,1     | 9,2      |
| Mittelwert               |                       | 5,6      | 6,7      | 9,4      | 9,6      | 9,2      | 9,1      |
| Varianz (n-1)            |                       | 1,1      | 5,1      | 70,2     | 0,1      | 5,8      | 0,0      |
| Standardabweichung (n-1) |                       | 1,1      | 2,3      | 8,4      | 0,4      | 2,4      | 0,2      |
| Variationskoeffizient    |                       | 0,1      | 0,3      | 0,8      | 0,0      | 0,2      | 0,0      |
| Schiefte (Pearson)       |                       | 0,0      | 0,6      | 1,2      | 0,0      | 0,0      | -0,7     |
| Kurtosis (Pearson)       |                       | -2,0     | -1,5     | 0,1      | -2,0     | -2,0     | -1,5     |

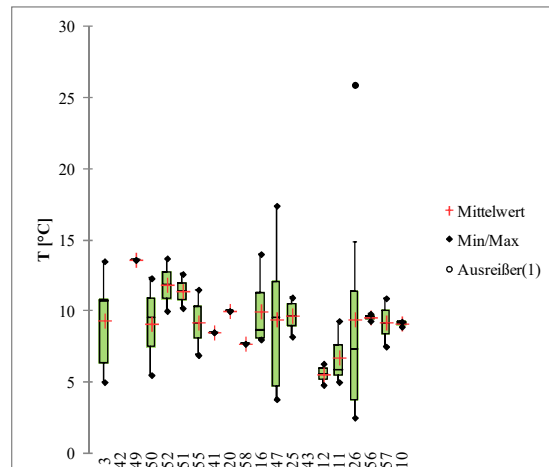
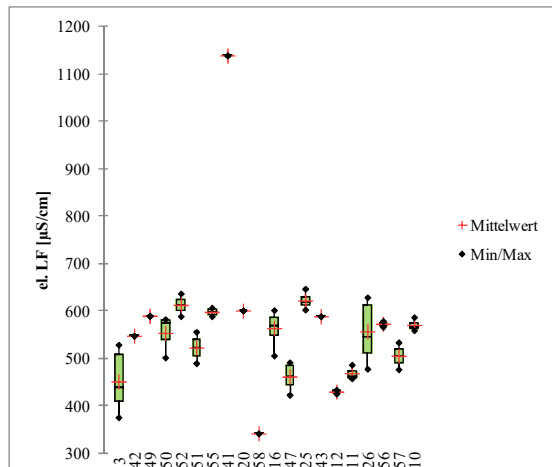
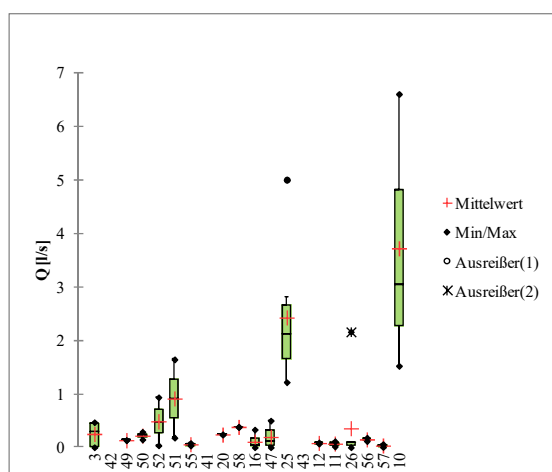


Abbildung 29: Quellen – Boxplots für Schüttung, el. Leitfähigkeit u. Wassertemperatur

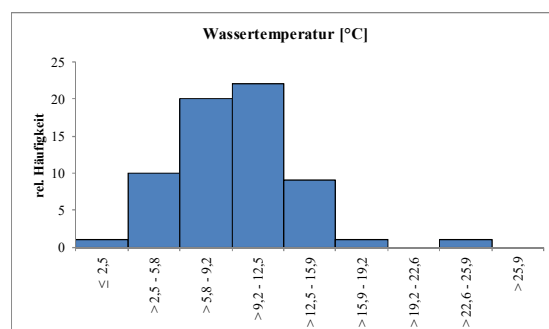
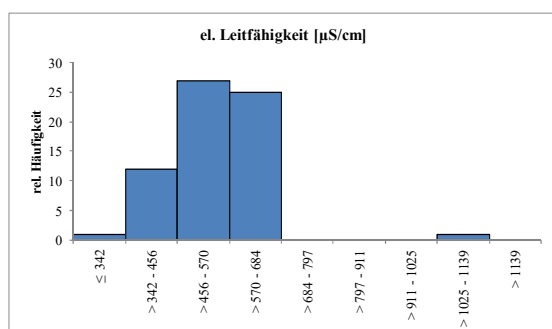


Abbildung 30: Quellen – Histogramme für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

### 4.1.3 Grundwassermessstelle

Die Grundwassermessstelle (Abbildung 31) war zum Teil nicht messbar (eingeschränkter Zugang). Da somit nur ein halber Jahresgang vorliegt, wurden tendenzielle Ausreißer nicht bereinigt.

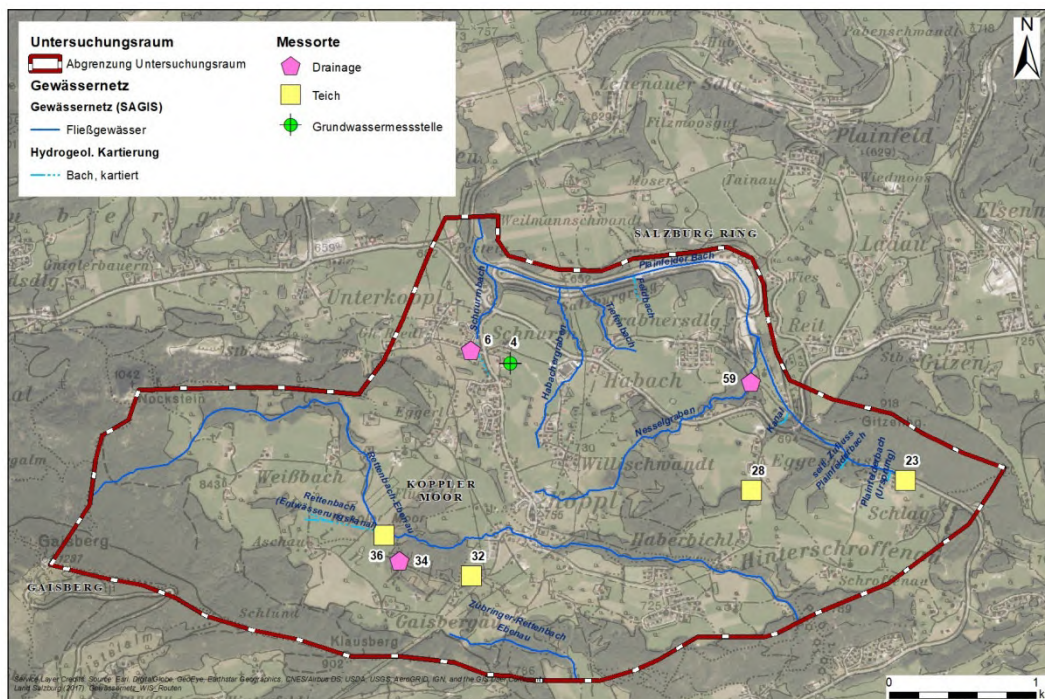


Abbildung 31: Übersichtskarte der Messorte der Grundwassermessstelle, Teiche und Drainagen

Der Abstich (Abbildung 32) lag im Beobachtungszeitraum zwischen 6,01 und 6,99 m unter Rohroberkante, im Mittel bei  $6,74 \pm 0,41$  m, der Median bei 6,97 m (Tabelle 22).

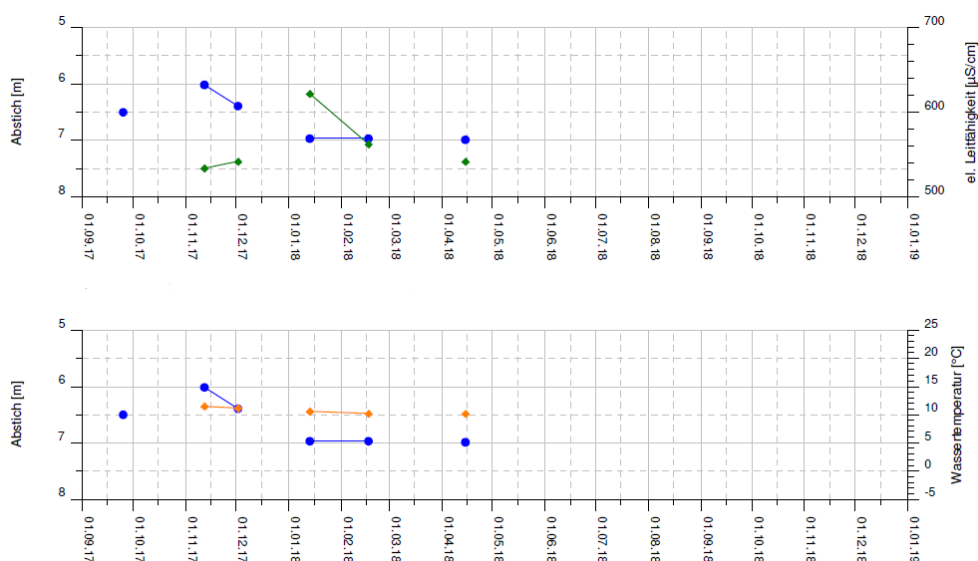


Abbildung 32: Ganglinien für Abtich (blau), el. Leitfähigkeit (grün) und Wassertemperatur (orange) der Grundwassermessstelle Meindlbauer

Die el. Leitfähigkeit schwankte zwischen 534 und 622  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , der Mittelwert lag bei  $560 \pm 36 \mu\text{S}/\text{cm}$ , der Median bei 542  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabelle 22).

Die Wassertemperatur lag zwischen 10,2 und 11,5  $^{\circ}\text{C}$ , im Mittel bei  $10,7 \pm 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , der Median lag bei 10,6  $^{\circ}\text{C}$  (Tabelle 22).

Tabelle 22: Grundwassermessstelle – Statistische Kennwerte

| Statistik                | Abstich [m] | el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | Wassertemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ] |
|--------------------------|-------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Anz. der Beobachtungen   | 6           | 6                                             | 6                                       |
| Minimum                  | 6,01        | 534                                           | 10,2                                    |
| Maximum                  | 6,99        | 622                                           | 11,5                                    |
| 1. Quartil               | 6,62        | 542                                           | 10,2                                    |
| Median                   | 6,97        | 542                                           | 10,6                                    |
| 3. Quartil               | 6,99        | 562                                           | 11,2                                    |
| Mittelwert               | 6,74        | 560                                           | 10,7                                    |
| Varianz (n-1)            | 0,16        | 1293                                          | 0,3                                     |
| Standardabweichung (n-1) | 0,41        | 36                                            | 0,6                                     |
| Variationskoeffizient    | 0,1         | 0,1                                           | 0,0                                     |
| Schiefe (Pearson)        | -1,1        | 1,2                                           | 0,3                                     |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,3        | -0,2                                          | -1,6                                    |

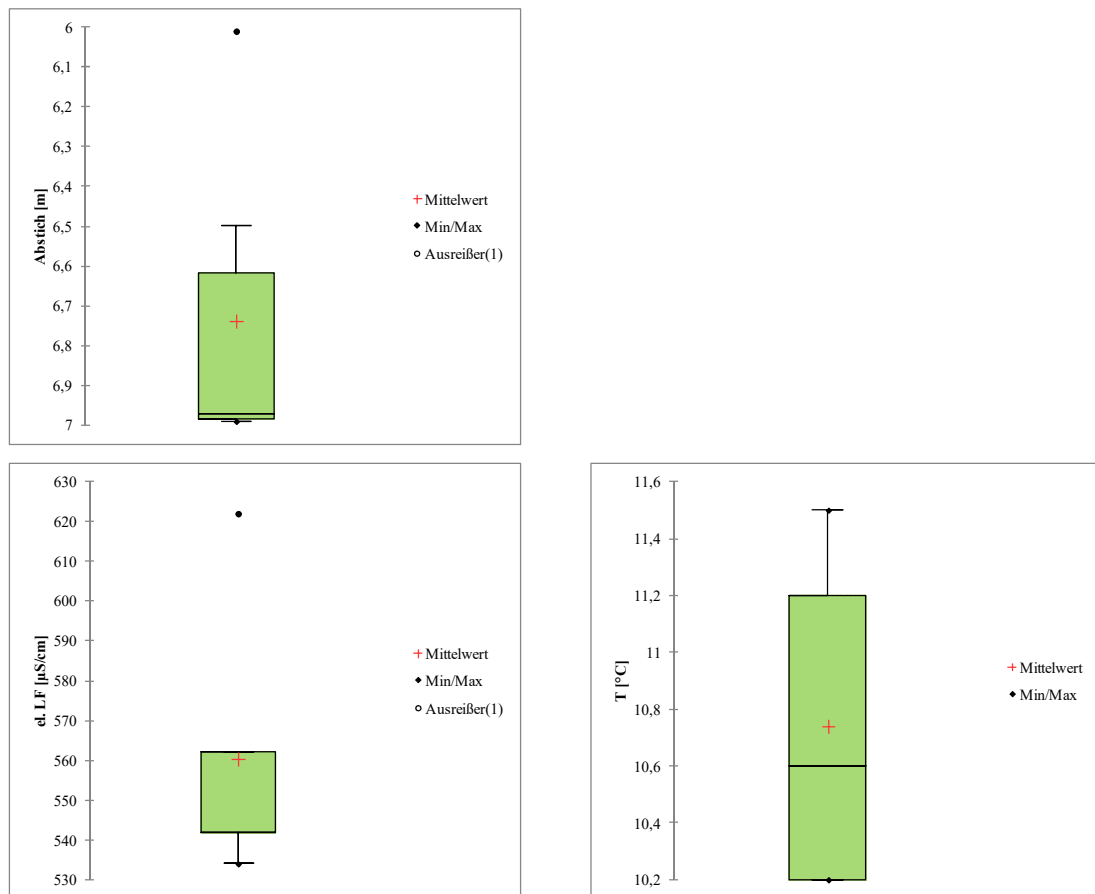


Abbildung 33: Grundwassermessstelle – Boxplots für Abstich, el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann kein eindeutiger Jahresgang erkannt werden (Abbildung 32). Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine

Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 33, Abbildung 34).

#### 4.1.4 Teiche, Drainagen

An den Drainagen und Teichen (Abbildung 31) konnte, basierend auf dem Zustand der Messstellen (keine erkennbaren, oberirdischen Zu- oder Abläufe), keine Schüttung gemessen werden.

Die el. Leitfähigkeiten lagen zwischen 32 und 637  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , wobei der niedrige Leitfähigkeitswert einmalig im Koppler Moor erfasst wurde und darauf basierend keine verlässliche Aussage gemacht werden kann. Der Mittelwert lag bei  $441 \pm 173 \mu\text{S}/\text{cm}$ , der Median bei 513  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabelle 23).

Die Wassertemperatur an diesen Messstellen lag zwischen 0,6 und 17,3  $^{\circ}\text{C}$ , im Mittel bei  $8,2 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , der Median bei 7,3  $^{\circ}\text{C}$  (Tabelle 23).

Aufgrund der unregelmäßigen und kurzen Zeitreihe kann kein eindeutiger Jahresgang erkannt werden. Es ist aufgrund des Messrhythmus und der Dauer keine Aussage bezüglich Ausreißer einzelner Messwerte möglich. Entsprechend kann keine Aussage über tatsächliche Verteilung, Schiefe und Kurtosis getroffen werden (Abbildung 34).

Tabelle 23: Teiche und Drainagen – Statistische Kennwerte

| Statistik                | el. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | Wassertemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ] |
|--------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Anz. der Beobachtungen   | 16                                            | 16,0                                    |
| Minimum                  | 32                                            | 0,6                                     |
| Maximum                  | 637                                           | 17,3                                    |
| 1. Quartil               | 354                                           | 4,3                                     |
| Median                   | 513                                           | 7,3                                     |
| 3. Quartil               | 552                                           | 12,0                                    |
| Mittelwert               | 441                                           | 8,2                                     |
| Varianz (n-1)            | 29919                                         | 24,7                                    |
| Standardabweichung (n-1) | 173                                           | 5,0                                     |
| Variationskoeffizient    | 0,4                                           | 0,6                                     |
| Schiefe (Pearson)        | -1,0                                          | 0,3                                     |
| Kurtosis (Pearson)       | 0,0                                           | -0,9                                    |

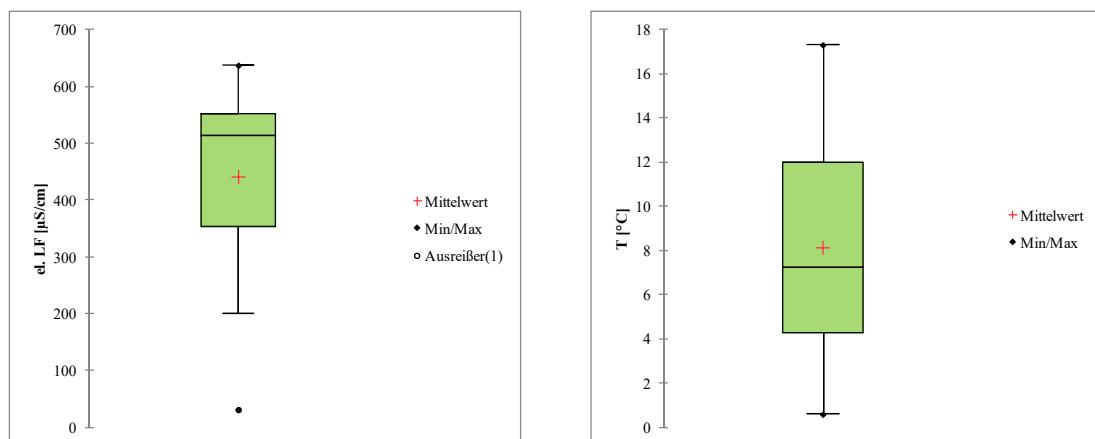


Abbildung 34: Teiche und Drainagen – Boxplots für el. Leitfähigkeit und Wassertemperatur

### 4.1.5 Verteilung der el. Leitfähigkeiten

Gemäß den geostatistischen Auswertungen weisen die Wässer im Untersuchungsgebiet mittlere bis hohe el. Leitfähigkeiten auf. Bei Niedrigwasserabflüssen (Juli 2018, Abbildung 35) ist die el. Leitfähigkeit im zentralen Untersuchungsraum deutlich erhöht mit  $> 600 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Tiefenbach MO2 (8), Nesselgraben MO4 (29)). Ebenso zeigt Quelle Schmitzberger (25) eine Erhöhung der el. Leitfähigkeit, wohingegen die umliegenden Messorte (Plainfelderbach MO5 (60), Waldquelle 3 (26)) geringere el. Leitfähigkeiten aufweisen. Im Bereich westlich des Koppler Moors zeigen sich bei diesen Wasserständen hingegen deutlich niedrigere el. Leitfähigkeiten mit  $< 400 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

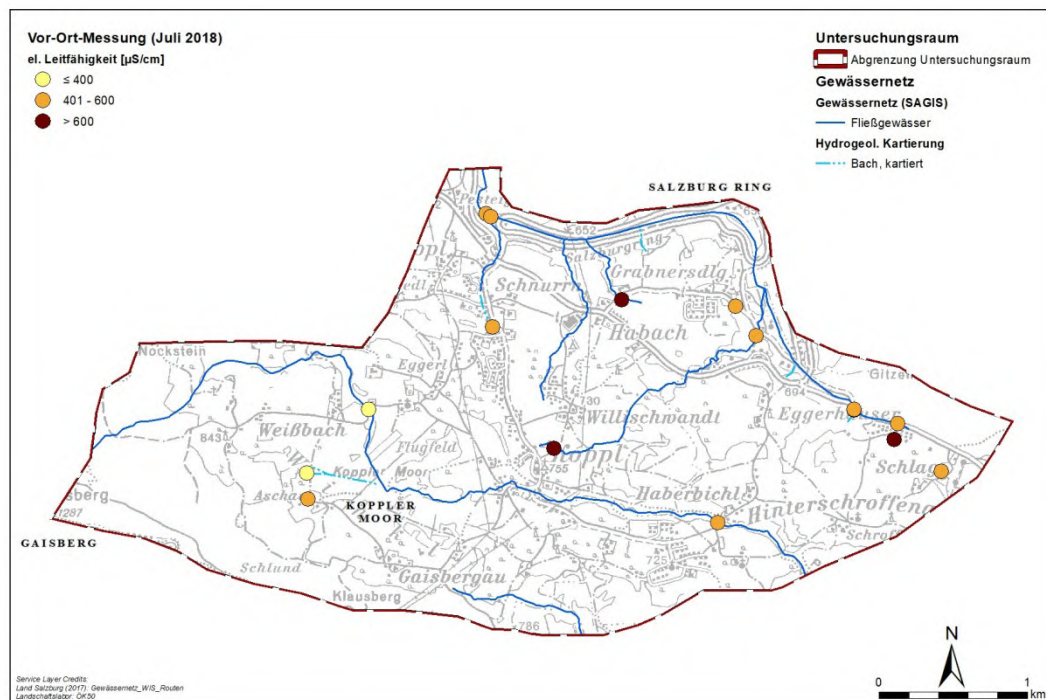


Abbildung 35: Verteilung el. Leitfähigkeit (Vor-Ort-Messungen Juli 2018)

Bei Hochwasserabflussverhältnissen (Abbildung 36) verlagern sich die Bereiche mit eher geringer el. Leitfähigkeit ( $< 400 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) in den zentralen-südlichen Untersuchungsraum, stromabwärts des Koppler Moors. Auffällig ist die geringe el. Leitfähigkeit zwischen Haberbichl und Eggerhauser. Die Bereiche mit erhöhter el. Leitfähigkeit ( $> 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) haben sich ausgedehnt und scheinen einen West-Ost-verlaufenden Streifen zu bilden.

Eine detaillierte Betrachtung der hydrochemischen Zusammensetzung und Verteilung erfolgt im Kapitel 4.2. In diesem Kapitel wird untersucht, welche hydrochemischen Parameter für die erhöhten el. Leitfähigkeiten verantwortlich sind.

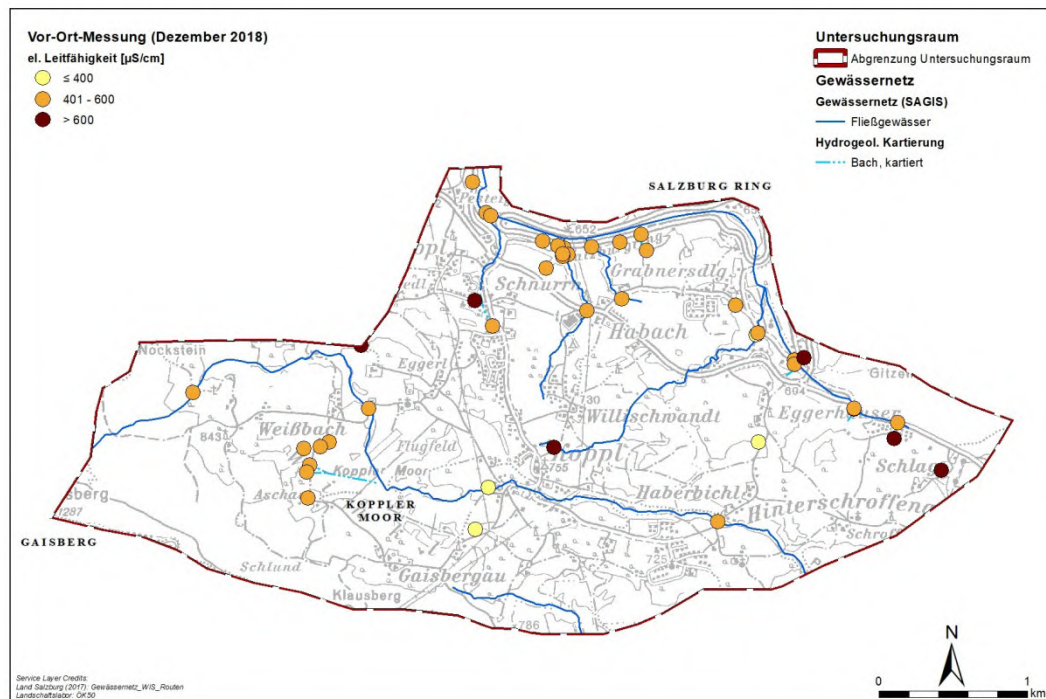


Abbildung 36: Verteilung el. Leitfähigkeit (Vor-Ort-Messungen Dezember 2018)

## 4.2 Hydrochemische Parameter

Die nachfolgenden Beobachtungen beziehen sich auf die Probenahme und Analyse der Messorte im Dezember 2018. Für die statistischen Betrachtungen wurden Werte unter der Nachweisgrenze substituiert.

Da nicht alle Parameter beprobt bzw. analysiert wurden, werden verhältnismäßig hohe Ionenbilanzfehler erwartet, zum Zweck der vorliegenden Arbeit aber toleriert. Der Ionenbilanzfehler der 35 Analysen liegt zwischen 0,7 und +19,3 %, im Mittel bei  $7,8 \pm 5,6$  %.

Die analysierten Wässer sind zum Beprobungszeitpunkt (Dezember 2018) als durchgängig erdalkalisch-carbonatisch zu klassifizieren (Abbildung 37). Es zeigt sich, dass bei den Quellen und Fließgewässern die Calcium-carbonatischen Wässer dominieren (Typ 1a). Einige wenige Messorte fallen in den Untertyp 1b und sind somit Calcium-Magnesium-carbonatische Wässer. Dolomit-carbonatische Wässer liegen nicht vor (Typ 1c). Eine Ausnahme bildet die Quelle Fuchsberger Markus (41), welche als erdalkalisch-alkalisch-carbonatisch (Typ 4) zu klassifizieren ist.

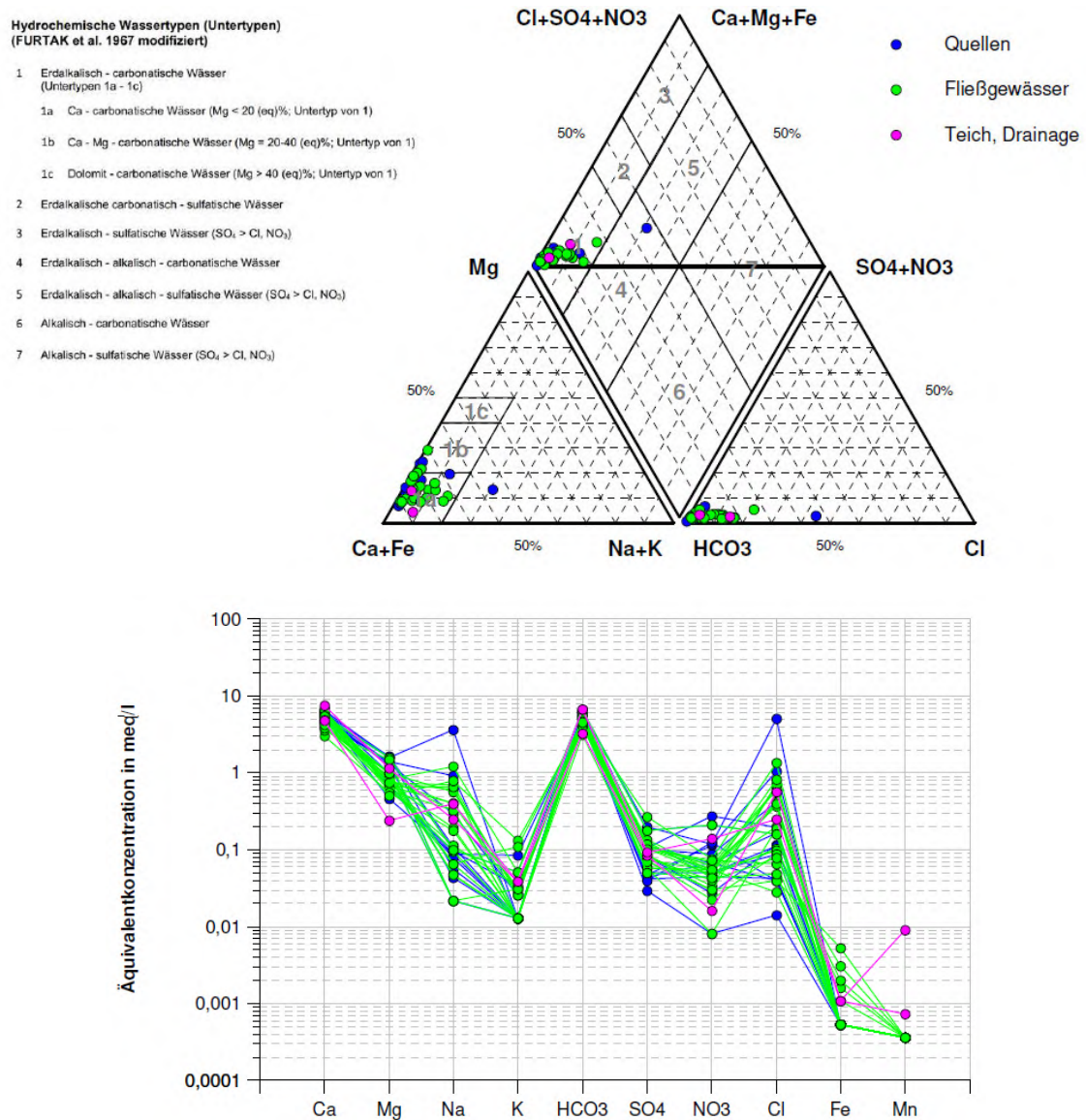


Abbildung 37: Piper- und Schöller-Diagramm der Analytik Dezember 2018 (Piper: obere Graphik, Schöller: untere Graphik)

Die el. Leitfähigkeit schwankte zum Probenahmezeitpunkt zwischen 325 und 1.139  $\mu S/cm$ , im Mittel lag diese bei  $525 \pm 133$   $\mu S/cm$ , der Median bei 513  $\mu S/cm$ . Es handelt sich um mittel bis hoch mineralisierte Wässer. Die Wassertemperatur lag im Dezember 2018 zwischen 4,3 und 11,3  $^{\circ}C$ , im Mittel bei  $7,6 \pm 1,6$   $^{\circ}C$ , der Median bei 7,4  $^{\circ}C$ . Der pH-Wert lag zwischen 7,6 und 8,6, im Mittel bei  $8,3 \pm 0,3$ , der Median ebenfalls bei 8,3 (Tabelle 24).

Die Gesamthärte (Tabelle 24) schwankte zwischen 9,9 und 24  $^{\circ}dH$ , mit dem Mittel bei  $17,3 \pm 3,2$   $^{\circ}dH$  und Median bei 17,0  $^{\circ}dH$ . Es handelt sich entsprechend der Tabelle 6 um mittelharte bis harte (nach HÖLTING & COLDEWEY (2013)) bzw. ziemlich harte bis harte (nach BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017)) Wässer. Die Carbonathärte (Tabelle 24) lag zwischen 9,3 und 19  $^{\circ}dH$ , im Mittel bei  $14,4 \pm 2,3$   $^{\circ}dH$ , der Median bei 14,0  $^{\circ}dH$ .

Bei folgenden Parametern lagen die Werte teilweise unter der Bestimmungsgrenze: Kalium ( $< 1 \text{ mg/l}$ ), Natrium ( $< 1 \text{ mg/l}$ ), Nitrit ( $< 0,01 \text{ mg/l}$ ), Nitrat ( $< 1 \text{ mg/l}$ ), Chlorid ( $< 1 \text{ mg/l}$ ). Der Phosphatwert lag bei allen Messorten unter der Nachweisgrenze ( $< 0,1 \text{ mg/l}$ ), der Parameter fließt deshalb nicht in die weiteren Betrachtungen ein. Zu statistischen Auswertung wurden die Werte wie in Kapitel 3.1.2.9 beschrieben substituiert (positiver halber Wert: Kalium/Natrium/Nitrat/Chlorid  $0,5 \text{ mg/l}$ , Nitrit  $0,05 \text{ mg/l}$ ) und mit diesem Wert die geostatistischen Parameter berechnet (Tabelle 25).

Den Hauptanteil der Kationen (Tabelle 25) macht gemäß den Analysen Calcium aus, die Werte liegen zwischen  $60$  und  $150 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $106 \pm 21 \text{ mg/l}$ , Median  $110 \text{ mg/l}$ ). Magnesium variiert zwischen  $2,9$  und  $20 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $11,3 \pm 4,54 \text{ mg/l}$ , Median  $9,9 \text{ mg/l}$ ), Natrium zwischen  $0,5$  und  $83,0 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $8,53 \pm 14,62 \text{ mg/l}$ , Median  $2,6 \text{ mg/l}$ ) und Kalium zwischen  $0,5$  und  $5,2 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $1,13 \pm 1,1 \text{ mg/l}$ , Median  $0,5 \text{ mg/l}$ ).

Die Kationenanteile verteilen sich im Mittel:  $\text{Ca} \gg \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ . Bei den Messstellen Habachergraben (beide Messorte (9, 7)), Kanal (19), Nesselgraben Messort 4 (29), Plainfelderbach Messort 1 (1), Schnurrnbach Messort 1 (2), Waldbach (beide Messorte, 61, 62), Quelle Fuchsberger Markus (41), Waldquelle 3 (26) und Quellteich (28) liegt gemäß Einzelanalysen mehr Natrium als Magnesium vor:  $\text{Ca} \gg \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$ . Hierbei sind die Na-Werte bei den Messstellen Kanal (19) und Quellteich (28) dreifach, bei den Messstellen Nesselgraben Messort 1 (17), Waldbach (beide Messort (61, 62)) doppelt und bei der Quelle Fuchsberger Markus (41) viermal so hoch. Bei den Messstellen Rettenbach Messort 5 (53) und Messort 8 (45) sowie der Quelle Murabgang (3) liegt gemäß Einzelanalysen zwar mehr Magnesium als Natrium, jedoch auch mehr Kalium als Natrium vor:  $\text{Ca} \gg \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ .

Den Hauptanteil der Anionen (Tabelle 25) macht Hydrogencarbonat aus, die Werte liegen zwischen  $190$  und  $410 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $305 \pm 53 \text{ mg/l}$ , Median  $300 \text{ mg/l}$ ). Chlorid variiert zwischen  $0,5$  und  $180 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $15,8 \pm 30,7 \text{ mg/l}$ , Median  $6,7 \text{ mg/l}$ ), Sulfat zwischen  $1,4$  und  $13,00 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $4,5 \pm 2,3 \text{ mg/l}$ , Median  $4,10 \text{ mg/l}$ ), Nitrat zwischen  $0,5$  und  $17,0 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $4,2 \pm 3,4 \text{ mg/l}$ , Median  $3,3 \text{ mg/l}$ ) und Nitrit zwischen  $0,005$  und  $0,047 \text{ mg/l}$  (Mittelwert  $0,012 \pm 0,011 \text{ mg/l}$ , Median  $0,005 \text{ mg/l}$ ).

Die Anionenanteile verteilen sich im Mittel:  $\text{HCO}_3 \gg \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3 > \text{NO}_2$ . Bei den Messstellen Drainage Klug (6), Kanal (19), Waldquelle 3 (26), Quelle Fuchsberger 3 (52) und Waldquelle 4 (56) liegt gemäß Einzelanalysen mehr Nitrat als Sulfat vor:  $\text{HCO}_3 \gg \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{NO}_2$ . Bei den Messstellen Feldbach (beide Messorte, 15, 14) und Rettenbach (Messort 1 (27) und Messort 8 (45)) ändert sich gemäß Einzelanalysen die Reihung in  $\text{HCO}_3 \gg \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{NO}_2$ , d. h. es ist mehr Sulfat als Chlorid, jedoch mehr Chlorid als Nitrat enthalten. Im Gegensatz dazu ist bei den Messstellen Seidl. Zufluss Plainfelderbach (21), Rettenbach Messort 2 (33), Quelle Reischl (47) und

Quelle Fuchsberger Johann u. a. (55) der Nitratgehalt höher als der Chloridgehalt, beides jedoch niedriger als Sulfat:  $\text{HCO}_3 \gg \text{SO}_4 > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{NO}_2$ . Bei den Messstellen Waldquelle 1 (12), Quelle Neumayr (16), Quelle Schmitzberger (25), Weißenbach (Messort 5 (53) und Messort 6 (54)) und Waldquelle 5 (57) ändert sich gemäß Einzelanalysen die Reihung in  $\text{HCO}_3 \gg \text{NO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_2$ , d. h. es ist mehr Nitrat als Sulfat, jedoch mehr Sulfat als Chlorid enthalten. Im Gegensatz dazu ist bei der Messstelle Quelle Murabgang (3) der Chloridgehalt höher als der Sulfatgehalt, beides jedoch niedriger als Nitrat:  $\text{HCO}_3 \gg \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_2$ .

Die Mangan- und Eisenwerte (Tabelle 25) lagen bei fast allen Messorten unter der Bestimmungsgrenze ( $< 0,02 \text{ mg/l}$ ). Ausnahme bildete bei Mangan die Messstelle Quellteich (28), der Wert lag bei  $0,25 \text{ mg/l}$ . Eisen wurde an den Messorten Rettenbach-Weißenbach (Messort 1 (27) und Messort 2 (33)), Tiefenbach (Messort 1 (13)) und Feldbach (beide Messorte (15, 14)) mit Werten zwischen  $0,02$  und  $0,098 \text{ mg/l}$  gemessen.

Bei der Quelle Fuchsberger Markus (41) geht die auffällig hohe el. Leitfähigkeit mit erhöhten Werten Natrium und Chlorid einher. Aufgrund der Lage der Messstelle (Nähe zur Bundesstraße) könnte es sich hierbei um Streusalzeinträge handeln. Exkludiert man diese Werte aus der statistischen Betrachtung, liegt die Schwankungsbreite dieser Parameter nur noch zwischen  $0,5$  und  $48,00 \text{ mg/l}$  bei Chlorid (Mittelwert  $11,02 \pm 11,5 \text{ mg/l}$ , Median  $6,3 \text{ mg/l}$ ) und  $0,5$  bis  $28,00 \text{ mg/l}$  bei Natrium (Mittelwert  $6,34 \pm 6,9 \text{ mg/l}$ , Median  $2,55 \text{ mg/l}$ ).

Die Parameter Wassertemperatur, pH, Gesamt- und Carbonathärte, Calcium, Magnesium und Hydrogencarbonat zeigen einerseits geringe Differenzen zwischen Mittelwert und Modalwert, andererseits sind auch die Werte der Schiefe und Kurtosis sehr gering bzw. nahe Null, was für Normalverteilungen der Werte spricht.

Die Parameter el. Leitfähigkeit, Natrium, Kalium, Eisen, Nitrit, Nitrat und Chlorid zeigen leicht bis starke positive Schiefe- und Kurtosiswerte, d. h. die Verteilungen sind rechtsschief und steilgipfliger, bzw. mit Ausreißern (Abbildung 38). Dies könnte in Zusammenhang mit den Werten unter der Nachweisgrenze bzw. bei Natrium und Chlorid mit den hohen „Ausreißerwerten“ stehen. Eine Analyse des bereinigten Datensatz zeigt erheblich niedrigere Schiefe und Kurtosiswerte, d. h. annähernde Normalverteilungen (Tabelle 25).

Für die Parameter Mangan und Phosphat können aufgrund der (fast) durchgängigen Werte unter der Bestimmungsgrenze keine näheren Angaben zur Verteilung gemacht werden. Diese Parameter gehen in die weiteren geostatistischen Betrachtungen nicht mit ein.

Tabelle 24: Statistische Kennwerte Hydrochemie – Eckparameter, Kationen, Anionen

| Statistik                | el. Leitf.<br>[μS/cm] | Wassertemp.<br>[°C] | pH<br>[-] | Gesamthärte<br>[°dH] | Carbonathärte<br>[°dH] |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|-----------|----------------------|------------------------|
| Anz. der Beobachtungen   | 35                    | 35                  | 35        | 35                   | 35                     |
| Minimum                  | 325                   | 4,3                 | 7,6       | 10                   | 9                      |
| Maximum                  | 1139                  | 11,3                | 8,6       | 24                   | 19                     |
| 1. Quartil               | 450                   | 6,5                 | 8,0       | 15                   | 13                     |
| Median                   | 513                   | 7,4                 | 8,3       | 17                   | 14                     |
| 3. Quartil               | 573                   | 8,6                 | 8,5       | 20                   | 16                     |
| Mittelwert               | 525                   | 7,6                 | 8,3       | 17                   | 14                     |
| Varianz (n-1)            | 17558                 | 2,5                 | 0,1       | 10                   | 6                      |
| Standardabweichung (n-1) | 133                   | 1,6                 | 0,3       | 3                    | 2                      |
| Variationskoeffizient    | 0,2                   | 0,2                 | 0,0       | 0,2                  | 0,2                    |
| Schiefe (Pearson)        | 2,8                   | 0,4                 | -0,6      | -0,1                 | -0,1                   |
| Kurtosis (Pearson)       | 11,3                  | -0,1                | -0,6      | -0,5                 | -0,3                   |

| Statistik                | Ca<br>[mg/l] | Mg<br>[mg/l] | Na<br>[mg/l] | K<br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Anz. der Beobachtungen   | 35           | 35           | 35           | 35          | 35           | 35           |
| Minimum                  | 60           | 2,90         | 0,50         | 0,50        | 0,010        | 0,010        |
| Maximum                  | 150          | 20,00        | 83,00        | 5,20        | 0,098        | 0,250        |
| 1. Quartil               | 91           | 8,05         | 1,50         | 0,50        | 0,010        | 0,010        |
| Median                   | 110          | 9,90         | 2,60         | 0,50        | 0,010        | 0,010        |
| 3. Quartil               | 120          | 14,50        | 9,20         | 1,25        | 0,010        | 0,010        |
| Mittelwert               | 106          | 11,30        | 8,53         | 1,13        | 0,015        | 0,017        |
| Varianz (n-1)            | 459          | 20,60        | 213,70       | 1,20        | 0,000        | 0,002        |
| Standardabweichung (n-1) | 21           | 4,54         | 14,62        | 1,10        | 0,017        | 0,041        |
| Variationskoeffizient    | 0,2          | 0,4          | 1,7          | 1,0         | 1,1          | 2,4          |
| Schiefe (Pearson)        | -0,1         | 0,5          | 4,0          | 2,4         | 3,7          | 5,7          |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,7         | -0,7         | 17,5         | 5,4         | 13,9         | 30,0         |

| Statistik                | HCO <sub>3</sub><br>[mg/l] | NO <sub>2</sub><br>[mg/l] | NO <sub>3</sub><br>[mg/l] | Cl<br>[mg/l] | SO <sub>4</sub><br>[mg/l] | oPO <sub>4</sub><br>[mg/l] |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|
| Anz. der Beobachtungen   | 35                         | 35                        | 35                        | 35           | 35                        | 35                         |
| Minimum                  | 190                        | 0,005                     | 0,5                       | 0,5          | 1,4                       | 0,050                      |
| Maximum                  | 410                        | 0,047                     | 17,0                      | 180,0        | 13,0                      | 0,050                      |
| 1. Quartil               | 270                        | 0,005                     | 2,6                       | 3,0          | 2,8                       |                            |
| Median                   | 300                        | 0,005                     | 3,3                       | 6,7          | 4,1                       |                            |
| 3. Quartil               | 335                        | 0,014                     | 4,4                       | 17,5         | 5,5                       |                            |
| Mittelwert               | 305                        | 0,012                     | 4,2                       | 15,8         | 4,5                       |                            |
| Varianz (n-1)            | 2820                       | 0,000                     | 11,2                      | 944,2        | 5,4                       |                            |
| Standardabweichung (n-1) | 53                         | 0,011                     | 3,4                       | 30,7         | 2,3                       |                            |
| Variationskoeffizient    | 0,2                        | 0,9                       | 0,8                       | 1,9          | 0,5                       |                            |
| Schiefe (Pearson)        | 0,0                        | 2,1                       | 2,2                       | 4,6          | 1,6                       |                            |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,4                       | 3,6                       | 5,3                       | 21,7         | 3,7                       |                            |

Tabelle 25: Statistische Kennwerte Hydrochemie – Kationen, Anionen (bereinigt, keine Werte unter Nachweisgrenze)

| Statistik              | el. Leitf.<br>[μS/cm] | Na<br>[mg/l] | K<br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | NO <sub>2</sub><br>[mg/l] | NO <sub>3</sub><br>[mg/l] | Cl<br>[mg/l] |
|------------------------|-----------------------|--------------|-------------|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Anz. der Beobachtungen | 35                    | 30           | 16          | 5            | 17                        | 32                        | 33           |
| Minimum                | 325                   | 1,00         | 1,00        | 0,020        | 0,010                     | 1,4                       | 1,0          |
| Maximum                | 637                   | 28,00        | 5,20        | 0,098        | 0,047                     | 17,0                      | 48,0         |
| 1. Quartil             | 450                   | 2,00         | 1,18        | 0,030        | 0,012                     | 2,8                       | 3,1          |
| Median                 | 512                   | 4,25         | 1,30        | 0,037        | 0,014                     | 3,4                       | 6,7          |

| Statistik                | el. Leitf. [µS/cm] | Na [mg/l] | K [mg/l] | Fe [mg/l] | NO <sub>2</sub> [mg/l] | NO <sub>3</sub> [mg/l] | Cl [mg/l] |
|--------------------------|--------------------|-----------|----------|-----------|------------------------|------------------------|-----------|
| 3. Quartil               | 569                | 9,25      | 2,00     | 0,057     | 0,019                  | 4,6                    | 15,0      |
| Mittelwert               | 507                | 7,12      | 1,88     | 0,048     | 0,019                  | 4,5                    | 11,3      |
| Varianz (n-1)            | 6337               | 48,36     | 1,61     | 0,001     | 0,000                  | 10,9                   | 132,8     |
| Standardabweichung (n-1) | 80                 | 6,95      | 1,27     | 0,031     | 0,012                  | 3,3                    | 11,5      |
| Variationskoeffizient    | 0,2                | 0,96      | 0,7      | 0,6       | 0,6                    | 0,7                    | 1,0       |
| Schiefe (Pearson)        | -0,2               | 1,3       | 1,7      | 0,9       | 1,5                    | 2,3                    | 1,4       |
| Kurtosis (Pearson)       | -0,8               | 1,1       | 1,4      | -0,6      | 0,7                    | 5,5                    | 1,6       |

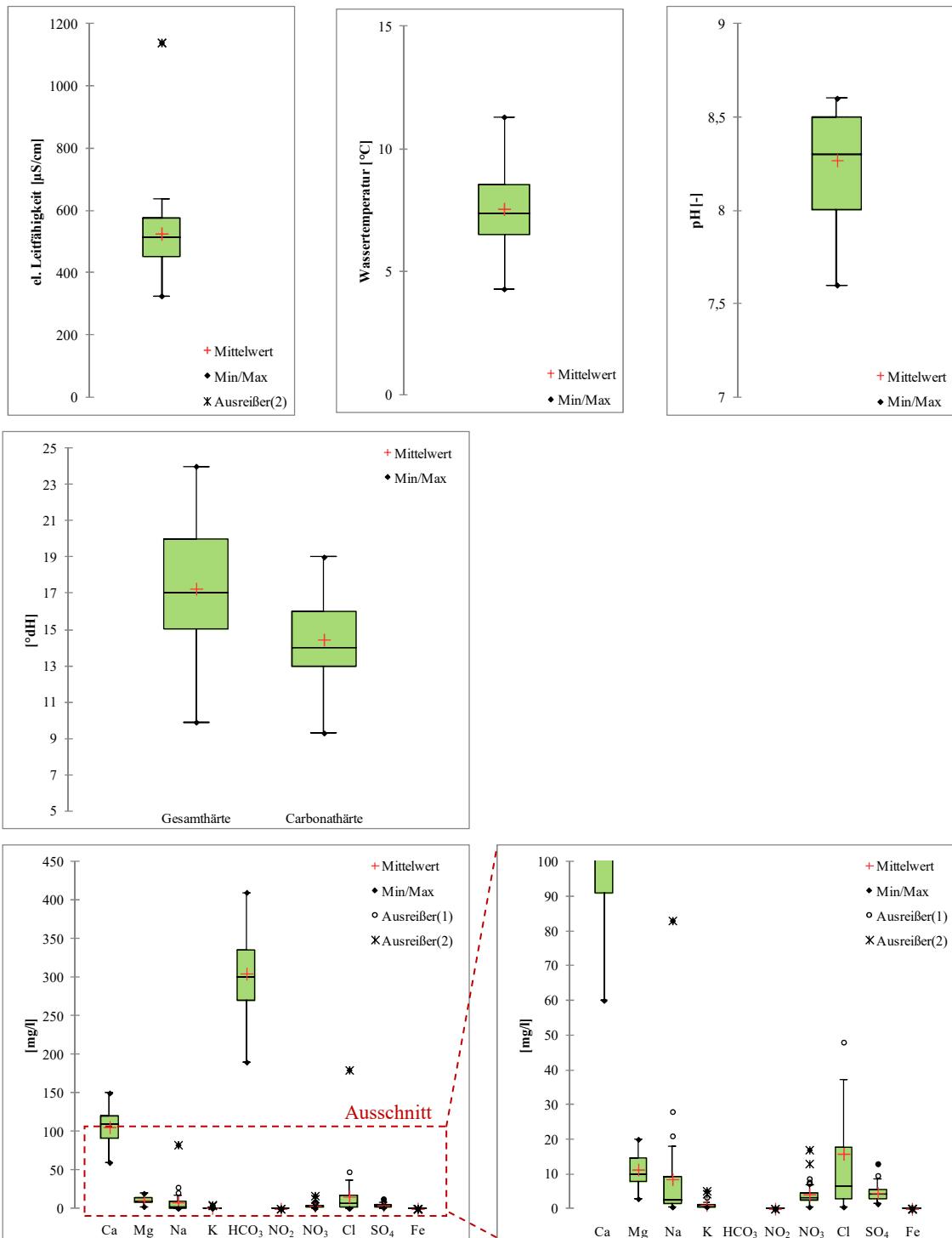


Abbildung 38: Boxplots für Probenahme Dezember 2018

### 4.3 Hauptkomponentenanalyse

Nach Durchführung einer ersten Hauptkomponentenanalyse (ohne Rotation) zeigt die Korrelationsmatrix (Tabelle 26) folgendes Ergebnis:

Tabelle 26: Korrelationsmatrix für alle Parameter (orange: Werte  $\leq \pm 0,3$ , blau: Werte  $\geq \pm 0,9$ )

| Variables        | LF     | T      | pH     | GH     | CH     | Ca     | Mg     | Na     | K      | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | Cl     | SO <sub>4</sub> | Fe     |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| LF               | 1      | 0,742  | -0,482 | 0,697  | 0,815  | 0,605  | 0,365  | 0,289  | 0,049  | 0,814            | -0,144          | 0,401           | 0,308  | 0,328           | -0,342 |
| T                | 0,742  | 1      | -0,506 | 0,630  | 0,769  | 0,509  | 0,410  | -0,101 | 0,025  | 0,785            | -0,290          | 0,576           | -0,075 | 0,191           | -0,304 |
| pH               | -0,482 | -0,506 | 1      | -0,583 | -0,484 | -0,493 | -0,345 | 0,022  | 0,219  | -0,594           | 0,012           | -0,249          | -0,029 | -0,327          | -0,024 |
| GH               | 0,697  | 0,630  | -0,583 | 1      | 0,793  | 0,936  | 0,346  | -0,038 | -0,190 | 0,806            | -0,229          | 0,300           | -0,036 | 0,338           | -0,083 |
| CH               | 0,815  | 0,769  | -0,484 | 0,793  | 1      | 0,625  | 0,611  | -0,140 | -0,049 | 0,980            | -0,392          | 0,418           | -0,134 | 0,157           | -0,237 |
| Ca               | 0,605  | 0,509  | -0,493 | 0,936  | 0,625  | 1      | 0,015  | 0,028  | -0,124 | 0,636            | -0,126          | 0,210           | 0,016  | 0,298           | -0,053 |
| Mg               | 0,365  | 0,410  | -0,345 | 0,346  | 0,611  | 0,015  | 1      | -0,199 | -0,268 | 0,632            | -0,379          | 0,283           | -0,171 | 0,081           | -0,036 |
| Na               | 0,289  | -0,101 | 0,022  | -0,038 | -0,140 | 0,028  | -0,199 | 1      | 0,239  | -0,127           | 0,358           | -0,025          | 0,991  | 0,412           | -0,213 |
| K                | 0,049  | 0,025  | 0,219  | -0,190 | -0,049 | -0,124 | -0,268 | 0,239  | 1      | -0,095           | 0,450           | 0,255           | 0,249  | 0,114           | -0,147 |
| HCO <sub>3</sub> | 0,814  | 0,785  | -0,594 | 0,806  | 0,980  | 0,636  | 0,632  | -0,127 | -0,095 | 1                | -0,347          | 0,442           | -0,115 | 0,217           | -0,216 |
| NO <sub>2</sub>  | -0,144 | -0,290 | 0,012  | -0,229 | -0,392 | -0,126 | -0,379 | 0,358  | 0,450  | -0,347           | 1               | -0,232          | 0,391  | 0,348           | 0,165  |
| NO <sub>3</sub>  | 0,401  | 0,576  | -0,249 | 0,300  | 0,418  | 0,210  | 0,283  | -0,025 | 0,255  | 0,442            | -0,232          | 1               | 0,019  | 0,309           | -0,171 |
| Cl               | 0,308  | -0,075 | -0,029 | -0,036 | -0,134 | 0,016  | -0,171 | 0,991  | 0,249  | -0,115           | 0,391           | 0,019           | 1      | 0,430           | -0,233 |
| SO <sub>4</sub>  | 0,328  | 0,191  | -0,327 | 0,338  | 0,157  | 0,298  | 0,081  | 0,412  | 0,114  | 0,217            | 0,348           | 0,309           | 0,430  | 1               | -0,056 |
| Fe               | -0,342 | -0,304 | -0,024 | -0,083 | -0,237 | -0,053 | -0,036 | -0,213 | -0,147 | -0,216           | 0,165           | -0,171          | -0,233 | -0,056          | 1      |

Values in bold are different from 0 with a significance level  $\alpha=0,95$

Es zeigt sich, dass die Parameter Kalium, Nitrit und Eisen kaum bis gar nicht mit anderen Parametern korrelieren, die Werte sind  $\leq \pm 0,3$ . D. h. diese Variablen tragen vermutlich wenig zum Gesamtverständnis des hydrogeologischen Systems bei. Dies könnte durch den jeweils hohen Anteil der Werte unter der Nachweisgrenze liegen. Die Werte von Gesamthärte und Calcium und Carbonathärte und Hydrogencarbonat zeigen eine hohe Multikollinearität, die Werte sind  $\geq \pm 0,9$ . Ebenso zeigen Natrium und Chlorid, vermutlich bedingt durch den Extremwert der Quelle Fuchsberger Markus (41), eine hohe Korrelation.

Entfernt man im vorliegenden Datensatz die Parameter Kalium, Nitrit und Eisen, ergibt sich folgende bereinigte Korrelationsmatrix (Tabelle 27):

Tabelle 27: Korrelationsmatrix bereinigt (ohne Eisen, Kalium und Nitrit)

| Variables        | LF     | T      | pH     | GH     | CH     | Ca     | Mg     | Na     | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Cl     | SO <sub>4</sub> |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|-----------------|--------|-----------------|
| LF               | 1      | 0,742  | -0,482 | 0,697  | 0,815  | 0,605  | 0,365  | 0,289  | 0,814            | 0,401           | 0,308  | 0,328           |
| T                | 0,742  | 1      | -0,506 | 0,630  | 0,769  | 0,509  | 0,410  | -0,101 | 0,785            | 0,576           | -0,075 | 0,191           |
| pH               | -0,482 | -0,506 | 1      | -0,583 | -0,484 | -0,493 | -0,345 | 0,022  | -0,594           | -0,249          | -0,029 | -0,327          |
| GH               | 0,697  | 0,630  | -0,583 | 1      | 0,793  | 0,936  | 0,346  | -0,038 | 0,806            | 0,300           | -0,036 | 0,338           |
| CH               | 0,815  | 0,769  | -0,484 | 0,793  | 1      | 0,625  | 0,611  | -0,140 | 0,980            | 0,418           | -0,134 | 0,157           |
| Ca               | 0,605  | 0,509  | -0,493 | 0,936  | 0,625  | 1      | 0,015  | 0,028  | 0,636            | 0,210           | 0,016  | 0,298           |
| Mg               | 0,365  | 0,410  | -0,345 | 0,346  | 0,611  | 0,015  | 1      | -0,199 | 0,632            | 0,283           | -0,171 | 0,081           |
| Na               | 0,289  | -0,101 | 0,022  | -0,038 | -0,140 | 0,028  | -0,199 | 1      | -0,127           | -0,025          | 0,991  | 0,412           |
| HCO <sub>3</sub> | 0,814  | 0,785  | -0,594 | 0,806  | 0,980  | 0,636  | 0,632  | -0,127 | 1                | 0,442           | -0,115 | 0,217           |
| NO <sub>3</sub>  | 0,401  | 0,576  | -0,249 | 0,300  | 0,418  | 0,210  | 0,283  | -0,025 | 0,442            | 1               | 0,019  | 0,309           |
| Cl               | 0,308  | -0,075 | -0,029 | -0,036 | -0,134 | 0,016  | -0,171 | 0,991  | -0,115           | 0,019           | 1      | 0,430           |
| SO <sub>4</sub>  | 0,328  | 0,191  | -0,327 | 0,338  | 0,157  | 0,298  | 0,081  | 0,412  | 0,217            | 0,309           | 0,430  | 1               |

Values in bold are different from 0 with a significance level  $\alpha=0,95$

Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium zeigt für den vorliegenden (bereinigten) Datensatz einen Wert von 0,645, ist also nach Kapitel 3.3.2 akzeptabel. Der Sphärizitätstest nach Bartlett ergibt einen p-Wert <0,0001, ist also signifikant, d. h. die Variablen sind signifikant korreliert.

| Sphärizitätstest nach Bartlett |         |
|--------------------------------|---------|
| Chi-square (Observed value)    | 557,481 |
| Chi-square (Critical value)    | 48,305  |
| DF                             | 66      |
| p-value (Two-tailed)           | <0,0001 |
| alpha                          | 0,95    |

#### Test Interpretation

*H0: There is no correlation significantly different from 0 between the variables.*

*Ha: At least one of the correlations between the variables is significantly different from 0.*

As the computed p-value is lower than the significance level  $\alpha=0,95$ , one should reject the null hypothesis  $H_0$ , and accept the alternative hypothesis  $H_a$ .

| Kaiser-Meyer-Olkin Maß |              |
|------------------------|--------------|
| LF                     | 0,896        |
| T                      | 0,862        |
| pH                     | 0,627        |
| GH                     | 0,620        |
| CH                     | 0,734        |
| Ca                     | 0,538        |
| Mg                     | 0,424        |
| Na                     | 0,466        |
| HCO3                   | 0,727        |
| NO3                    | 0,636        |
| Cl                     | 0,461        |
| SO4                    | 0,599        |
| <b>KMO</b>             | <b>0,648</b> |

Abbildung 39: Sphärizitätstest nach Bartlett und KMO-Kriterium

Basierend auf der Komponentenladung bzw. der Komponentenmatrix (nach Varimax-Rotation) kann die Korrelation zwischen der ursprünglichen Variablen und der extrahierten Komponente untersucht werden. Die quadrierte Komponentenladung zeigt dabei den Prozentsatz, mit welchem die ursprüngliche Variable durch die Komponente erklärt wird. Je höher der quadrierte Cosinuswert der Variable, desto stärker die Bindung an die jeweilige Komponente.

Die Summe der quadrierten Komponentenladungen pro Variable ergibt 100 %. Man bezeichnet diese auch als Kommunalität.

$$LF = \text{Faktorladung } F1^2 + \text{Faktorladung } F2^2 + \dots + \text{Faktorladung } F12^2 = 100 \%$$

Die Summe aller Komponentenladungen (Tabelle 28) pro Komponente, über die Variable hinweg, entspricht dem Eigenwert pro Komponente.

$$F1 = \text{Faktorladung } LF^2 + \text{Faktorladung } T^2 + \dots + \text{Faktorladung } SO_4^2 = \text{Eigenwert}$$

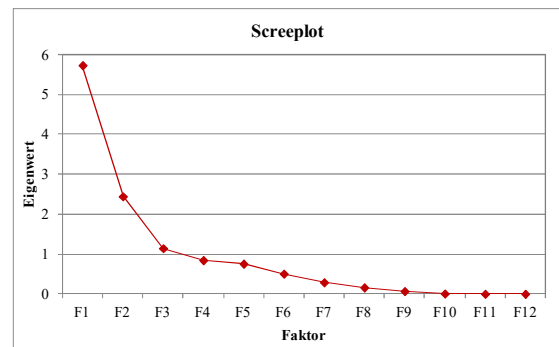
Tabelle 28: Komponentenmatrix (Faktorladungen)

| Faktoladung | F1     | F2     | F3     | F4     | F5     | F6     | F7     | F8     | F9     | F10    | F11    | F12    |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| LF          | 0,862  | 0,278  | -0,054 | -0,212 | 0,212  | -0,043 | 0,156  | -0,155 | 0,190  | -0,007 | -0,003 | 0,002  |
| T           | 0,841  | -0,102 | -0,159 | 0,098  | 0,252  | -0,208 | 0,264  | 0,264  | -0,030 | 0,000  | -0,001 | -0,002 |
| pH          | -0,673 | -0,040 | -0,118 | -0,093 | 0,498  | 0,518  | 0,052  | 0,058  | 0,003  | -0,009 | 0,006  | -0,001 |
| GH          | 0,888  | 0,006  | 0,382  | 0,003  | -0,041 | 0,158  | -0,153 | 0,109  | 0,040  | 0,031  | 0,023  | 0,036  |
| CH          | 0,929  | -0,181 | -0,059 | -0,204 | 0,102  | 0,122  | 0,033  | -0,123 | -0,115 | 0,069  | -0,019 | -0,010 |
| Ca          | 0,746  | 0,101  | 0,615  | 0,094  | 0,095  | 0,098  | -0,146 | 0,061  | 0,014  | -0,030 | -0,020 | -0,033 |
| Mg          | 0,542  | -0,300 | -0,557 | -0,314 | -0,363 | 0,180  | -0,147 | 0,133  | 0,063  | -0,010 | -0,009 | -0,011 |
| Na          | -0,017 | 0,963  | -0,090 | -0,210 | 0,072  | -0,030 | -0,081 | 0,045  | -0,059 | -0,020 | -0,040 | 0,024  |
| HCO3        | 0,955  | -0,155 | -0,067 | -0,155 | 0,002  | 0,046  | 0,021  | -0,113 | -0,120 | -0,069 | 0,026  | 0,008  |
| NO3         | 0,528  | 0,023  | -0,483 | 0,578  | 0,291  | -0,046 | -0,252 | -0,059 | 0,012  | 0,000  | -0,002 | 0,002  |
| Cl          | 0,005  | 0,964  | -0,130 | -0,181 | 0,046  | -0,077 | -0,087 | 0,038  | -0,018 | 0,022  | 0,042  | -0,024 |
| SO4         | 0,368  | 0,586  | -0,060 | 0,450  | -0,399 | 0,321  | 0,229  | -0,022 | -0,006 | 0,001  | -0,002 | -0,002 |

Daraus ergeben sich folgende Eigenwerte:

Tabelle 29: Eigenwerte inkl. Screeplot

| Faktor | Eigenwert | Variability (%) | Cumulative % |
|--------|-----------|-----------------|--------------|
| F1     | 5,731     | 47,758          | 47,758       |
| F2     | 2,447     | 20,394          | 68,151       |
| F3     | 1,147     | 9,559           | 77,711       |
| F4     | 0,849     | 7,077           | 84,788       |
| F5     | 0,760     | 6,333           | 91,121       |
| F6     | 0,509     | 4,245           | 95,365       |
| F7     | 0,294     | 2,452           | 97,817       |
| F8     | 0,166     | 1,382           | 99,199       |
| F9     | 0,074     | 0,620           | 99,819       |
| F10    | 0,012     | 0,104           | 99,922       |
| F11    | 0,005     | 0,046           | 99,968       |
| F12    | 0,004     | 0,032           | 100,000      |



Gemäß Screeplot (signifikanter Knick in Kurve), Kaiser-Guttman-Kriterium (Eigenwert  $> 1$ , Tabelle 29) und der 10 %-Empfehlung (es sollten wenigstens 10 % Varianz erklärt werden können) lassen sich aus dem bereinigten Datensatz drei Faktoren extrahieren. Die 1. Komponente erklärt 47,76 % der Gesamtvarianz, die 2. Komponente 20,39 %, die 3. Komponente 9,56 %. Alle drei Komponenten gemeinsam erklären 77,71 % der Varianz im Datensatz.

Basierend auf den drei extrahierten Faktoren werden die Faktorladungen interpretiert. Dabei hilft die Faktor-Rotation. Ziel dabei ist es, durch die Rotation eine vereinfachte Struktur zu erhalten und die Interpretation zu vereinfachen. Eine vereinfachte Struktur weist in der Faktorladungsmatrix nach PEDHAZUR & SCHMELKIN (2013) folgende Kriterien auf:

- Jede Variable lädt auf nur einem Faktor hoch.
- Jeder Faktor hat hohe Ladungen nur für einen Teil der Variablen.

Im vorliegenden Fall wurde eine Varimax-Rotation angewendet. Dadurch ergeben sich folgende Faktorladungen und quadrierte Cosinuswerte (Kommunalität):

Tabelle 30: Faktorladungen und quadrierte Cosinuswerte der Variablen (quadr. Komponentenladung bzw. Kommunalität) nach Varimax-Rotation

| Faktorladung nach Varimax-Rotation | D1     | D2     | D3     |
|------------------------------------|--------|--------|--------|
| LF                                 | 0,668  | 0,358  | 0,499  |
| T                                  | 0,581  | -0,001 | 0,637  |
| pH                                 | -0,613 | -0,080 | -0,294 |
| GH                                 | 0,941  | 0,026  | 0,217  |
| CH                                 | 0,710  | -0,087 | 0,622  |
| Ca                                 | 0,967  | 0,072  | -0,067 |
| Mg                                 | 0,100  | -0,162 | 0,811  |
| Na                                 | -0,048 | 0,960  | -0,108 |
| HCO3                               | 0,727  | -0,058 | 0,640  |
| NO3                                | 0,140  | 0,143  | 0,688  |
| Cl                                 | -0,054 | 0,970  | -0,063 |
| SO4                                | 0,272  | 0,619  | 0,160  |

| Quadr.Cosinuswerte nach Varimax-Rotation | D1           | D2           | D3           | Gesamt |
|------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| LF                                       | <b>0,446</b> | 0,128        | 0,249        | 0,824  |
| T                                        | 0,338        | 0,000        | <b>0,406</b> | 0,744  |
| pH                                       | <b>0,375</b> | 0,006        | 0,086        | 0,468  |
| GH                                       | <b>0,886</b> | 0,001        | 0,047        | 0,934  |
| CH                                       | <b>0,503</b> | 0,008        | 0,387        | 0,899  |
| Ca                                       | <b>0,935</b> | 0,005        | 0,005        | 0,945  |
| Mg                                       | 0,010        | 0,026        | <b>0,658</b> | 0,694  |
| Na                                       | 0,002        | <b>0,922</b> | 0,012        | 0,935  |
| HCO3                                     | <b>0,528</b> | 0,003        | 0,409        | 0,941  |
| NO3                                      | 0,020        | 0,020        | <b>0,473</b> | 0,513  |
| Cl                                       | 0,003        | <b>0,940</b> | 0,004        | 0,947  |
| SO4                                      | 0,074        | <b>0,383</b> | 0,026        | 0,483  |

Die fett gedruckten Werte entsprechen dem Faktor, für den der quadrierte Kosinus am größten ist.

In diesem Datensatz bildet die 1. Komponente el. Leitfähigkeit, pH, Gesamthärte, Carbonathärte, Calcium und Hydrogencarbonat, die 2. Komponente Natrium, Chlorid und untergeordnet Sulfat und die 3. Komponente Temperatur, Magnesium und Nitrat ab. In

Summe kann für alle Variablen eine gute Erklärung ( $> 75\%$ ) erreicht werden, mit Ausnahme von Nitrat ( $\sim 51\%$ ), pH und Sulfat ( $< 50\%$ ).

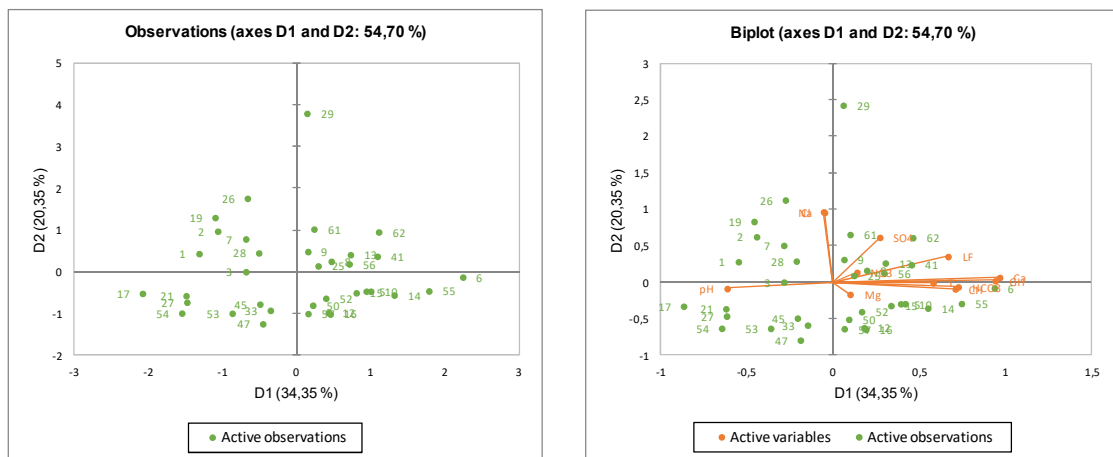
Daraus ergeben sich folgende Variabilitäten bzw. kummulierte Anteile der Varianz:

*Tabelle 31: Variabilitäten und kumulierter Anteil der Varianzen (ursprüngliche Eigenwerte, extrahierte Komponenten und Komponenten nach Varimax-Rotation)*

|    | Extrahierte Komponenten |                  | Extrahierte Komponenten nach Varimax-Rotation |                  |
|----|-------------------------|------------------|-----------------------------------------------|------------------|
|    | Variabilität [%]        | Kumm. Anteil [%] | Variabilität [%]                              | Kumm. Anteil [%] |
| D1 | 47,758                  | 47,758           | 34,348                                        | 34,348           |
| D2 | 20,394                  | 68,151           | 20,354                                        | 54,703           |
| D3 | 9,559                   | 77,711           | 23,008                                        | 77,711           |

Basierend auf den berechneten Faktorwerten (Scores) nach der Varimax-Rotation der Komponenten können die Beobachtungen (Analysen an Messorten) als 2-D-Graphik geplottet werden, um Trends zu identifizieren (Abbildung 40). In Form von Biplots können gleichzeitig die Variablen pro Komponente (Asche) dargestellt werden (Abbildung 40).

Die quadrierten Cosinuswerte (Tabelle 32) der Komponenten nach der Varimax-Rotation pro Beobachtungspunkt zeigen, welcher Messort wie stark auf welcher Komponente lädt.



*Abbildung 40: 2D-Plot (links) und Biplot (rechts) der Faktorwerte der Beobachtungen nach Varimax-Rotation*

Tabelle 32: Quadrierte Cosinuswerte der Beobachtungen nach Varimax-Rotation

| Quadr. Cosinuswerte der Beobachtungen nach Varimax-Rotation | D1           | D2           | D3           |
|-------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 6                                                           | <b>0,640</b> | 0,002        | 0,107        |
| 9                                                           | 0,010        | 0,099        | <b>0,342</b> |
| 7                                                           | 0,222        | <b>0,305</b> | 0,011        |
| 19                                                          | 0,200        | <b>0,287</b> | 0,040        |
| 17                                                          | <b>0,639</b> | 0,038        | 0,113        |
| 29                                                          | 0,001        | <b>0,832</b> | 0,000        |
| 1                                                           | <b>0,741</b> | 0,086        | 0,029        |
| 45                                                          | 0,109        | <b>0,261</b> | 0,055        |
| 27                                                          | <b>0,629</b> | 0,148        | 0,007        |
| 33                                                          | 0,024        | <b>0,162</b> | 0,108        |
| 53                                                          | 0,272        | <b>0,351</b> | 0,005        |
| 54                                                          | <b>0,453</b> | 0,181        | 0,159        |
| 2                                                           | <b>0,401</b> | 0,346        | 0,000        |
| 5                                                           | <b>0,335</b> | 0,077        | 0,248        |
| 13                                                          | 0,129        | 0,043        | <b>0,144</b> |
| 8                                                           | <b>0,150</b> | 0,047        | 0,028        |
| 15                                                          | 0,136        | 0,051        | <b>0,318</b> |
| 14                                                          | <b>0,500</b> | 0,086        | 0,231        |

| Quadr. Cosinuswerte der Beobachtungen nach Varimax-Rotation | D1           | D2           | D3           |
|-------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 61                                                          | 0,013        | <b>0,239</b> | 0,135        |
| 62                                                          | <b>0,265</b> | 0,200        | 0,163        |
| 21                                                          | <b>0,579</b> | 0,082        | 0,002        |
| 3                                                           | 0,024        | 0,000        | <b>0,187</b> |
| 50                                                          | 0,008        | 0,095        | <b>0,284</b> |
| 52                                                          | 0,024        | <b>0,058</b> | 0,007        |
| 55                                                          | <b>0,464</b> | 0,029        | 0,103        |
| 41                                                          | <b>0,129</b> | 0,016        | 0,119        |
| 16                                                          | 0,062        | <b>0,297</b> | 0,157        |
| 47                                                          | 0,043        | <b>0,323</b> | 0,058        |
| 25                                                          | 0,009        | 0,002        | <b>0,686</b> |
| 12                                                          | 0,043        | 0,213        | <b>0,538</b> |
| 26                                                          | 0,035        | <b>0,252</b> | 0,158        |
| 56                                                          | 0,232        | 0,018        | <b>0,252</b> |
| 57                                                          | 0,007        | <b>0,255</b> | 0,000        |
| 10                                                          | 0,232        | 0,047        | <b>0,308</b> |
| 28                                                          | 0,026        | 0,022        | <b>0,492</b> |

Fett gedruckte Werte für jede Beobachtung entsprechen dem Faktor, für den der quadr. Cosinus am größten ist.

#### 4.4 Variographie und Kriging

Wie in Kapitel 3.4.2 und 3.4.3 erläutert, ist das Ziel der Variographie und des Krigings, aus punktuell erfassten Daten flächendeckend möglichst genaue Rückschlüsse für das gesamte Untersuchungsgebiet zu ziehen. Beim Kriging handelt es sich um eine Kombination aus mathematischen und stochastischen Verfahren. Grundlage für das Verfahren bildet die Theorie der regionalisierten Variablen. Die Schätzung der Werte beruht auf Wahrscheinlichkeiten. Im Kriging-Verfahren wird neben der Distanz auch der räumliche Zusammenhang, d. h. das (Un-) Ähnlichkeitsmaß zwischen den Messwerten, einbezogen. Neben den eigentlichen Interpolationsflächen liefert Kriging zusätzlich noch die Fehlerwerte in Form von Flächen. Bei fehlendem oder vernachlässigbar kleinem Nugget-Effekt ist Kriging eine exakte Interpolationsmethode.

Basierend auf hydrochemischen und hydrogeologischen Prozessen, stehen einige hydrochemische Parameter in direkter Verbindung miteinander (Korrelation).

Die drei Komponenten, die in der vorhergehenden Hauptkomponentenanalyse ermittelt wurden, lassen sich in Form ihrer Faktorwerte (Scores) als Grundlage für die Variographie und das Kriging heranziehen (Tabelle 33). Dabei werden die Faktorwerte als neue Variablen der Messorte betrachtet. Ziel ist hierbei, die wesentlichen und die korrelierenden Parameter vereinfacht in einem Schritt darzustellen mit möglichst geringem Informationsverlust.

Es wurde mit einem Basis-Kriging begonnen, in welchem die Standardeinstellungen im Geostatistical Analyst beibehalten wurden (Tabelle 34).

Daraus ergaben sich folgende Cross Validation-Werte und eine erste Prediction-Map (Tabelle 35 und Abbildung 41, Abbildung 42, Abbildung 43) für das Basis-Kriging.

*Tabelle 33: Faktorwerte nach Varimax-Rotation pro Messort*

| Faktorladungen nach Varimax-Rotation | D1     | D2     | D3     | Faktorladungen nach Varimax-Rotation | D1     | D2     | D3     |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| 6                                    | 2,243  | -0,113 | 0,916  | 61                                   | 0,239  | 1,033  | -0,775 |
| 9                                    | 0,156  | 0,495  | -0,919 | 62                                   | 1,110  | 0,964  | -0,869 |
| 7                                    | -0,681 | 0,798  | 0,154  | 21                                   | -1,485 | -0,560 | 0,085  |
| 19                                   | -1,093 | 1,310  | -0,488 | 3                                    | -0,678 | 0,013  | 1,878  |
| 17                                   | -2,071 | -0,505 | -0,872 | 50                                   | 0,222  | -0,786 | 1,363  |
| 29                                   | 0,144  | 3,801  | -0,049 | 52                                   | 0,398  | -0,621 | 0,211  |
| 1                                    | -1,310 | 0,447  | -0,260 | 55                                   | 1,786  | -0,447 | -0,842 |
| 45                                   | -0,491 | -0,761 | -0,351 | 41                                   | 1,090  | 0,384  | 1,049  |
| 27                                   | -1,473 | -0,715 | -0,159 | 16                                   | 0,457  | -1,000 | 0,727  |
| 33                                   | -0,350 | -0,909 | -0,745 | 47                                   | -0,451 | -1,232 | 0,523  |
| 53                                   | -0,863 | -0,980 | -0,117 | 25                                   | 0,294  | 0,154  | 2,573  |
| 54                                   | -1,543 | -0,976 | 0,915  | 12                                   | 0,433  | -0,964 | -1,532 |
| 2                                    | -1,058 | 0,984  | -0,021 | 26                                   | -0,658 | 1,770  | 1,400  |
| 5                                    | 0,942  | -0,453 | -0,811 | 56                                   | 0,712  | 0,200  | 0,742  |
| 13                                   | 0,729  | 0,422  | -0,771 | 57                                   | 0,158  | -0,988 | 0,012  |
| 8                                    | 0,472  | 0,263  | 0,205  | 10                                   | 1,003  | -0,452 | 1,156  |
| 15                                   | 0,806  | -0,492 | -1,233 | 28                                   | -0,506 | 0,463  | -2,200 |
| 14                                   | 1,318  | -0,546 | -0,895 |                                      |        |        |        |

*Tabelle 34: Standardeinstellungen für Basis-Kriging (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)*

| Parameter                  | Einstellung       |         |         |
|----------------------------|-------------------|---------|---------|
|                            | D1                | D2      | D3      |
| Model Type                 | Stable            | Stable  | Stable  |
| Nugget                     | 0,24              | 0,36    | 0,78    |
| Major Range                | 948,18            | 1565,82 | 1089,31 |
| Partial Sill               | 1,06              | 1,03    | 0,21    |
| <b>Search Neighborhood</b> |                   |         |         |
| Max. Neighbors             | 5                 |         |         |
| Min. Neighbors             | 2                 |         |         |
| Sector Type                | 4 with 45° offset |         |         |

*Tabelle 35: Cross Validation für Basis-Kriging*

| Parameter                            | Ergebnis |      |       |
|--------------------------------------|----------|------|-------|
|                                      | D1       | D2   | D3    |
| Mean                                 | 0,03     | 0,01 | -0,02 |
| Mean Standardized (MS)               | 0,01     | 0,00 | -0,01 |
| Root-Mean-Square (RMS)               | 1,09     | 1,13 | 1,03  |
| Average Standard Error (ASE)         | 0,84     | 0,78 | 0,99  |
| Root-Mean-Square Standardized (RMSS) | 1,34     | 1,31 | 1,04  |

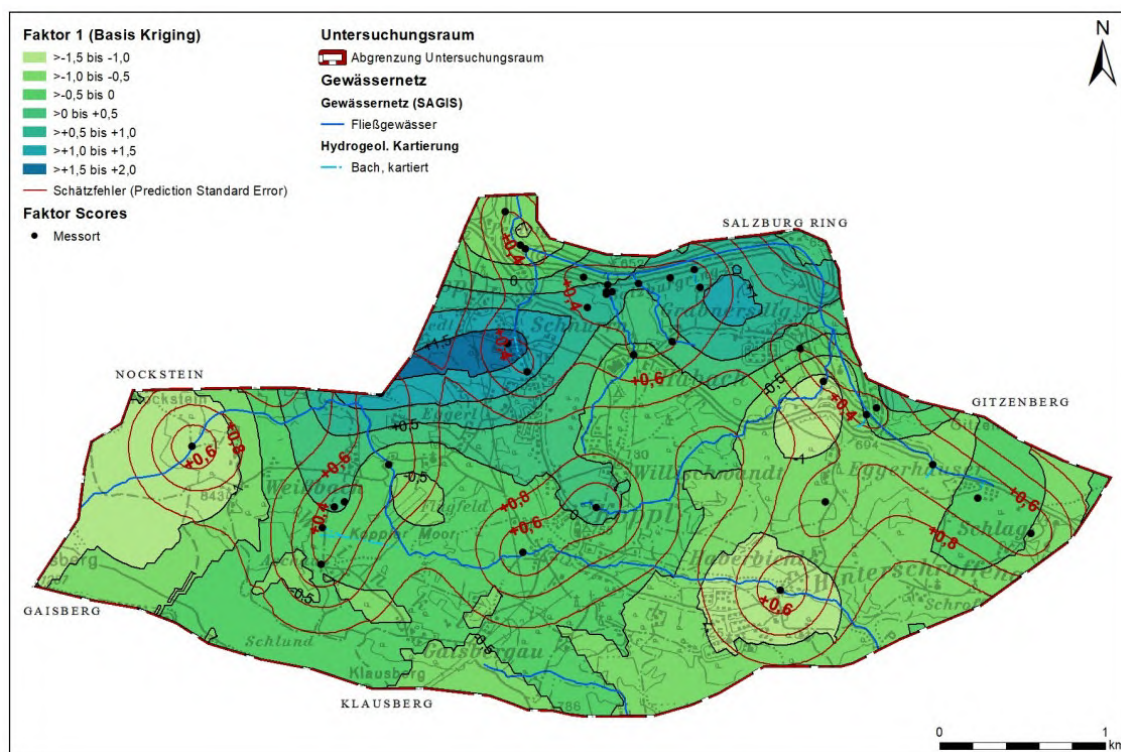


Abbildung 41: Prediction Map mit Standardeinstellungen (Tabelle 34) für Faktor D1

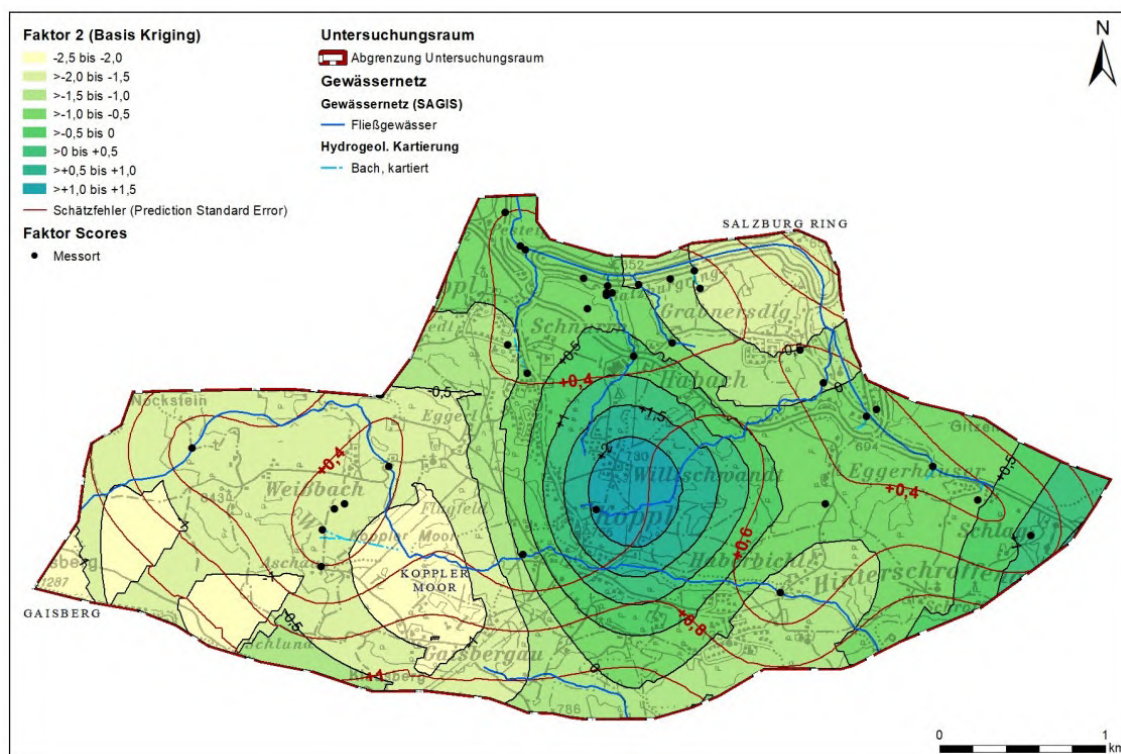


Abbildung 42: Prediction Map mit Standardeinstellungen (Tabelle 34) für Faktor D2

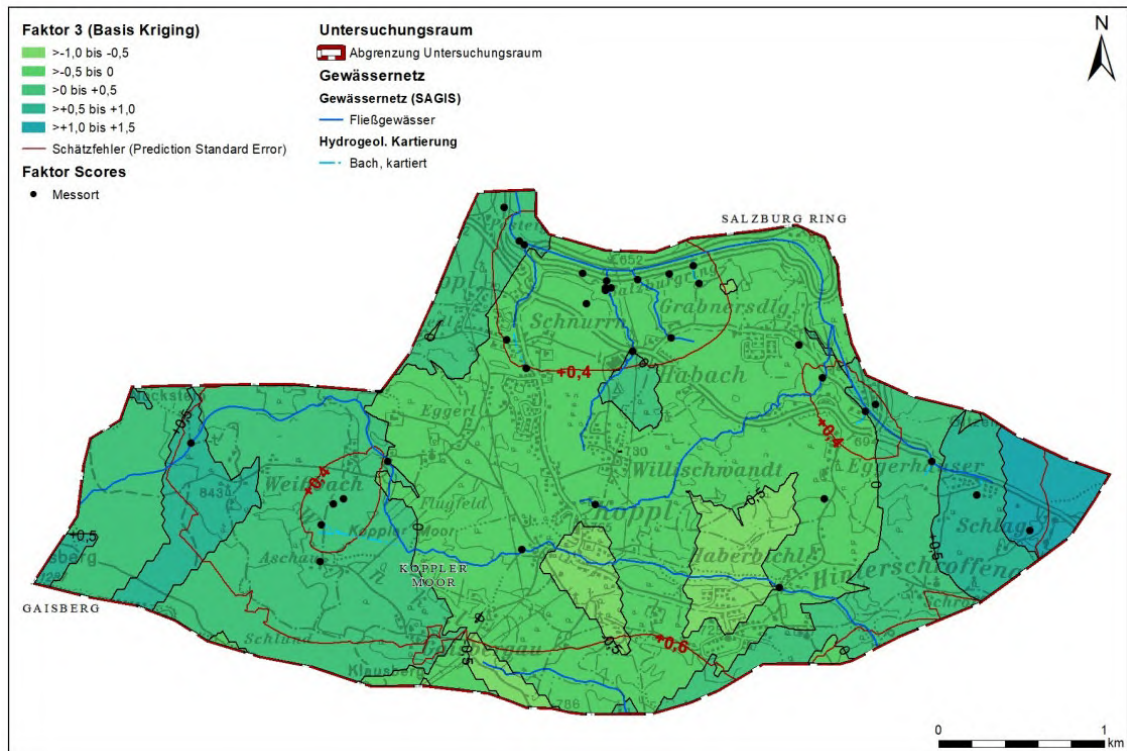


Abbildung 43: Prediction Map mit Standardeinstellungen (Tabelle 34) für Faktor D3

Alle drei Semivariogramm-Modelle weisen einen Mean-Wert von etwa 0 auf. Jedoch liegen der RMS und ASE bei den Faktoren D1 und D2 nicht nah beieinander und sind auch relativ hoch. Der RMSS ist bei diesen Faktoren deutlich über 1. Der RMS, ASE und RMSS beim Faktor 3 liegen jedoch im Bereich der Toleranz. Die Prediction-Map zeigt für den Faktor D1 Erhöhungen im nördlichen Untersuchungsbereich, v. a. im nordwestlichen Bereich, mit Werten von bis zu +2,0. Im Bereich des Rettenbach-Weißenbachs (westliches Untersuchungsgebiet) bzw. am flussabwärtsgelegensten Messort des Rettenbachs (südöstliches Gebiet) sowie am Nesselgraben (vor Einmündung in Plainfelderbach) zeigen sich leichte Absenkungen bis zu -1,0. Beim Faktor 2 ergibt sich durch die erhöhten Natrium-Chlorid-Werte beim Nesselgraben (Messort 4 (29), bei Gärtnerei) sowie bei Waldbach (61, 62) und Kanal (19) eine deutliche Erhöhung im zentralen Bereich des Untersuchungsgebiets. Beim Faktor 3 zeigen sich erhöhte Werte im Südosten und Südwesten, Richtung zentralen Bereich des Untersuchungsgebiets nehmen die Werte ab.

Die Schätzfehler sind, wie erwartet, im Bereich der Messorte eher gering. In Bereichen mit weniger Stützpunkten, v. a. im südlichen Untersuchungsgebiet, nehmen die Schätzfehler deutlich zu.

Anschließend wurde im Zuge der Datenanalyse das Vorhandensein eines Trends überprüft. Dieser könnte, bei Vorhandensein, mathematisch beschrieben werden. Wie in Abbildung 44 zu erkennen ist, weisen die Daten einen Trend auf, symbolisiert durch die

Parabeln (grün und blau) in den Diagrammen. Diese entsprechen Polynomen 2. Ordnung.

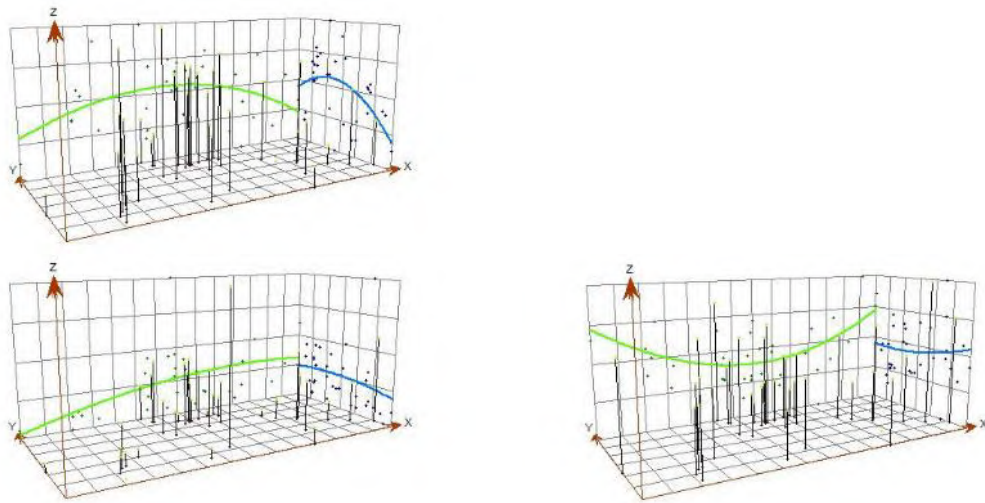


Abbildung 44: Trendanalysen für Faktor D1 (oben links), D2 (unten links) und D3 (unten rechts)

Mithilfe des Werkzeugs „Semivariogramm-Covarianz-Cloud“ (Abbildung 45) kann der räumliche Zusammenhang zwischen zwei gemessenen Werten an verschiedenen Orten als mittlere quadratische Differenz betrachtet werden. Diese wird auf der y-Achse in Abhängigkeit der Entfernung (x-Achse) geplottet. Dabei repräsentiert jeder Punkt im Semivariogramm den Zusammenhang zwischen zwei Messpunkten. Messpunkte mit geringem Abstand sollten sich ähnlicher sein (höher korreliert) als weiter entfernt voneinander liegende, entsprechend weisen sie geringere Semivariogrammwerte auf. Ab einem gewissen Abstand („Range“) gibt es keine Korrelation mehr zwischen zwei Messpunkten, der dazugehörige Wert heisst „Sill“. Hohe Semivariogrammwerte bei kurzem Abstand sollten auf Plausibilität geprüft werden. Ausreißer sind ggf. zu entfernen. Im vorliegenden Fall zeigte sich, dass die hohen Natrium-Chlorid-Werte bei der Quelle Fuchsberger Markus (41) das Semivariogramm stark beeinflussen (siehe Abbildung 46). Diese wurden nachträglich aus den Berechnungen entfernt und hier mit einem Mittelwert weitergerechnet.

In diesem Werkzeug kann auch die Richtungsabhängigkeit der Variablen (Anisotropie) geprüft werden, indem man die „search direction“ aktiviert. Bei Änderung des Suchwinkels und Suchradius ergeben sich richtungsabhängig höhere bzw. niedrigere Semivariogrammwerte. Im vorliegenden Fall zeichnet sich bei den Faktoren 1 und 3 eine leichte Änderung in NNE-SSW bzw. SSE-NNW (05/175 und 100/280°) ab.

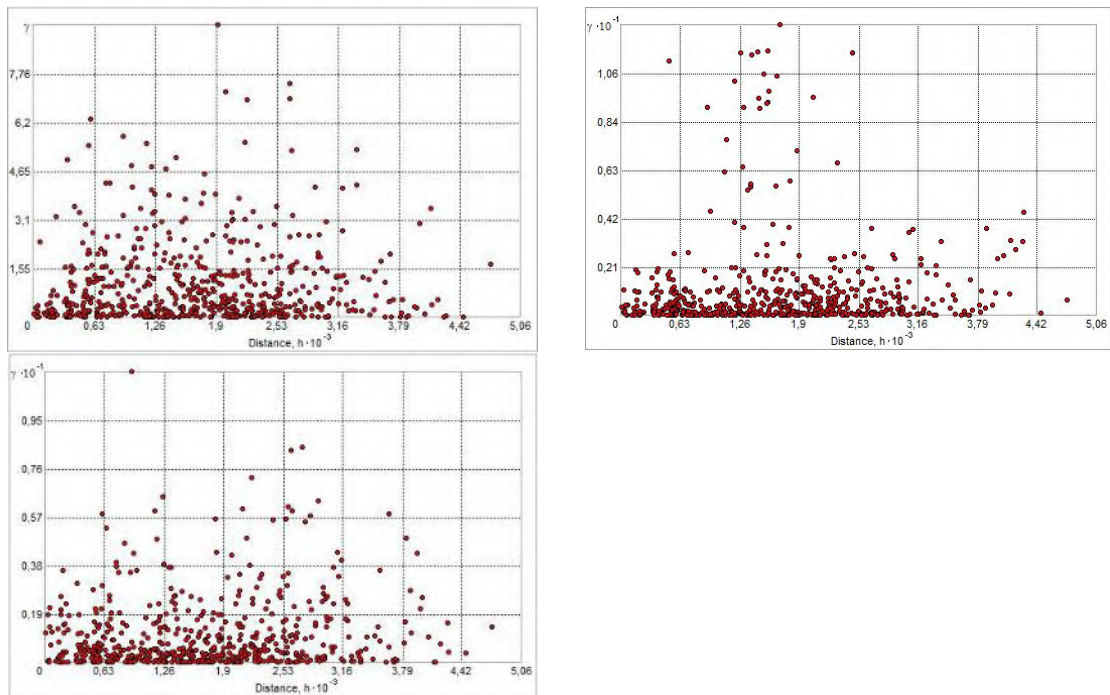


Abbildung 45: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für Faktor D1 (oben links), D2 (oben rechts) und D3 (unten links)

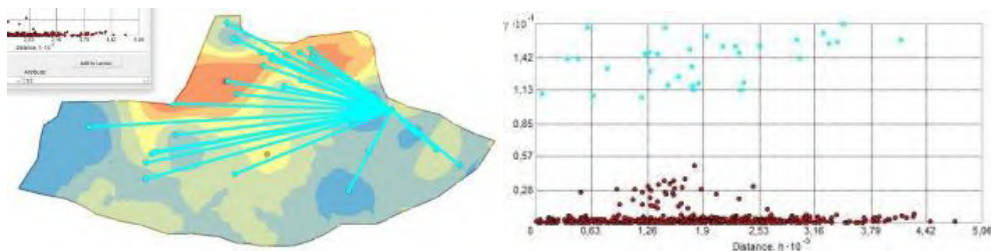


Abbildung 46: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für Faktor D2

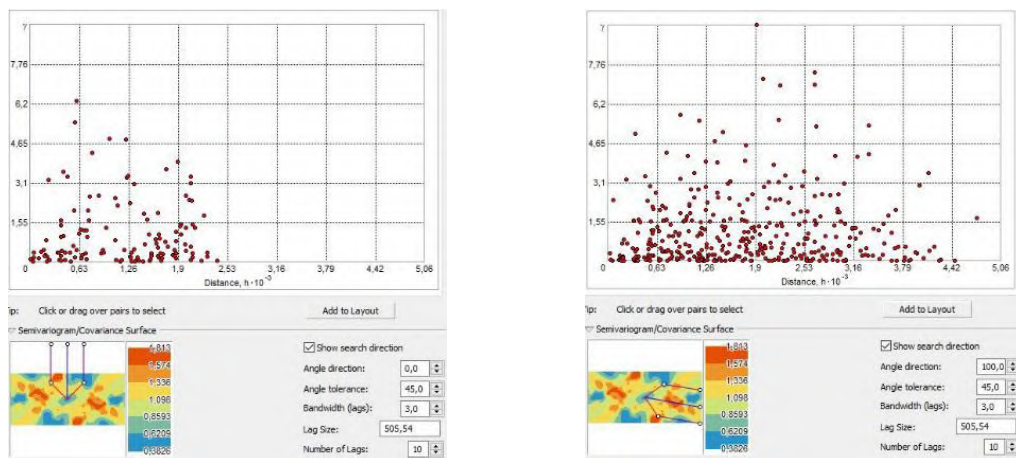


Abbildung 47: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für Faktor D1 mit Richtungsabhängigkeiten

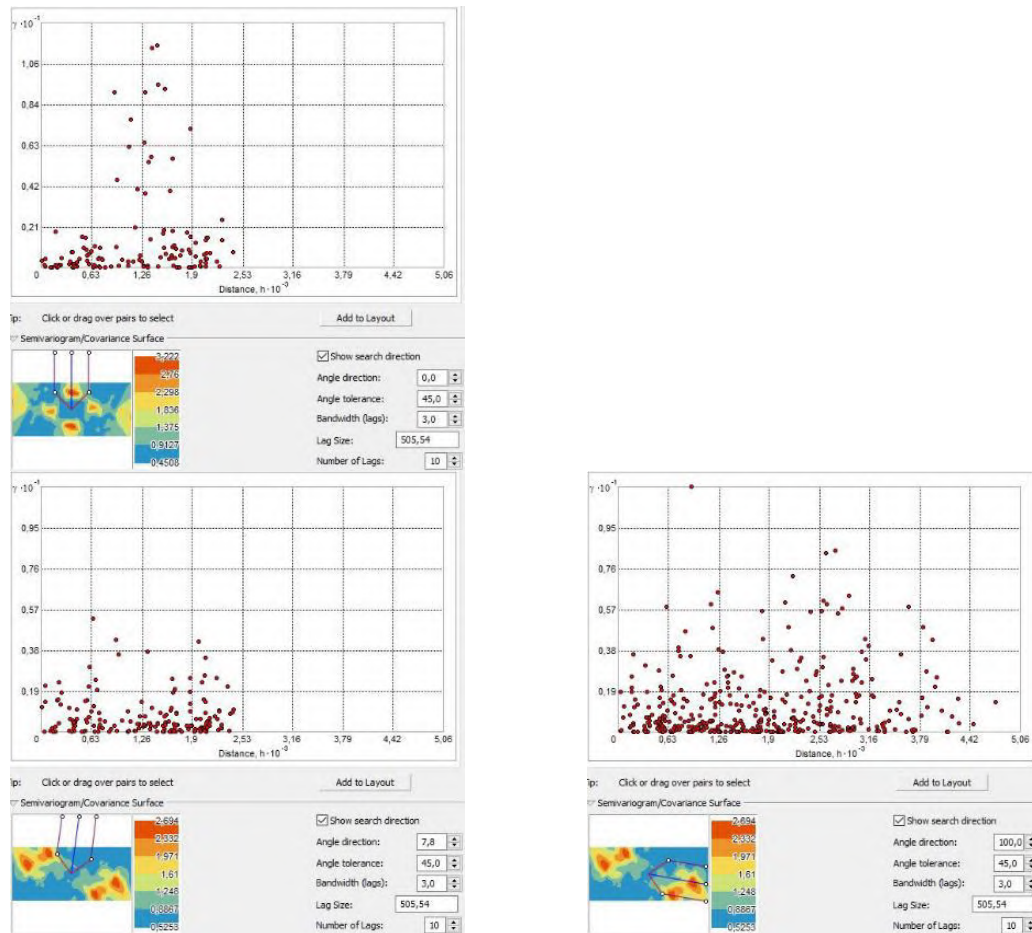


Abbildung 48: Semivariogramm-Covarianz-Cloud für D2 (oben) und D3 (unten) mit Richtungsabhängigkeiten

Nach der Trendanalyse und Untersuchung der Richtungsabhängigkeit (Anisotropie) wurde für alle 3 Faktoren das Ordinary Kriging durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden die Modelltypen, Nugget, Range, Sill und Anzahl der verwendeten Stützpunkte variiert.

Folgende, gängige Modelltypen wurden getestet:

- Circular
- Spherical
- Exponential
- Gaussian
- Stable
- Hole effect

Bei der Anzahl der Stützpunkte wurden die Modelle jeweils mit der Standardanzahl (max. 5, min. 2) erstellt. In einem 2. Schritt wurde die Anzahl der Stützpunkte verdoppelt auf max. 10 und min. 4. Somit ergeben sich pro Faktor 12 Kriging-Simulationen einschließlich Schätzfehlern.

Mit den Variogrammmodellen „Spherical“ und „Hole effect“ (Abbildung 49, Tabelle 36) konnten für den Faktor 1 die besten Ergebnisse erzielt werden (Tabelle 37). Es zeigen sich lokale Erhöhungen im nördlichen und östlichen Untersuchungsraum. Im Unterschied zum „Hole effect“-Modell zeigte das „Spherical“-Modell kantigere Übergänge zwischen den einzelnen Klassen (Abbildung 50 bis Abbildung 53). Die Schätzfehler liegen bei beiden Modellen bei bis zu +1.

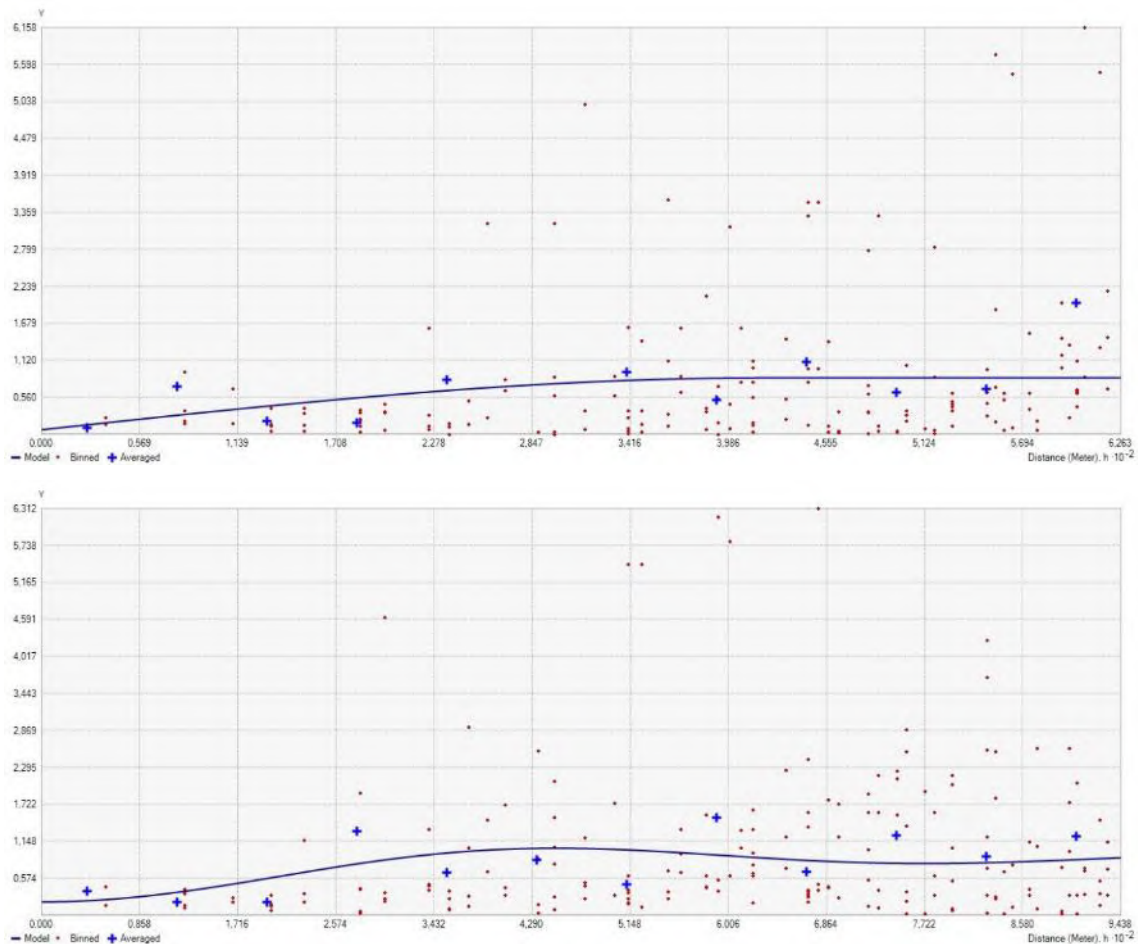


Abbildung 49: Angepasstes Variogrammmodell für Faktor D1 – Spherical (oben) und Hole effect (unten)

Tabelle 36: Ergebnis Faktor D1 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)

| Model Type     | Nugget | Major Range | Partial Sill | Neighbors     |              | Sector Type       |
|----------------|--------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|
|                |        |             |              | Max.          | Min.         |                   |
| Stable (Basis) | 0,24   | 948,18      | 1,06         | A: 5<br>B: 10 | A: 2<br>B: 4 | 4 with 45° offset |
| Circular       | 0,08   | 406,29      | 0,79         |               |              |                   |
| Spherical      | 0,07   | 417,55      | 0,78         |               |              |                   |
| Exponential    | 0,00   | 292,65      | 0,65         |               |              |                   |
| Gaussian       | 0,18   | 324,69      | 0,54         |               |              |                   |
| Stable         | 0,00   | 291,06      | 0,66         |               |              |                   |
| Hole effect    | 0,21   | 629,23      | 0,68         |               |              |                   |

Tabelle 37: Cross Validation Faktor D1 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)

| Stütz-<br>punkte | Model Type     | Mean  | Root-Mean-<br>Square<br>(RMS) | Average<br>Standard Error<br>(ASE) | Root-Mean-Square<br>Standardized<br>(RMSS) |
|------------------|----------------|-------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| 5/2              | Stable (Basis) | 0,03  | 1,09                          | 0,84                               | 1,34                                       |
|                  | Circular       | 0,01  | 0,97                          | 0,85                               | 1,14                                       |
|                  | Spherical      | 0,01  | 0,97                          | 0,86                               | 1,14                                       |
|                  | Exponential    | -0,01 | 0,97                          | 0,80                               | 1,20                                       |
|                  | Gaussian       | 0,02  | 0,97                          | 0,80                               | 1,21                                       |
|                  | Stable         | -0,01 | 0,97                          | 0,80                               | 1,20                                       |
|                  | Hole effect    | 0,03  | 0,91                          | 0,86                               | 1,09                                       |
| 10/4             | Circular       | 0,02  | 0,94                          | 0,83                               | 1,13                                       |
|                  | Spherical      | 0,02  | 0,94                          | 0,84                               | 1,13                                       |
|                  | Exponential    | 0,02  | 0,94                          | 0,78                               | 1,19                                       |
|                  | Gaussian       | 0,03  | 0,94                          | 0,78                               | 1,20                                       |
|                  | Stable         | 0,02  | 0,94                          | 0,78                               | 1,19                                       |
|                  | Hole effect    | 0,03  | 0,89                          | 0,83                               | 1,12                                       |

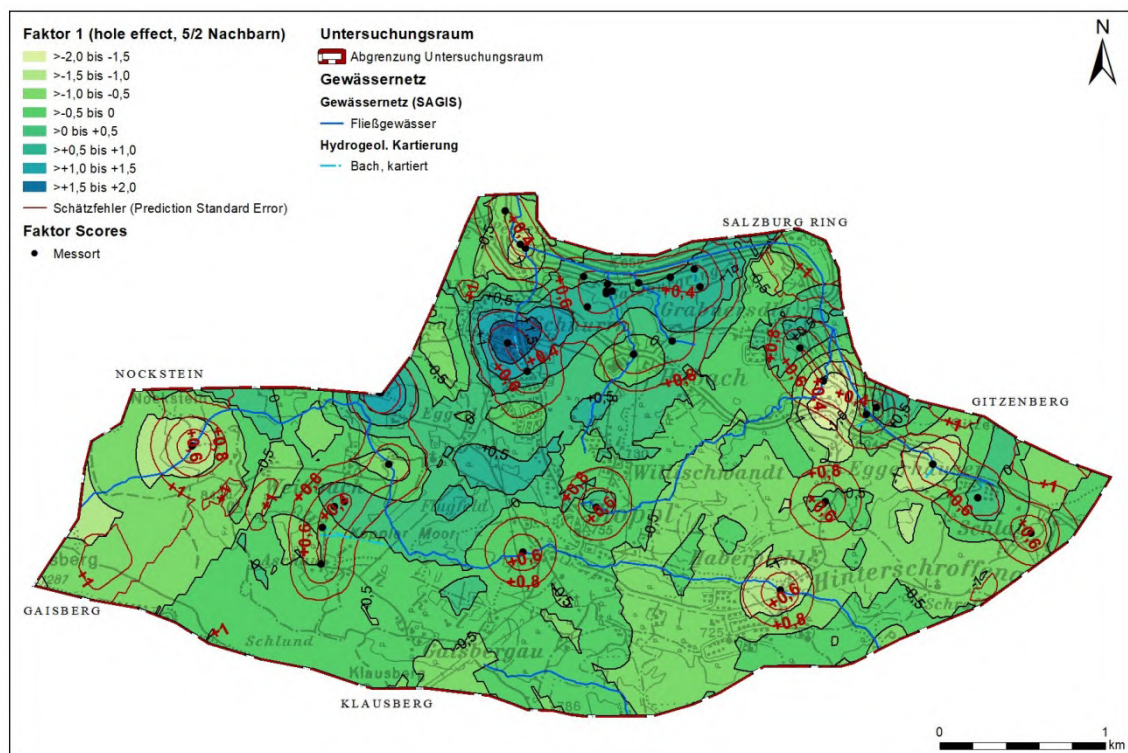


Abbildung 50: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

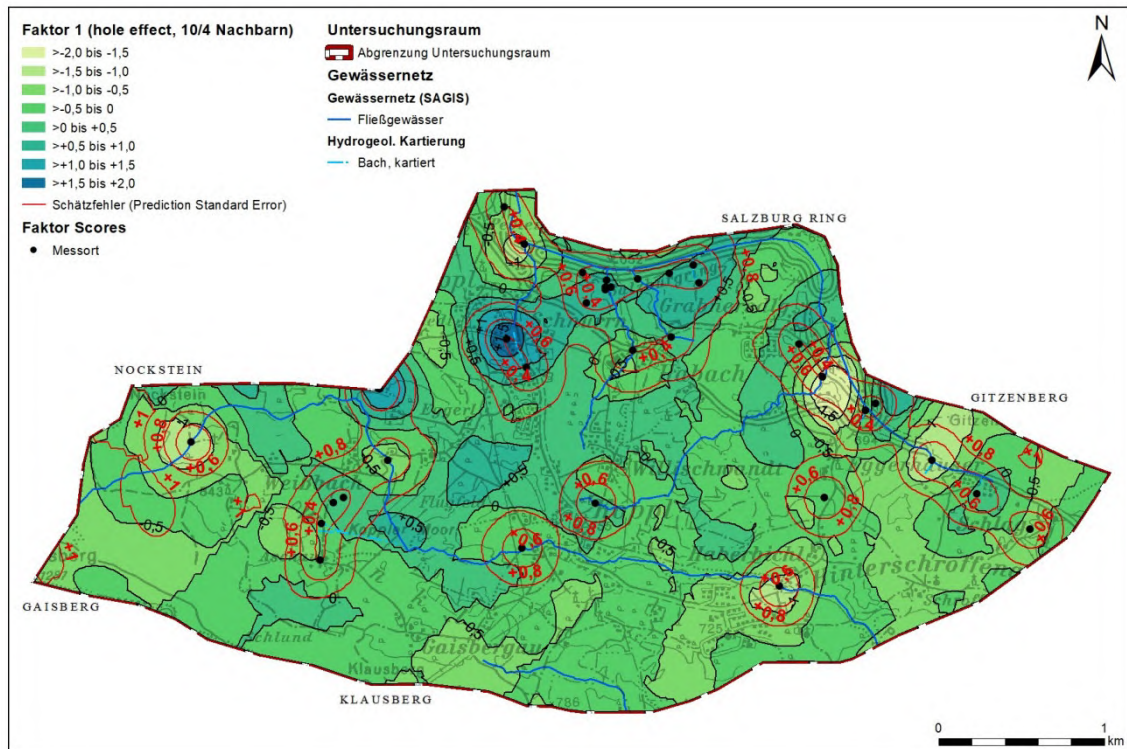


Abbildung 51: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

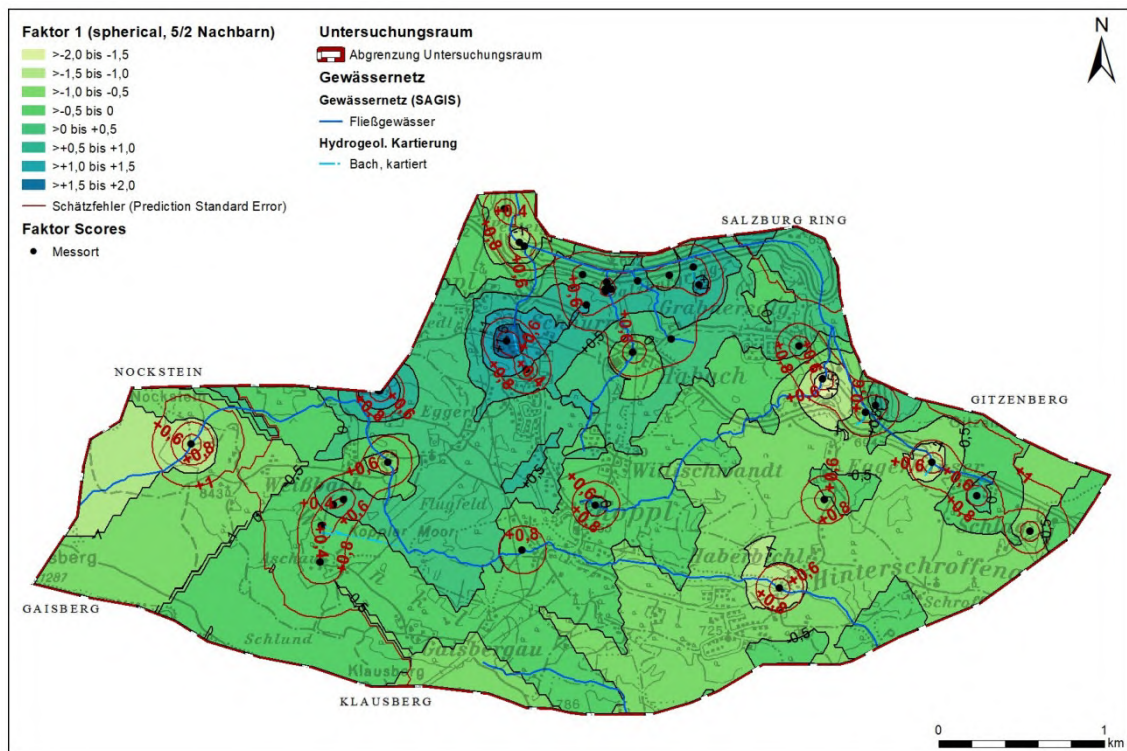


Abbildung 52: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Spherical“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

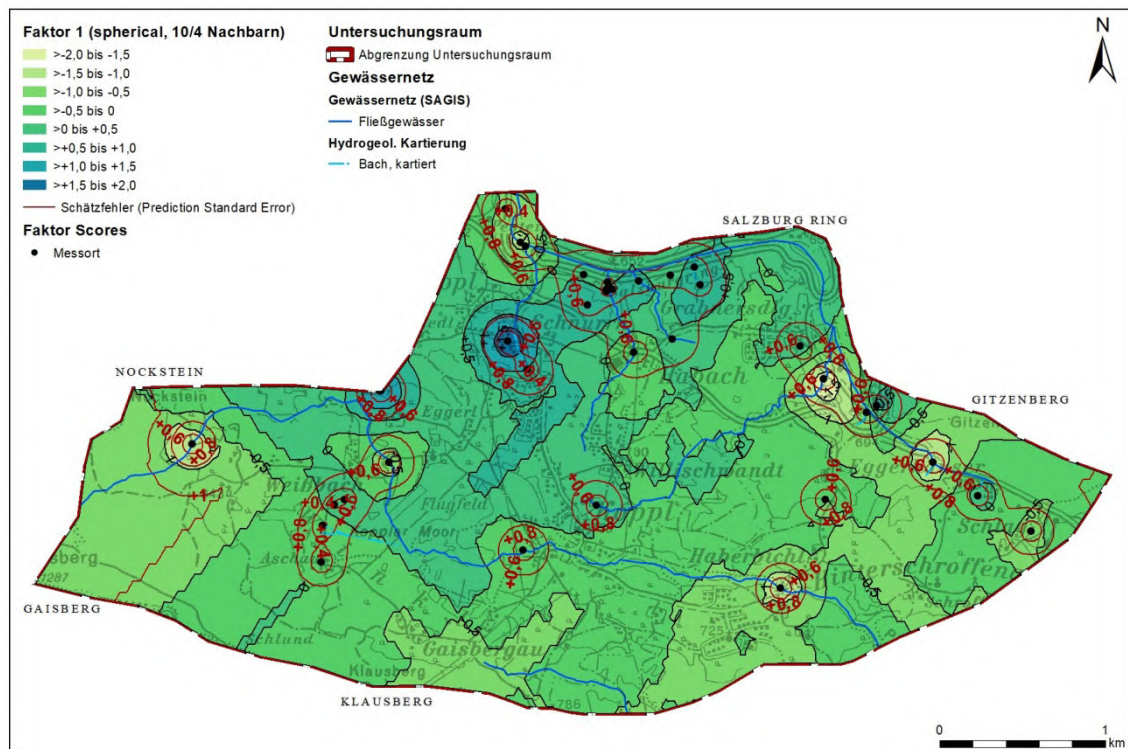


Abbildung 53: Prediction Map für Faktor 1 mit Modelltyp „Spherical“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

Mit den Variogrammmodellen „Gaussian“ und „Hole effect“ (Tabelle 38) konnten für den Faktor 2 die besten Ergebnisse erzielt werden (Tabelle 39). Dabei zeigt das „Gaussian“ Modell eine etwa Ost-West-verlaufende Abnahme. Bei der Verwendung von mehr Stützpunkten für die Interpolation ergeben sich glattere, geradere Grenzen zwischen den Klassen. Der Schätzfehler liegt bei +0,4 (Abbildung 54). Im Gegensatz dazu zeigt das „Hole effect“ Modell im südlichen und südöstlichen Untersuchungsgebiet sowie zentral beim Messort Neselgraben MO4 (29) deutliche Erhöhungen (Abbildung 56). Die Schätzfehler liegen bei bis zu +1. Bei erhöhter Stützpunktzahl sind die lokalen Erhöhungen noch deutlich erkennbar, aber weniger stark ausgeprägt (Abbildung 55, Abbildung 57).

Tabelle 38: Ergebnis Faktor D2 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)

| Model Type     | Nugget | Major Range | Partial Sill | Neighbors     |              | Sector Type       |
|----------------|--------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|
|                |        |             |              | Max.          | Min.         |                   |
| Stable (Basis) | 0,36   | 1565,82     | 1,03         | A: 5<br>B: 10 | A: 2<br>B: 4 | 4 with 45° offset |
| Circular       | 0,75   | 3700,02     | 0,53         |               |              |                   |
| Spherical      | 0,68   | 3700,02     | 0,60         |               |              |                   |
| Exponential    | 0,26   | 1294,99     | 1,01         |               |              |                   |
| Gaussian       | 0,88   | 3700,02     | 0,35         |               |              |                   |
| Stable         | 0,20   | 3700,02     | 1,12         |               |              |                   |
| Hole effect    | 0,50   | 1226,08     | 0,76         |               |              |                   |



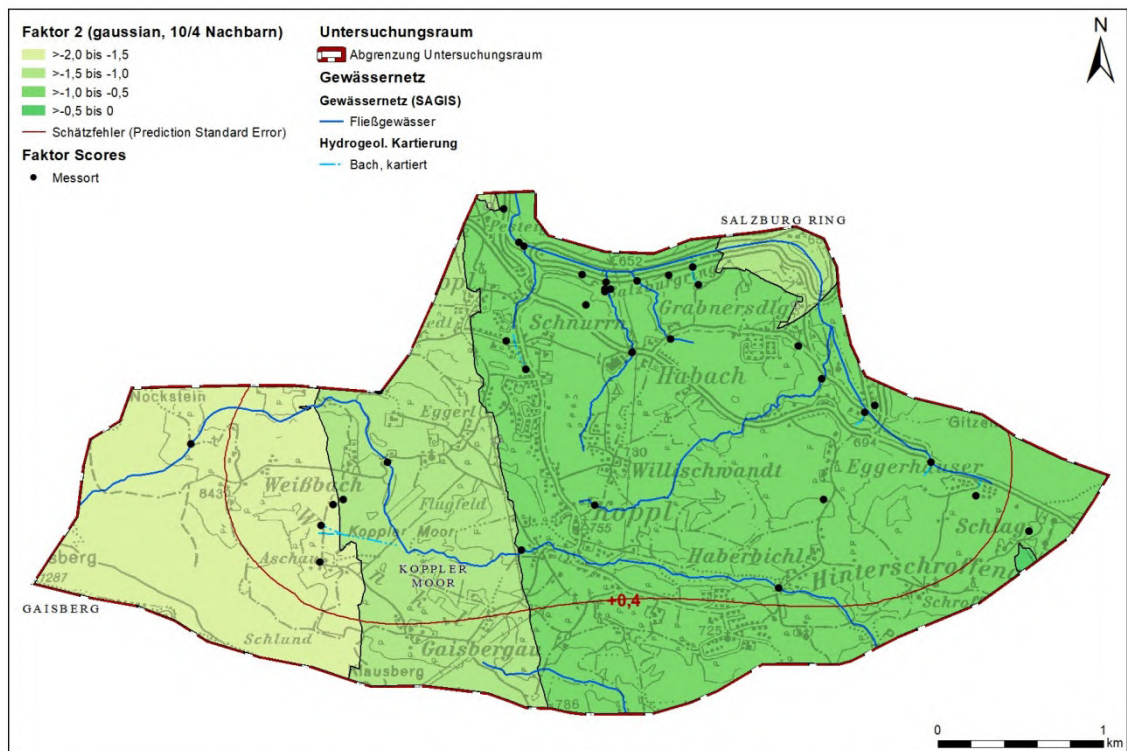


Abbildung 55: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Gaussian“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

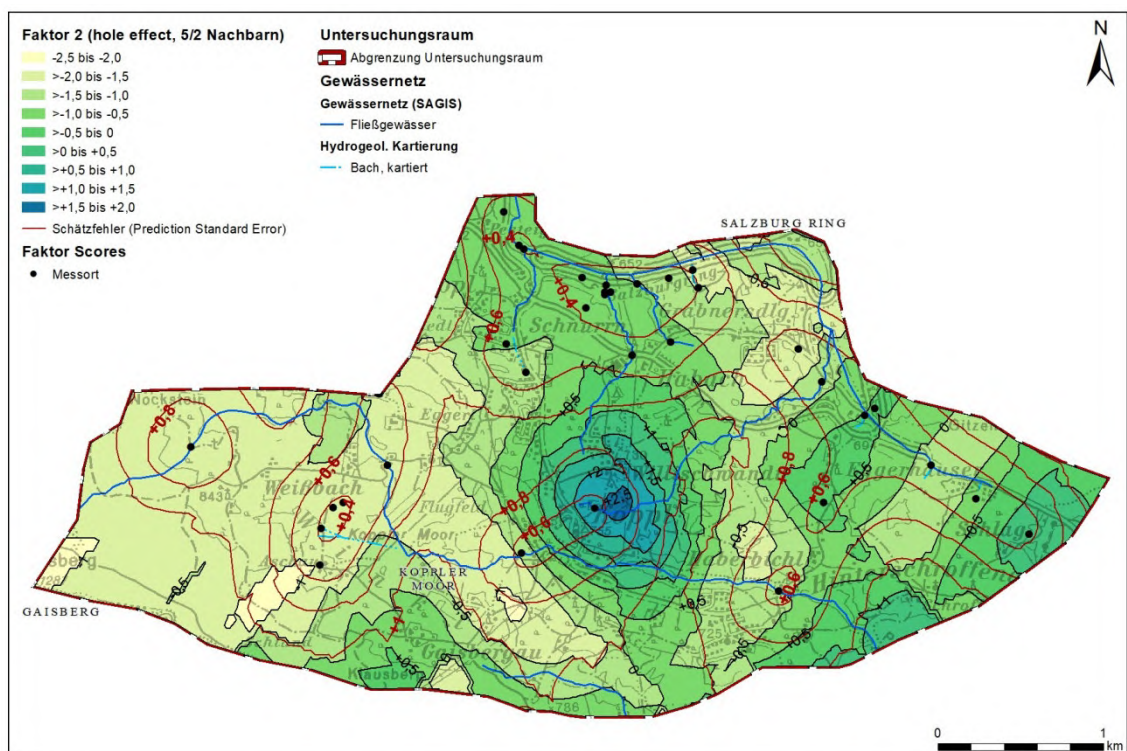


Abbildung 56: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

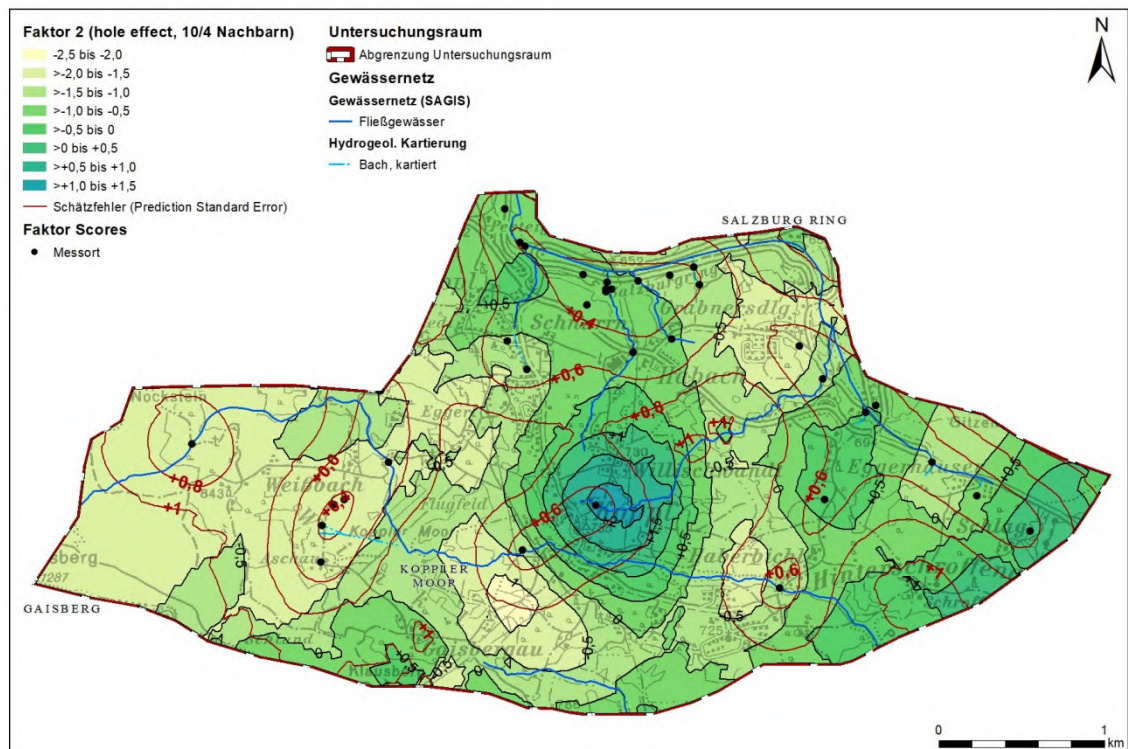


Abbildung 57: Prediction Map für Faktor 2 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

Für den Faktor 3 zeigte sich, dass mit unterschiedlicher Anzahl für das Kriging verwendeter Stützpunkte (Nachbarn) unterschiedliche Variogrammmodelle die besten Lösungen liefern. Jedoch zeigen alle Modelle und Prediction Maps eine ähnliche Verteilung: die Übergänge zwischen den einzelnen Klassen ist relativ kantig, im Osten sowie an den westlichen Untersuchungsgebietsgrenzen steigen die Werte an.

Tabelle 40: Ergebnis Faktor D3 (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)

| Model Type     | Nugget | Major Range | Partial Sill | Neighbors     |              | Sector Type       |
|----------------|--------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|
|                |        |             |              | Max.          | Min.         |                   |
| Stable (Basis) | 0,78   | 1089,31     | 0,21         | A: 5<br>B: 10 | A: 2<br>B: 4 | 4 with 45° offset |
| Circular       | 0,75   | 809,18      | 0,21         |               |              |                   |
| Spherical      | 0,76   | 809,18      | 0,18         |               |              |                   |
| Exponential    | 0,75   | 831,61      | 0,21         |               |              |                   |
| Gaussian       | 0,78   | 809,18      | 0,18         |               |              |                   |
| Stable         | 0,78   | 809,18      | 0,18         |               |              |                   |
| Hole effect    | 0,91   | 809,18      | 0,00         |               |              |                   |

Mit den Variogrammmodellen „Circular“ und „Gaussian“ (Tabelle 40) konnten mit max 5 und min. 4 Nachbarn die besten Ergebnisse erzielt werden. Bei der Verwendung von mehr Stützpunkten für die Interpolation (max 10, min. 4) zeigten das „Hole effect“ und „Exponential“ Modell die besten Ergebnisse (Tabelle 41). Die Schätzfehler liegen sehr gering bei +0,4 bis +0,6, wobei bei höherer Stützanzahl die Schätzfehler tendenziell geringer sind (Abbildung 58 bis Abbildung 61).



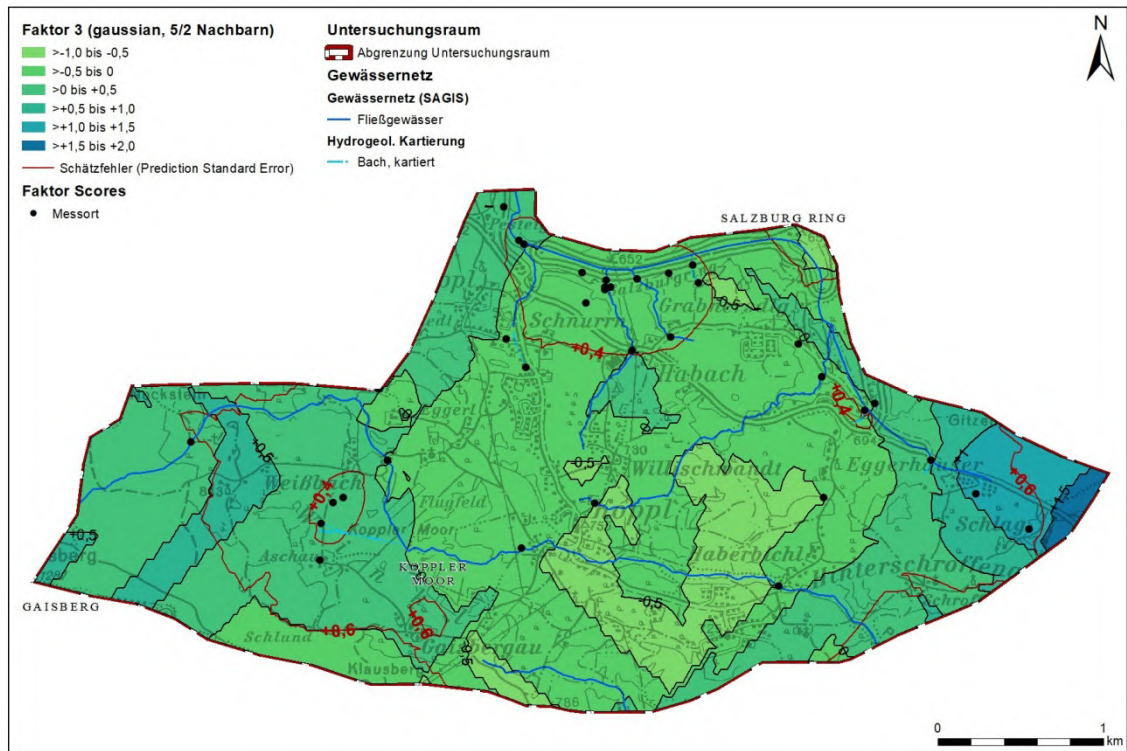


Abbildung 59: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Gaussian“, max. 5/min. 2 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

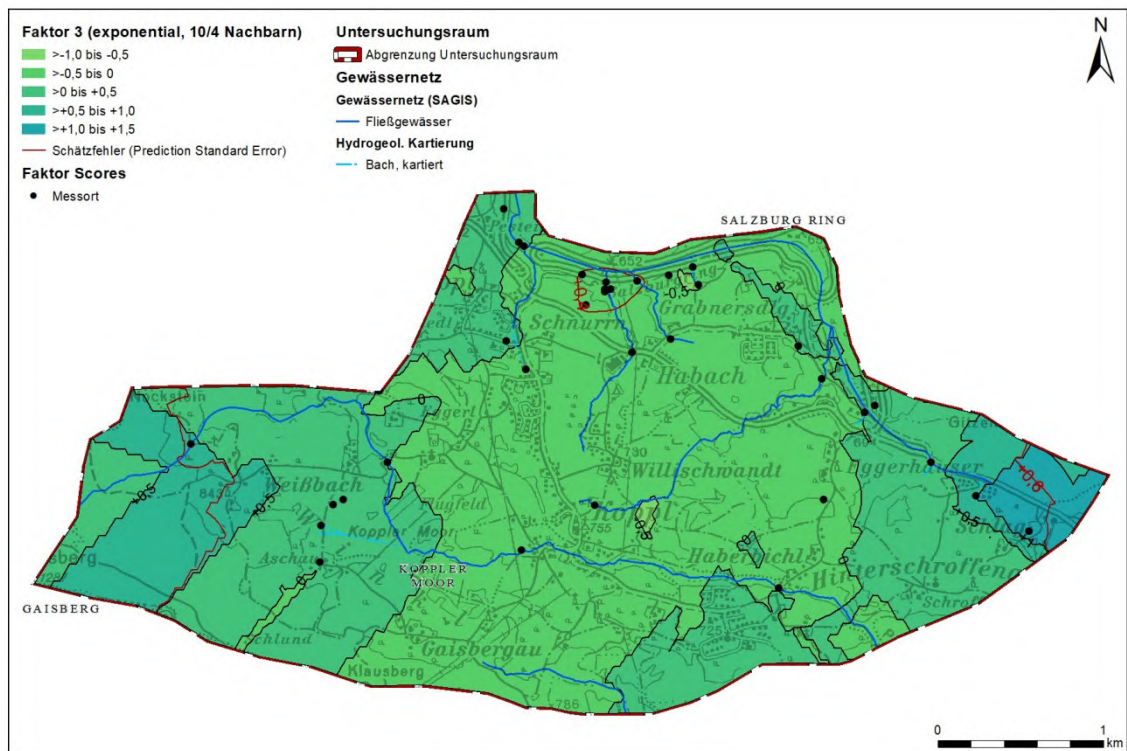


Abbildung 60: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Exponential“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

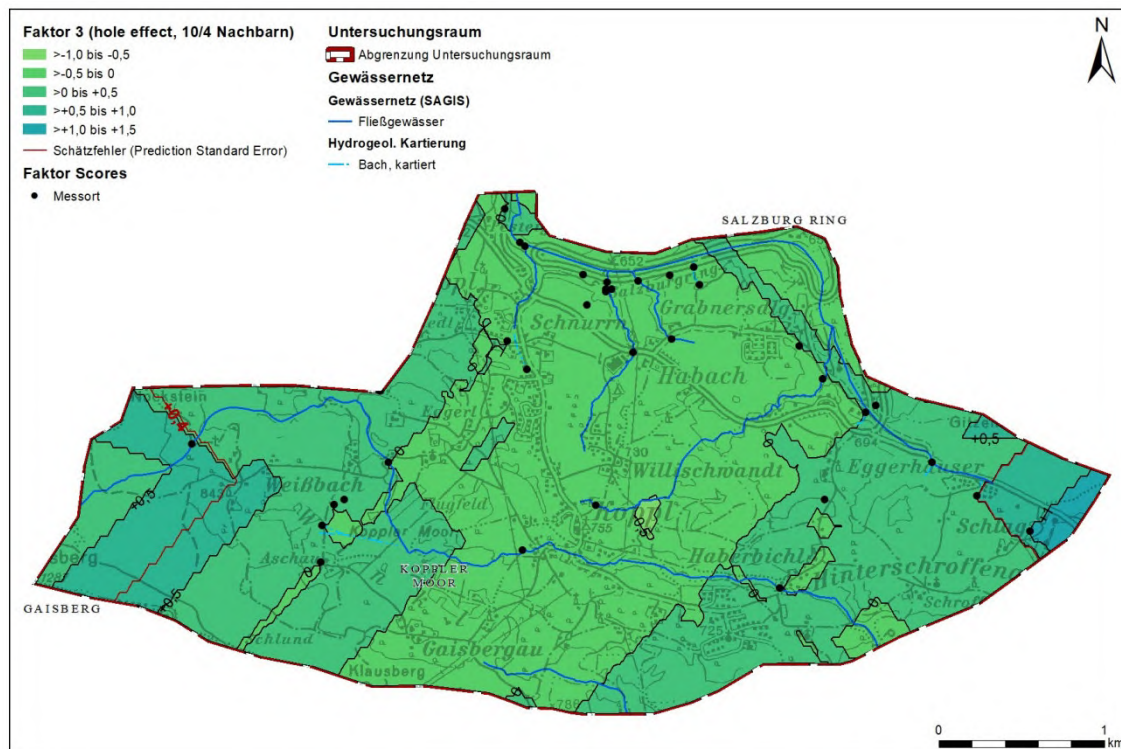


Abbildung 61: Prediction Map für Faktor 3 mit Modelltyp „Hole effect“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

Analog zu den 3 Faktoren wurde das Kriging-Verfahren einschließlich Anpassung der experimentellen Variogrammodelle (Tabelle 42, Tabelle 44) auch für die Verteilung der el. Leitfähigkeiten zu unterschiedlichen Abflüssen durchgeführt.

Für die Niedrigwasserabflussverhältnisse (Juli 2018) konnte mit einem „Gaussian“-Modell mit max. 10 und min. 4 Nachbarn das beste Ergebnis hinsichtlich aller Kriterien der Cross Validation erzielt werden (Tabelle 43). Die Schätzfehler liegen bei 50 bis 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , zum Rand des Untersuchungsgebiets nehmen die Fehler auf bis zu 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zu. Sowohl die geringen ( $< 400 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) als auch die erhöhten el. Leitfähigkeiten ( $> 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) sind deutlich als etwa Südwest-Nordost-ausgerichtete Fahnen zu erkennen (Abbildung 62).

Tabelle 42: Ergebnis für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)

| Model Type     | Nugget  | Major Range | Partial Sill | Neighbors     |              | Sector Type       |
|----------------|---------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|
|                |         |             |              | Max.          | Min.         |                   |
| Stable (Basis) | 972,22  | 1869,02     | 10127,53     | A: 5<br>B: 10 | A: 2<br>B: 4 | 4 with 45° offset |
| Circular       | 2149,72 | 1309,12     | 9817,81      |               |              |                   |
| Spherical      | 2361,59 | 1554,66     | 9098,77      |               |              |                   |
| Exponential    | 1986,91 | 1563,30     | 9256,38      |               |              |                   |
| Gaussian       | 3513,18 | 1197,97     | 8334,51      |               |              |                   |
| Stable         | 895,77  | 1554,66     | 10259,88     |               |              |                   |
| Hole effect    | 4688,26 | 2618,24     | 4686,95      |               |              |                   |

Tabelle 43: Cross Validation für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)

| Stütz-<br>punkte | Model Type     | Mean  | Root-Mean-Square<br>(RMS) | Average<br>Standard Error<br>(ASE) | Root-Mean-Square<br>Standardized<br>(RMSS) |
|------------------|----------------|-------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| 5/2              | Stable (Basis) | -0,72 | 89,24                     | 87,74                              | 1,02                                       |
|                  | Circular       | -0,05 | 83,77                     | 88,84                              | 0,91                                       |
|                  | Spherical      | 0,81  | 84,00                     | 86,99                              | 0,93                                       |
|                  | Exponential    | 0,69  | 84,74                     | 89,46                              | 0,91                                       |
|                  | Gaussian       | 2,44  | 88,62                     | 91,43                              | 0,94                                       |
|                  | Stable         | -0,28 | 85,01                     | 88,55                              | 0,99                                       |
|                  | Hole effect    | 2,16  | 84,64                     | 86,12                              | 0,97                                       |
| 10/4             | Circular       | -3,51 | 83,38                     | 87,39                              | 0,92                                       |
|                  | Spherical      | -2,97 | 83,14                     | 86,41                              | 0,93                                       |
|                  | Exponential    | -0,32 | 85,51                     | 88,83                              | 0,93                                       |
|                  | Gaussian       | -0,68 | 89,12                     | 90,28                              | 0,96                                       |
|                  | Stable         | -4,54 | 85,97                     | 87,86                              | 1,01                                       |
|                  | Hole effect    | 2,47  | 81,19                     | 85,56                              | 0,94                                       |

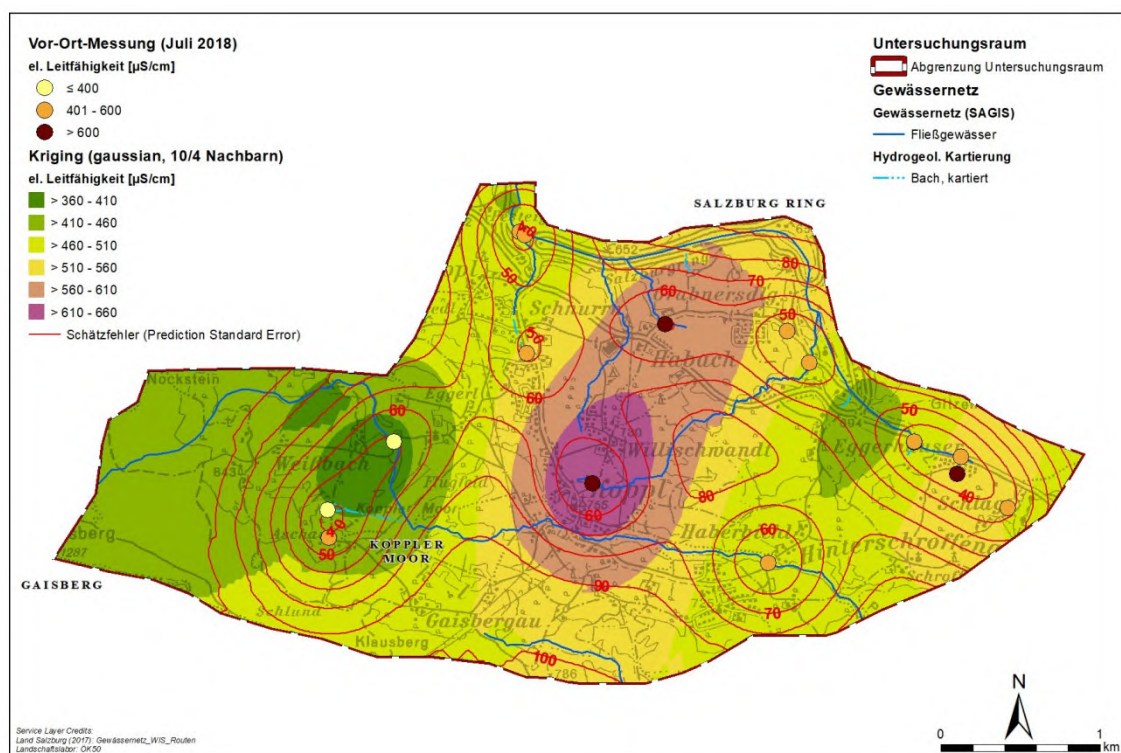


Abbildung 62: Prediction Map für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018) mit Modelltyp „Gaussian“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

Für die Hochwasserabflussverhältnisse (Dezember 2018) wurde in einem ersten Ansatz der komplette Datensatz von Dezember 2018 für die Variographie und Kriging verwendet. Es zeigte sich jedoch, dass aufgrund des stark anthropogen beeinflussten Messwertes (1.139 µS/cm) an der Quelle Fuchsberger Markus (41) die Kriterien für die Cross Validation nicht erfüllt werden konnten. Nach Entfernen des Wertes aus dem Datensatz konnte mit einem „Exponential“-Modell mit max. 10 und min. 4 Nachbarn das beste

Ergebnis (Tabelle 45) hinsichtlich aller Kriterien der Cross Validation erzielt werden. Die Schätzfehler liegen bei 30 bis 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , zum Rand des Untersuchungsgebiets nehmen die Fehler auf bis zu 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zu. Die erhöhten el. Leitfähigkeiten bilden keinen zusammenhängenden West-Ost-verlaufenden Streifen, sondern werden vielmehr keilförmig von dem geringer mineralisierten Bereich unterbrochen (Abbildung 63).

*Tabelle 44: Ergebnis für Hochwasserabfluss (Dezember 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)*

| Model Type     | Nugget  | Major Range | Partial Sill | Neighbors     |              | Sector Type       |
|----------------|---------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|
|                |         |             |              | Max.          | Min.         |                   |
| Stable (Basis) | 3386,03 | 1597,82     | 6369,65      | A: 5<br>B: 10 | A: 2<br>B: 4 | 4 with 45° offset |
| Circular       | 3040,36 | 1129,24     | 5284,19      |               |              |                   |
| Spherical      | 3273,19 | 1129,24     | 4694,38      |               |              |                   |
| Exponential    | 5541,67 | 1129,24     | 1164,55      |               |              |                   |
| Gaussian       | 3118,62 | 1155,39     | 5870,29      |               |              |                   |
| Stable         | 3118,62 | 1155,39     | 5870,29      |               |              |                   |
| Hole effect    | 3278,85 | 1228,15     | 4745,87      |               |              |                   |

*Tabelle 45: Cross Validation für Hochwasserabfluss (Dezember 2018) (Ordinary, keine Anisotropie, ohne Transformation, keine Trend-Eliminierung)*

| Stützpunkte | Model Type     | Mean | Root-Mean-Square (RMS) | Average Standard Error (ASE) | Root-Mean-Square Standardized (RMSS) |
|-------------|----------------|------|------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 5/2         | Stable (Basis) | 2,19 | 86,64                  | 70,08                        | 1,21                                 |
|             | Circular       | 1,25 | 85,41                  | 74,61                        | 1,12                                 |
|             | Spherical      | 1,09 | 85,19                  | 76,53                        | 1,08                                 |
|             | Exponential    | 1,12 | 85,43                  | 83,21                        | 1,01                                 |
|             | Gaussian       | 0,46 | 85,53                  | 71,39                        | 1,19                                 |
|             | Stable         | 0,47 | 85,53                  | 71,39                        | 1,18                                 |
|             | Hole effect    | 0,13 | 84,34                  | 75,26                        | 1,11                                 |
| 10/4        | Circular       | 0,99 | 84,77                  | 74,30                        | 1,12                                 |
|             | Spherical      | 1,14 | 84,67                  | 76,15                        | 1,09                                 |
|             | Exponential    | 0,00 | 86,61                  | 82,47                        | 1,04                                 |
|             | Gaussian       | 1,28 | 85,32                  | 71,11                        | 1,19                                 |
|             | Stable         | 1,28 | 85,32                  | 71,11                        | 1,19                                 |
|             | Hole effect    | 0,79 | 83,95                  | 73,68                        | 1,13                                 |

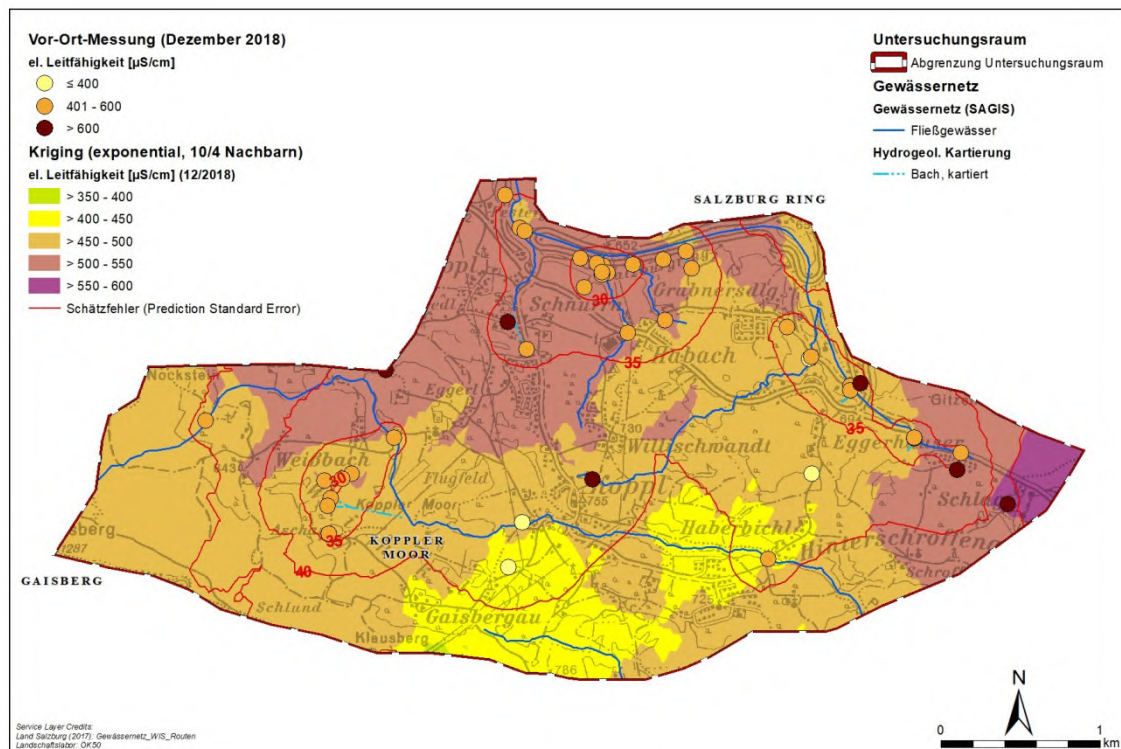


Abbildung 63: Prediction Map für Hochwasserabfluss (Dezember 2018) mit Modelltyp „Exponential“, max. 10/min. 4 Nachbarn, inkl. Darstellung Schätzfehler

## 4.5 Eignung des Datensatzes

### 4.5.1 Faktorwerte aus Hauptkomponentenanalyse

Für die Prüfung des Datensatzes gemäß GRAMS (2000) wurden wie in Kapitel 3.4.3.4 beschrieben mittels Buffer die minimalen Einflussradien der Stützpunkte ermittelt. Um eine vollflächige Abdeckungen von mindestens 2 Stützpunkten pro Schätzwert zu erreichen, wären Radien von mindestens 1.000 bis 1.500 m nötig. Dies ist v. a. bedingt durch die geringe Anzahl Stützpunkte im südlichen Untersuchungsraum. Da sich mit diesen Distanzen für alle Variogrammmodelle eine unzureichende Eignung ergeben hätte, wurde ein geringerer Radius von 800 m gewählt. Dadurch erfüllt jedoch der südliche Untersuchungsraum nicht die vorgegebene Bedingung (mindestens 2 Stützpunkte).

Tabelle 46: Klassifikation R- und N-Wert

| Variogramm-Reichweite [m] | Klassifikation R-Wert | Nuggetanteil [%] von Sill | Klassifikation N-Wert |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| < 800 m                   | 0                     | < 10 %                    | 3                     |
| 800+100 m                 | 1                     | 10-20 %                   | 2                     |
| 800+1000 m                | 2                     | 21-30 %                   | 1                     |
| >800+1000 m               | 3                     | >30 %                     | 0                     |

Der so ermittelte Radius wurde anschließend klassifiziert (Tabelle 46), um die unterschiedlichen Reichweiten aus den verschiedenen Variogrammmodellen besser einordnen zu können. Aus den Variogrammmodellen wurden die Nuggetwerte und ihre Anteil-

le am Sill berechnet. Anschließend wurden auch diese Anteile klassifiziert (Tabelle 47). Daraus ergaben sich folgende Abstufungen für den K-Wert.

Tabelle 47: Klassifikation K-Wert

| K-Wert |   | N-Wert |   |   |   | Klassifikation |
|--------|---|--------|---|---|---|----------------|
|        |   | 0      | 1 | 2 | 3 |                |
| R-Wert | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | ungeeignet     |
|        | 1 | 0      | 1 | 2 | 3 | mäßig geeignet |
|        | 2 | 0      | 2 | 4 | 6 | geeignet       |
|        | 3 | 0      | 3 | 6 | 9 | gut geeignet   |

Die entsprechenden Werte (Range, Sill, Nugget) wurden aus den Variogrammodellen abgelesen. Mit der oben angeführten Klassifikation ergeben sich folgende R-, N- und K-Werte (Tabelle 48, Tabelle 49, Tabelle 50):

Tabelle 48: R-, N- und K-Werte für Faktor 1

| Stützpunkte | Model Type     | Major Range | R-Wert | Nugget [%] | N-Wert | K-Wert |
|-------------|----------------|-------------|--------|------------|--------|--------|
| 5/2         | Stable (Basis) | 948,18      | 2      | 18,23      | 2      | 4      |
|             | Circular       | 406,29      | 0      | 9,18       | 3      | 0      |
|             | Spherical      | 417,55      | 0      | 8,09       | 3      | 0      |
|             | Exponential    | 292,65      | 0      | 0,00       | 3      | 0      |
|             | Gaussian       | 324,69      | 0      | 24,81      | 1      | 0      |
|             | Stable         | 291,06      | 0      | 0,00       | 3      | 0      |
|             | Hole effect    | 629,23      | 0      | 23,30      | 1      | 0      |
| 10/4        | Circular       | 406,29      | 0      | 9,18       | 3      | 0      |
|             | Spherical      | 417,55      | 0      | 8,09       | 3      | 0      |
|             | Exponential    | 292,65      | 0      | 0,00       | 3      | 0      |
|             | Gaussian       | 324,69      | 0      | 24,81      | 1      | 0      |
|             | Stable         | 291,06      | 0      | 0,00       | 3      | 0      |
|             | Hole effect    | 629,23      | 0      | 23,30      | 1      | 0      |

Tabelle 49: R-, N- und K-Werte für Faktor 2

| Stützpunkte | Model Type     | Major Range | R-Wert | Nugget [%] | N-Wert | K-Wert |
|-------------|----------------|-------------|--------|------------|--------|--------|
| 5/2         | Stable (Basis) | 1565,82     | 2      | 25,77      | 1      | 2      |
|             | Circular       | 3700,02     | 3      | 58,61      | 0      | 0      |
|             | Spherical      | 3700,02     | 3      | 53,03      | 0      | 0      |
|             | Exponential    | 1294,99     | 2      | 20,19      | 1      | 2      |
|             | Gaussian       | 3700,02     | 3      | 71,39      | 0      | 0      |
|             | Stable         | 3700,02     | 3      | 15,49      | 2      | 6      |
|             | Hole effect    | 1226,08     | 2      | 39,32      | 0      | 0      |
| 10/4        | Circular       | 3700,02     | 3      | 58,61      | 0      | 0      |
|             | Spherical      | 3700,02     | 3      | 53,03      | 0      | 0      |
|             | Exponential    | 1294,99     | 2      | 20,19      | 1      | 2      |
|             | Gaussian       | 3700,02     | 3      | 71,39      | 0      | 0      |
|             | Stable         | 3700,02     | 3      | 15,49      | 2      | 6      |
|             | Hole effect    | 1226,08     | 2      | 39,32      | 0      | 0      |

Tabelle 50: R-, N- und K-Werte für Faktor 3

| Stütz-<br>punkte | Model Type     | Major Range | R-Wert | Nugget [%] | N-Wert | K-Wert |
|------------------|----------------|-------------|--------|------------|--------|--------|
| 5/2              | Stable (Basis) | 1089,31     | 2      | 78,40      | 0      | 0      |
|                  | Circular       | 809,18      | 1      | 78,21      | 0      | 0      |
|                  | Spherical      | 809,18      | 1      | 80,44      | 0      | 0      |
|                  | Exponential    | 831,61      | 1      | 78,57      | 0      | 0      |
|                  | Gaussian       | 809,18      | 1      | 80,95      | 0      | 0      |
|                  | Stable         | 809,18      | 1      | 80,95      | 0      | 0      |
|                  | Hole effect    | 809,18      | 1      | 100,00     | 0      | 0      |
| 10/4             | Circular       | 809,18      | 1      | 78,21      | 0      | 0      |
|                  | Spherical      | 809,18      | 1      | 80,44      | 0      | 0      |
|                  | Exponential    | 831,61      | 1      | 78,57      | 0      | 0      |
|                  | Gaussian       | 809,18      | 1      | 80,95      | 0      | 0      |
|                  | Stable         | 809,18      | 1      | 80,95      | 0      | 0      |
|                  | Hole effect    | 809,18      | 1      | 100,00     | 0      | 0      |

Dabei zeigt sich, dass nur wenige Variogrammodelle (beim Faktor 2) die Eignungsbedingungen nach GRAMS (2000) erfüllen. Und hier ergibt sich eine Eignung für andere Modelle als in der Crossvalidierung.

#### 4.5.2 Elektrische Leitfähigkeiten bei Niedrig- und Hochwasserabfluss

Für die Prüfung des Datensatzes gemäß GRAMS (2000) wurden analog mittels Buffer die minimalen Einflussradien der Stützpunkte ermittelt. Bei der Juli-Messung wurden weniger Messorte erfasst, d. h. der Abstand zwischen den einzelnen Stützpunkten ist größer. Um eine vollflächige Abdeckungen von mindestens 2 Stützpunkten pro Schätzwert zu erreichen, wären Radien von mindestens 1.500 m nötig. Dies ist v. a. bedingt durch die geringe Anzahl Stützpunkte im südlichen Untersuchungsraum. Da sich mit diesen Distanzen für alle Variogrammodelle eine unzureichende Eignung ergeben hätte, wurde ein geringerer Radius von 1.200 m gewählt. Dadurch erfüllt jedoch der südliche Untersuchungsraum nicht die vorgegebene Bedingung (mindestens 2 Stützpunkte).

Tabelle 51: Klassifikation R- und N-Wert für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018)

| Variogramm-Reichweite [m] | Klassifikation R-Wert | Nuggetanteil [%] von Sill | Klassifikation N-Wert |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| < 1.200 m                 | 0                     | < 10 %                    | 3                     |
| 1.200+100 m               | 1                     | 10-20 %                   | 2                     |
| 1.200+1000 m              | 2                     | 21-30 %                   | 1                     |
| >1.200+1000 m             | 3                     | >30 %                     | 0                     |

Tabelle 52: Klassifikation R- und N-Wert für Hochwasserabfluss (Dezember 2018)

| Variogramm-Reichweite [m] | Klassifikation R-Wert | Nuggetanteil [%] von Sill | Klassifikation N-Wert |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| < 1.000 m                 | 0                     | < 10 %                    | 3                     |
| 1.000+100 m               | 1                     | 10-20 %                   | 2                     |
| 1.000+1000 m              | 2                     | 21-30 %                   | 1                     |
| >1.000+1000 m             | 3                     | >30 %                     | 0                     |

In der Dezember-Messrunde wurden mehr Messorte erfasst, somit stehen, v. a. im südlichen Untersuchungsraum mehr Stützpunkte zur Verfügung. Für die vollständige Abdeckung ist ein Radius von 1000 m nötig.

Der so ermittelte Radius wurde anschließend klassifiziert (Tabelle 51), um die unterschiedlichen Reichweiten aus den verschiedenen Variogrammodellen besser einordnen zu können. Aus den Variogrammodellen wurden die Nuggetwerte und ihre Anteile am Sill berechnet. Anschließend wurden auch diese Anteile klassifiziert (Tabelle 52). Daraus ergaben sich folgende Abstufungen für den K-Wert (Tabelle 53).

Tabelle 53: Klassifikation K-Wert

| K-Wert |   | N-Wert |   |   |   | Klassifikation |
|--------|---|--------|---|---|---|----------------|
|        |   | 0      | 1 | 2 | 3 |                |
| R-Wert | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | ungeeignet     |
|        | 1 | 0      | 1 | 2 | 3 | mäßig geeignet |
|        | 2 | 0      | 2 | 4 | 6 | geeignet       |
|        | 3 | 0      | 3 | 6 | 9 | gut geeignet   |

Die entsprechenden Werte (Range, Sill, Nugget) wurden aus den Variogrammodellen abgelesen. Mit der oben angeführten Klassifikation ergeben sich folgende R-, N- und K-Werte:

Tabelle 54: R-, N- und K-Werte für Niedrigwasserabfluss (Juli 2018)

| Stützpunkte | Model Type     | Major Range | R-Wert | Nugget [%] | N-Wert | K-Wert |
|-------------|----------------|-------------|--------|------------|--------|--------|
| 5/2         | Stable (Basis) | 1869,02     | 2      | 8,76       | 3      | 6      |
|             | Circular       | 1309,12     | 1      | 17,96      | 2      | 2      |
|             | Spherical      | 1554,66     | 2      | 20,61      | 1      | 2      |
|             | Exponential    | 1563,30     | 2      | 17,67      | 2      | 4      |
|             | Gaussian       | 1197,97     | 1      | 29,65      | 1      | 1      |
|             | Stable         | 1554,66     | 2      | 8,03       | 3      | 6      |
|             | Hole effect    | 2618,24     | 3      | 50,01      | 0      | 0      |
| 10/4        | Circular       | 1309,12     | 1      | 17,96      | 2      | 2      |
|             | Spherical      | 1554,66     | 2      | 20,61      | 1      | 2      |
|             | Exponential    | 1563,30     | 2      | 17,67      | 2      | 4      |
|             | Gaussian       | 1197,97     | 1      | 29,65      | 1      | 1      |
|             | Stable         | 1554,66     | 2      | 8,03       | 3      | 6      |
|             | Hole effect    | 2618,24     | 3      | 50,01      | 0      | 0      |

Tabelle 55: R-, N- und K-Werte für Hochwasserabfluss (Dezember 2018)

| Stützpunkte | Model Type     | Major Range | R-Wert | Nugget [%] | N-Wert | K-Wert |
|-------------|----------------|-------------|--------|------------|--------|--------|
| 5/2         | Stable (Basis) | 1597,82     | 2      | 34,71      | 0      | 0      |
|             | Circular       | 1129,24     | 2      | 36,52      | 0      | 0      |
|             | Spherical      | 1129,24     | 2      | 41,08      | 0      | 0      |
|             | Exponential    | 1129,24     | 2      | 82,63      | 0      | 0      |
|             | Gaussian       | 1155,39     | 2      | 34,69      | 0      | 0      |
|             | Stable         | 1155,39     | 2      | 34,69      | 0      | 0      |
|             |                |             |        |            |        |        |

| Stütz-<br>punkte | Model Type  | Major Range | R-Wert | Nugget [%] | N-Wert | K-Wert |
|------------------|-------------|-------------|--------|------------|--------|--------|
|                  | Hole effect | 1228,15     | 2      | 40,86      | 0      | 0      |
| 10/4             | Circular    | 1129,24     | 2      | 36,52      | 0      | 0      |
|                  | Spherical   | 1129,24     | 2      | 41,08      | 0      | 0      |
|                  | Exponential | 1129,24     | 2      | 82,63      | 0      | 0      |
|                  | Gaussian    | 1155,39     | 2      | 34,69      | 0      | 0      |
|                  | Stable      | 1155,39     | 2      | 34,69      | 0      | 0      |
|                  | Hole effect | 1228,15     | 2      | 40,86      | 0      | 0      |

Dabei zeigt sich, dass der Datensatz bei Niedrigwasserabfluss trotz guter Cross Validation Kriterien aufgrund der kleinen Major Range sowie dem hohen Nuggetanteil nur mäßig geeignet ist. Der Datensatz bei Hochwasserabfluss ist aufgrund der hohen Nuggetanteile mit den geprüften Variogrammodellen nicht geeignet.

## 5 Diskussion

Im Salzburger Baugrundkataster wurden Bohrprofile von Untergrunderkundungen (Bohrungen, Schürfe) erhoben (Abbildung 3). Die Auswertung dieser zeigte für das Untersuchungsgebiet, dass auch im nördlichen Bereich in tieferen Lagen die Gesteine der Nördlichen Kalkalpen (Kalke und Dolomite) angetroffen werden. Diese werden flächig von mehrere Meter mächtigem Moränenmaterial und Konglomeraten überlagert (siehe Abbildung 64 und Tabelle 56).

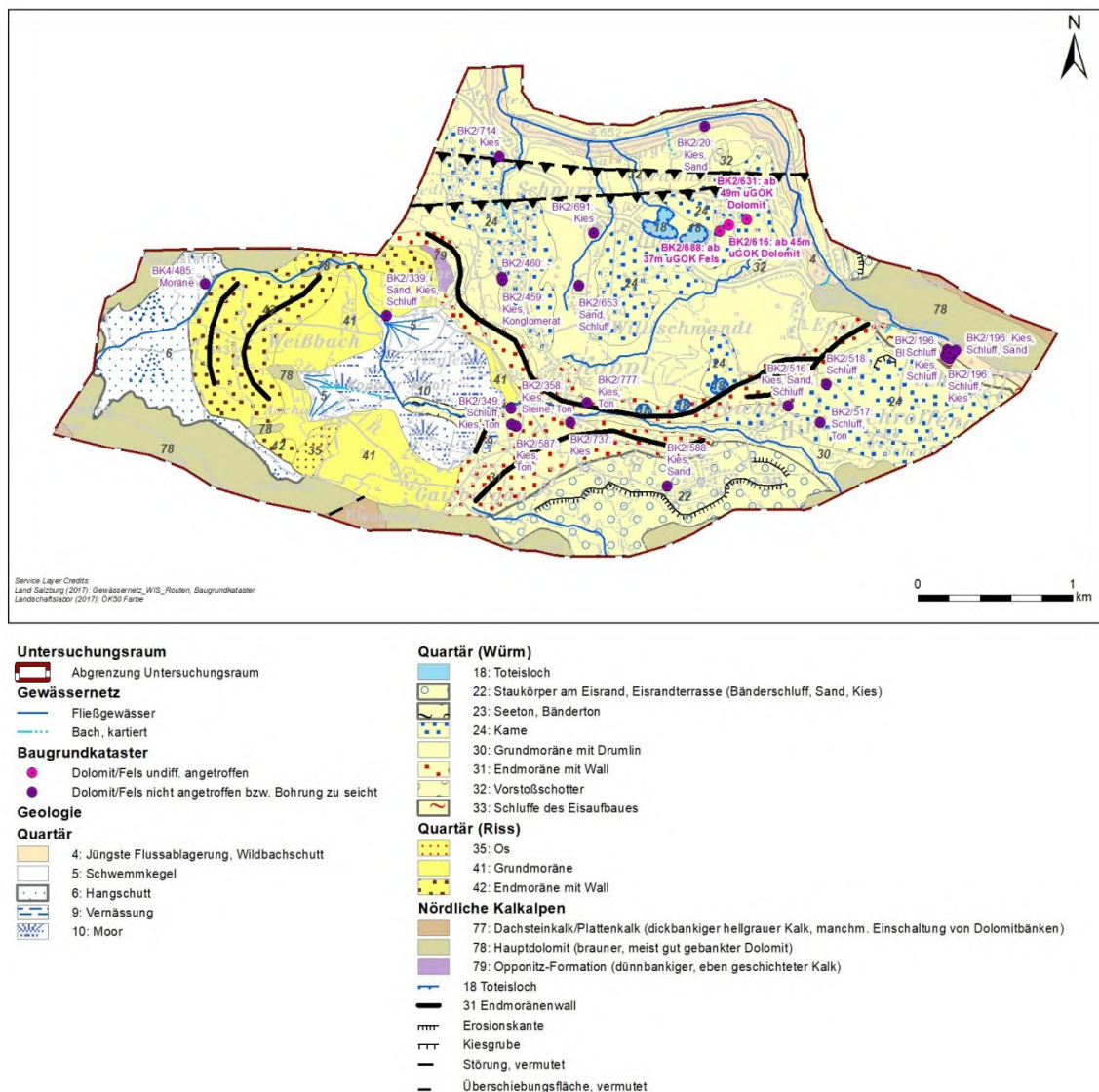


Abbildung 64: Geologische Übersichtskarte mit Lage der Bohrungen und Angabe der angetroffenen Lithologien (vereinfacht) gemäß Baugrundkataster (LAND SALZBURG)

Die Messorte der hydrogeologischen Kartierung (Abbildung 65) liegen größtenteils im Quartär. Ausnahme bilden die Messorte im oberen Teil des Plainfelderbachs (Nummer 21, 22, 23, 24, 25, 26, 60). Diese liegen in der Übergangszone zwischen Dachsteinkalk-Plattenkalk und Hauptdolomit (Nördliche Kalkalpen) zur Grundmoräne (Quartär,

Würm). Der Einfluss des anstehenden Festgesteins zeigte sich auch in der langen Versickerungsstrecke des Plainfelderbachs: hier war der Bach im Sommer 2018 auf einer Strecke von ca. 400 m vollständig versickert. Des Weiteren waren im Sommer 2018 die Oberläufe der Seitenzubringer des Plainfelderbachs trocken, führten aber im Unterlauf wieder Wasser. Dies spricht entweder für Zutritte aus oberflächennah anstehendem Festgestein in Form von Kalksteinen und Dolomiten oder für lokale Hangwässer, gespeist aus kleinräumigen Einzugsgebieten.

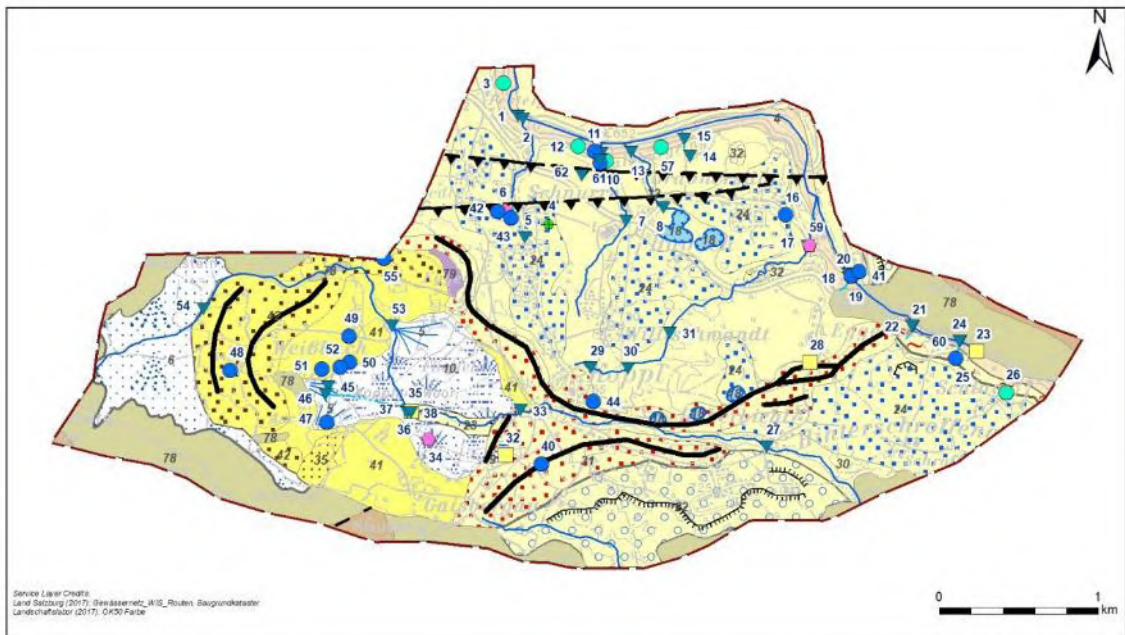


Abbildung 65: Geologische Übersichtskarte mit Lage der Messorte gemäß hydrogeologischer Kartierung (Karte mit Legende siehe Anhang 1)

Die Auswertung von im Baugrunderkater enthaltenen Bohrprofilen (Tabelle 56, Abbildung 66) zeigte, dass in einigen Erkundungen kein Grundwasser angetroffen wurde bzw. lag in einigen Fällen kein Bohrprofil oder Angaben zu Grundwasserständen vor. Jene Bohrprofile mit Angaben zum angetroffenen Grundwasser zeigen Wasserstände zwischen 1,8 und 110 m. Die niedrigsten Flurabstände werden dabei im westlichen Untersuchungsgebiet im Hangschutt (BK4/485) mit 1,8 m, im östlichen Gebiet in Kamen (BK2/516, BK2/518) mit 3,1 und 13,45 m bzw. im nördlichen Untersuchungsraum beim Salzburg Ring in Flussablagerungen/Wildbachschutt (BK2/20) mit 4,6 m erreicht. Im zentralen Untersuchungsraum zwischen Gaisbergau, Haberbichl und Koppl liegen die Flurabstände bei 21 bis 45,5 m in Endmoränen bzw. Eisrandterrassensedimenten. Im nordöstlichen Untersuchungsgebiet in Habach liegen zwei Bohrungen in unmittelbarer Nähe, weisen jedoch sehr unterschiedliche Wasserstände (38 bzw. 110 m unter Geländeoberkante) auf. Beide erschließen in den unteren Bereichen Dolomit. Die Wasserstände liegen im Dolomit (BK2/631, Wasserstand 110 m) bzw. im überlagernden Kies (BK2/616, Wasserstand 38 m). Ein einheitlicher und zusammenhängender Wasserkörper ist anhand dieser Wasserstandsdaten nicht ableitbar.

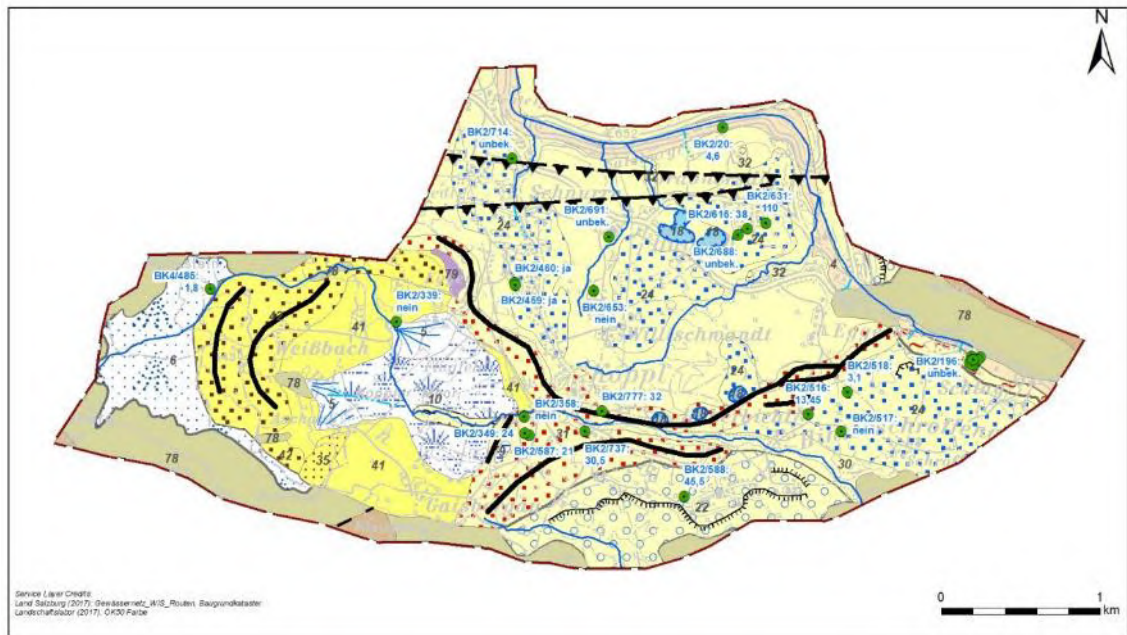


Abbildung 66: Geologische Übersichtskarte mit Grundwasserständen aus Bohrprofilen des Baugrunderkennungs (LAND SALZBURG, Karte mit Legende siehe Anhang 2)

Die Bodenerkundungen haben bindige Böden gezeigt, die eine mäßige bis geringe Durchlässigkeit aufweisen. Das bedeutet, dass anfallende Oberflächenwässer nur zu einem gewissen Grad versickern können. Die hohen Schluffanteile deuten, wie bereits in KLUG & HUBER (2015) untersucht, darauf hin, dass bei vorgesättigtem Boden durch anhaltende Niederschläge die Fähigkeit zur Versickerung weiter abnimmt bzw. nicht mehr gegeben ist. Beobachtungen während der Messungen bestätigen dies. Es bildeten sich lokal Wasseransammlungen auf Feldern und Wiesen, die auch nach mehreren Tagen noch nicht abgefließen bzw. versickert waren (Abbildung 67).



Abbildung 67: Stehende Wässer auf Wiesen und Feldern nach Niederschlagsereignissen; links: bei Habachergraben MO2 (7), rechts: Wiese bei Waldquelle 3 (26)

*Tabelle 56: Auswertung der Erkundungen im Baugrunderkennungskataster hinsichtlich Geologie und Wasserständen (LAND SALZBURG)*

| Nr      | GOK<br>[m ü.A.] | Wasserstand<br>[m ü.A.] | Tiefe<br>[m]                                              | Geologie aus Bohrprofil (vereinfacht)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BK2/20  | 656,26          | 651,66                  | 0-1<br>1-6<br>6-6,2                                       | Anschüttung<br>Kies, Sand lehmig<br>Kies bindig                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| BK2/631 | 708,50          | 598,50                  | 0-0,5<br>0,5-49<br>49-150                                 | Anschüttung<br>Konglomerat<br>Dolomit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| BK2/616 | 706,90          | 668,90                  | 0-0,5<br>0,5-9<br>9-45<br>45-115                          | Mutterboden<br>Kies<br>Kies, sandig, tonig<br>Dolomit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| BK2/688 | 705,06          |                         | 0-0,4<br>0,4-37<br>37-150                                 | Anschüttung<br>Mittelkies, schluffig<br>Fels                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| BK2/691 | 703,10          |                         | 0-120                                                     | Kies, schluffig, tonig, sandig                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| BK2/714 | 694,00          |                         | 0-80                                                      | Kies, sandig, schluffig, leicht tonig                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| BK2/460 | 753,23          |                         |                                                           | kein Bohrprofil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| BK2/459 | 753,20          | 718,00                  | 0-17<br>17-25<br>25-34<br>34-40                           | Grobkies, Mittelkies, tonig<br>Konglomerat<br>Mittelkies, Grobkies, sandig<br>Konglomerat                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| BK2/653 | 729,38          |                         | 0-100                                                     | Sand, kiesig (kantengerundet), tonig, Schluff, steinig (kantengerundet)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| BK2/339 | 773,58          |                         | 0-2,4<br>2,4-8,7<br>8,7-30<br>30-56<br>56-68              | Humus<br>Sand<br>Mittelsan, Feinkies<br>Mittelkies<br>Schluff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| BK4/485 | 852,32          | 850,52                  | 0-0,2<br>0,2-1,6<br>1,6-3,6<br>3,6-5<br>5-12,7<br>12,7-15 | Mutterboden<br>Feinsand, schluffig, tonig, kiesig, steinig (kantengerundet) (Moräne)<br>Kies, sandig, schluffig, leicht tonig, steinig (kantengerundet-gerundet) (Moräne)<br>Schluff, sandig, tonig, kiesig (kalkalp. Komponenten) (Moräne)<br>Kies, sandig, schluffig, leicht tonig kiesig (kalkalp. Komponenten, kantengerundet-gerundet) (Moräne)<br>Sand, stark schluffig, tonig, keisig (Moräne) |
| BK4/485 | 673,08          | 666,18                  | 0-0,3<br>0,3-15                                           | Mutterboden<br>Kies, sandig, stark schluffig, tonig, steinig, einzelne Blöcke (kalkalp. Komponenten, kantengerundet-gerundet) (Grundmoräne)                                                                                                                                                                                                                                                           |
| BK2/777 | 756,80          | 724,80                  | 0-0,5<br>0,5-30<br>30-42<br>42,110                        | Mutterboden<br>Kies, schluffig, sandig<br>Kies, sandig, schluffig<br>Ton, kiesig, schluffig                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| BK2/737 | 758,00          | 727,50                  | 0-0,5<br>0,5-68                                           | Anschüttung<br>Grobkies, Feinkiestonig, leicht sandig                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| BK2/587 | 760,00          | 739,00                  | 0-48<br>48-57<br>57-69<br>69-105<br>105-130               | Kies, sandig, schluffig<br>Ton, kiesig, leicht sandig<br>Kies, tonig<br>Ton, kiesig, steinig<br>Kies, leicht sandig, steinig                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| BK2/349 | 759,00          | 735,00                  | 0-2<br>2-10<br>10-12<br>12-50                             | Schluff, kiesig<br>Kies, tonig<br>Ton, kiesig<br>Kies                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| BK2/358 | 755,88          |                         | 0-6<br>6-22<br>22-24<br>24-68<br>68-82                    | Lehm<br>Grob-, Mittel-, Feinkies, schluffig<br>Steine<br>Mittel-, Feinkies, schluffig<br>Ton                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| BK2/588 | 729,20          | 683,72                  | 0-0,3<br>0,3-51                                           | Mutterboden<br>Kies-Sand-Wechselagerung, stark sandig, schluffig, kalkalpine Komponenten                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| Nr      | GOK<br>[m ü.A.] | Wasserstand<br>[m ü.A.] | Tiefe<br>[m]                                         | Geologie aus Bohrprofil (vereinfacht)                                                                                                                                                    |
|---------|-----------------|-------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BK2/516 | 732,18          | 718,73                  | 0-0,2<br>0,2-8,9<br>8,9-18,2<br>18,2-23,8<br>23,8-34 | Humus<br>Kies, Sand, schluffig, steinig<br>Schluff, kiesig, sandig<br>Kies, Grobsand, Feinsand<br>Schluff, kiesig, sandig                                                                |
| BK2/517 | 729,61          |                         | 0-20<br>20-34,8<br>34,8-38                           | Schachtbrunnen Bestand<br>Schluff, kiesig, leicht feinsandig<br>Ton, schluffig, leicht feinsandig                                                                                        |
| BK2/518 | 731,45          | 728,35                  | 0-0,3<br>0,3-12                                      | Humus<br>Schluff, kiesig, sandig, steinig, Kieseinschaltungen                                                                                                                            |
| BK2/196 | 697,12          |                         | 0-0,9<br>0,9-1,4<br>1,4-2,2<br>2,2-5,2               | Anschüttung<br>Mutterboden, Humus<br>Kies, schluffig, leicht sandig, graue gerundete Kalkkomponenten<br>Schluff, Kieskomponenten (bis 10cm), leicht tonig, Fein- bis Mittelsandige Lagen |
| BK2/196 | 703,65          |                         | 0-0,6<br>0,6-1,6<br>1,6-5,25                         | Mutterboden, Humus<br>Kies, schluffig, leicht sandig, graue gerundete Kalkkomponenten<br>Schluff, Kieskomponenten (bis 5cm), leicht tonig, leicht sandig                                 |
| BK2/196 | 700,86          |                         | 0-2,85                                               | Schluff, Kieskomponenten (bis 5cm), leicht tonig, leicht sandig                                                                                                                          |
| BK2/196 | 699,64          |                         | 0-4,5                                                | Schluff, kiesig, leicht sandig                                                                                                                                                           |
| BK2/196 | 697,92          |                         | 0-1,3<br>1,3-3                                       | Kies, sandig, schluffig<br>Schluff, leicht kiesig                                                                                                                                        |
| BK2/196 | 692,46          |                         | 0-0,4<br>0,4-0,75<br>0,75-1,5                        | Schluff<br>Kies, kantengerundete Komponenten, Matrix feinsandig, schluffig<br>Fein- bis Mittelsand, schluffig, sandig                                                                    |
| BK2/196 | 693,39          |                         | 0-0,65<br>0,65-4                                     | Schluff<br>Kies, schluffig, leicht sandig, gerundete Komponenten, korngestützt                                                                                                           |
| BK2/196 | 700,11          |                         | 0-0,4<br>0,4-0,8<br>0,8-4                            | Mutterboden, Humus<br>Kies, sandig, schluffig<br>Schluff, Kies-Stein-Komponenten (bis 20cm), Sandlinsen                                                                                  |
| BK2/196 | 700,59          |                         | 0-1<br>1-3,7                                         | Kies<br>Schluff                                                                                                                                                                          |
| BK2/196 | 701,63          |                         | 0-3                                                  | Schluff                                                                                                                                                                                  |
| BK2/196 | 700,31          |                         | 0-1,25<br>1,25-4                                     | Kies<br>Schluff                                                                                                                                                                          |
| BK2/196 | 703,25          |                         | 0-1<br>1-3,9                                         | Kies<br>Schluff                                                                                                                                                                          |
| BK2/196 | 700,18          |                         | 0-3,8                                                | Schluff                                                                                                                                                                                  |

Die Auswertung der Vor-Ort-Messungen zeigte beim Plainfelderbach und Rettenbach-Weißbach einen leichten Jahresgang mit erhöhten Schüttungen nach der Schneeschmelze und im Herbst. Die el. Leitfähigkeiten zeigten keinen Jahresverlauf. Die Wassertemperaturen zeigten leichte Erhöhungen im Sommer und eine Abnahme der Temperatur im Winter. An den seitlichen Zubringern des Plainfelderbachs war für die Parameter Abfluss und el. Leitfähigkeit kein deutlicher Jahresgang erkennbar, lediglich die Wassertemperatur zeigte eine leichte Erhöhung in den Sommermonaten. An den Quellen, Grundwassermessstelle sowie den restlichen Messorten war kein Jahresgang erkennbar. Dies kann in der geringen Messdichte des gewählten Messrhythmus begründet sein.

Die hydrochemische Klassifizierung zeigte typische erdalkalisch-carbonatisch geprägte Wässer. Anhand der el. Leitfähigkeit lassen sich drei Mineralisierungsgrade ableiten: gering mineralisiert ( $< 300 \mu\text{S/cm}$ ), mäßig-mittel mineralisiert ( $300-600 \mu\text{S/cm}$ ) und stark mineralisiert ( $> 600 \mu\text{S/cm}$ ). In einem ersten Ansatz wurde vermutet, dass die geringer mineralisierten Wässer einen erhöhten Niederschlagseinfluss haben und die hochmineralisierten in einem kalkalpin geprägten Einzugsgebiet entspringen.

Die Verteilung (Abbildung 68) zeigte jedoch keine eindeutige Tendenz oder mögliche Zuordnung zu geologischen Bereichen. Vielmehr ist zu vermuten, dass die höher mineralisierten Wässer durch ihre Lage an der Bundes- bzw. Landstraße (Quelle Fuchsberger Markus (41), Waldquelle 3 (26)) bzw. unterhalb einer Gärtnerei (Nesselgraben Messort 4 (29)) durch anthropogene Einflüsse überprägt sind (Streusalz, Abwassereinleitung).

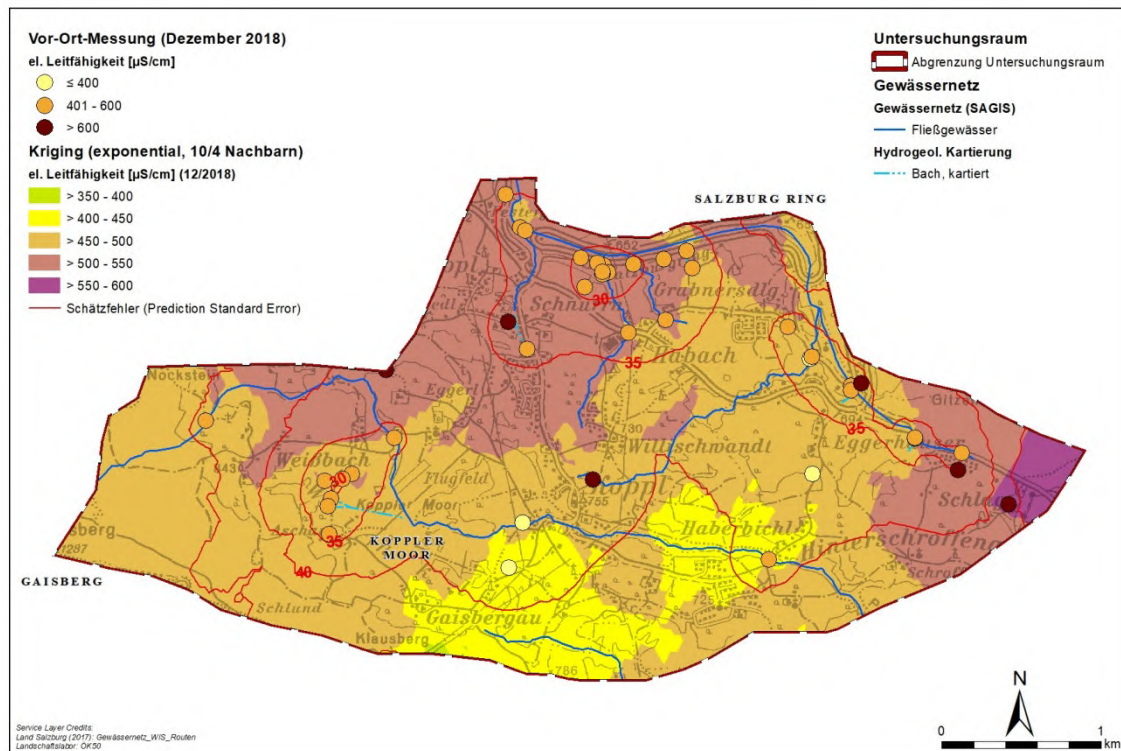


Abbildung 68: Verteilung der el. Leitfähigkeiten (Hochwasserabfluss, Dezember 2018)

Auffällig ist die Mineralisierung der Quelle Schmitzberger (25). Die Quelle liegt zwar oberhalb der Landesstraße, jedoch am Ende einer Privatstraße an einem Wendeplatz. Mit 618  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kann die Quelle noch zu den mäßig mineralisierten Wässern gezählt werden. Die Natrium-Chlorid-Werte sind jedoch mit 2,3 und 5,6 mg/l sehr niedrig, stattdessen wird ein hoher Calcium-Anteil von 110 mg/l sowie erhöhte Magnesiumwerte von 19 mg/l beobachtet. Dies lässt auf ein Einzugsgebiet im Hauptdolomit bzw. den Kalken der Nördlichen Kalkalpen im Bereich Schroffenau schließen.

Die Quelle Fuchsberger Johann u. a. (55) im Wald oberhalb Eggerl zeigte mit 607  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auch eine eher mittlere bis leicht erhöhte Mineralisation. Basierend auf der Analytik liegt ein stark erhöhter Calcium-Anteil (140 mg/l) und erhöhter Hydrogencarbonat-Anteil (360 mg/l) vor. Auch dies lässt auf ein Einzugsgebiet im Hauptdolomit bzw. den Kalken der Nördlichen Kalkalpen (Nockstein-Verlängerung) schließen. Gleiches gilt für die Drainage Klug (6): die el. Leitfähigkeit von 637  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zeigt eine mittlere bis leicht erhöhte Mineralisation, basierend auf erhöhten Calcium- und Hydrogencarbonat-Anteilen (150 und 410 mg/l), aber sehr geringen Natrium-Chlorid-Werten (5,7

und 8,9 mg/l). Es ist anzunehmen, dass das Einzugsgebiet ebenfalls im Hauptdolomit bzw. den Kalken der Nördlichen Kalkalpen (Nockstein-Verlängerung) liegt.

Die gering mineralisierten Wässer liegen jeweils in der Nähe von Messorten mit hoch mineralisierten Wässern. Sie weisen Calciumwerte von  $< 100$  mg/l und Hydrogencarbonatwerte von 190 bis 260 mg/l auf. Es liegen keine erhöhten Werte an Natrium oder Chlorid vor. Es ist anzunehmen, dass es im Fall des Messorts Rettenbach Messort 2 (33) zu Verdünnungseffekten durch das Koppler Moor kommt. Ähnlich dürfte es beim Messort Nesselgraben Messort 1 (17) sein: hier liegen oberhalb zwei Teiche, die auch über Niederschlagswässer gespeist werden und eine geringere Mineralisation aufweisen. Beim dritten Messort mit sehr geringer Mineralisation handelt es sich um ein stehendes Gewässer (Teich), der sicherlich durch Niederschlags- oder Oberflächenwassereintrag beeinflusst wird.

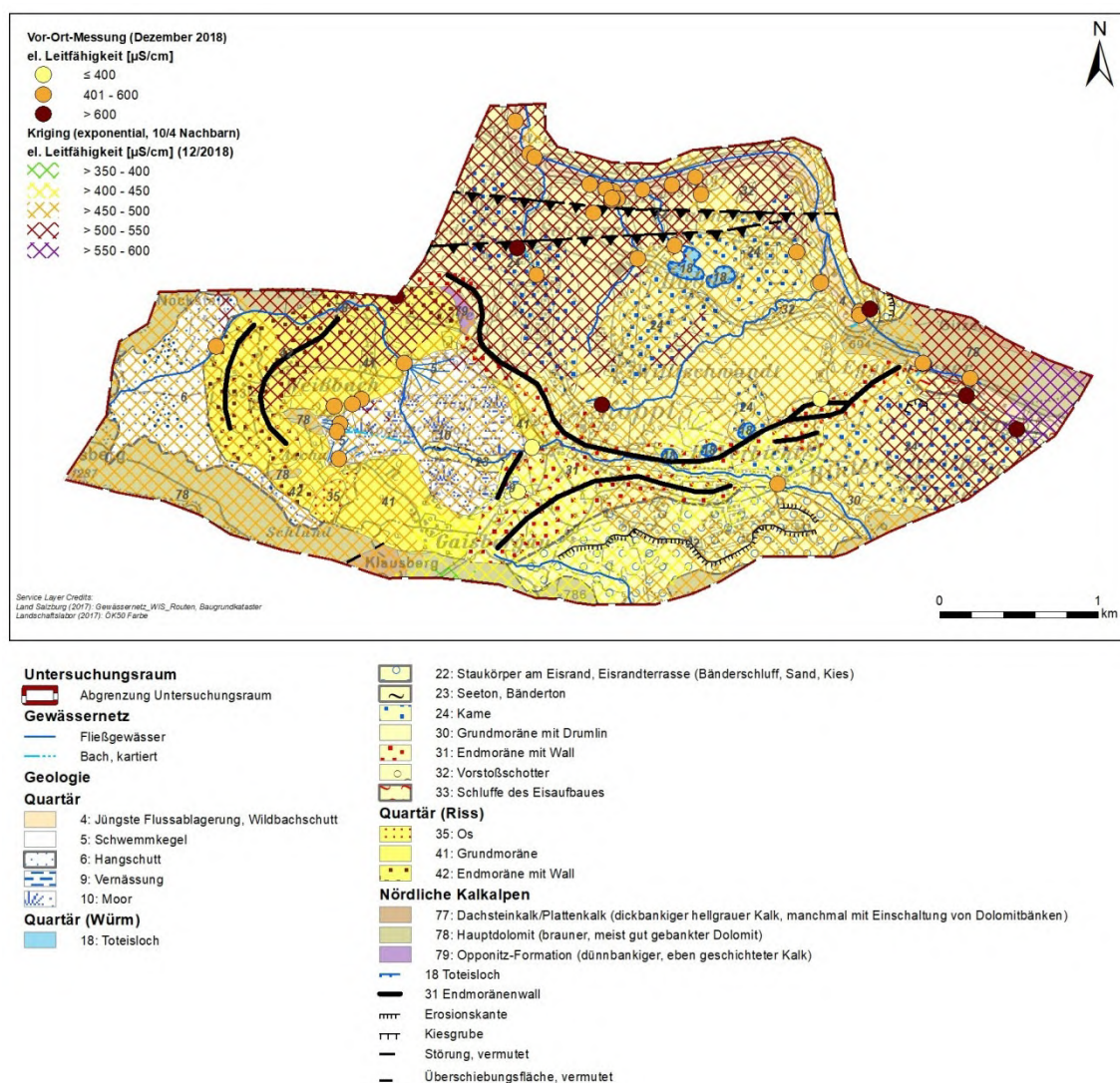


Abbildung 69: Verteilung der el. Leitfähigkeiten (12/2018) in Bezug zur Geologie

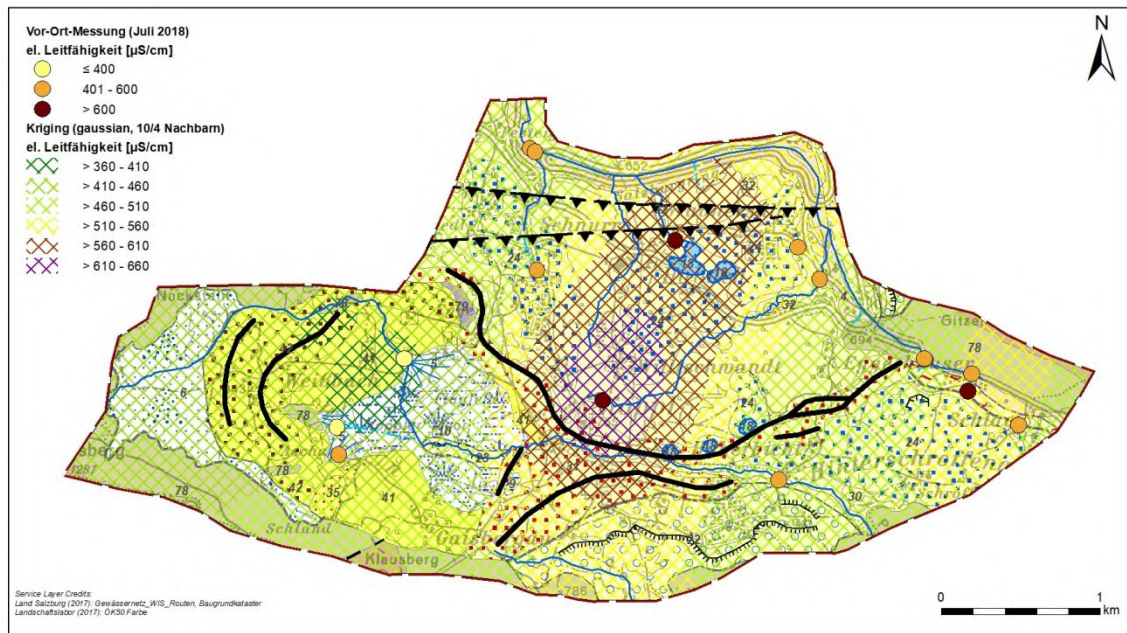


Abbildung 70: Verteilung der el. Leitfähigkeiten (07/2018) in Bezug zur Geologie

Bei Niedrigwasserabfluss (Abbildung 69, Abbildung 70) zeigen die drei Messorte Nesselgraben Messort 4 (29), Tiefenbach Messort 2 (8) und Quelle Schmitzberger (25) erhöhte el. Leitfähigkeiten. Tendenziell kann es sich aufgrund der Lage (unterhalb Gärtnerei bzw. auf Feldern gelegen) um anthropogen beeinflusste Wässer handeln, beispielsweise durch den Einsatz von Düngemitteln. Zu diesem Messtermin waren der Hachachergraben Messort 2 (7) und der Kanal (19) trocken, die restlichen Messstellen führten wenig bis sehr wenig Wasser. Ein Vergleich mit den Niederschlagsverhältnissen im Juli 2018 (ZAMG (2015-2018)) zeigt, dass der Monat relativ trocken (niederschlagsarm) war. In Abhängigkeit, ob und wie nah zu den Gewässern Dünger ausgebracht wurde, könnte es sich um oberflächlich eingetragene Nährstoffe aus Düngung handeln (KLUG & HUBER (2015), Düngung zu nah am Gewässer, direkter Eintrag, kein Eintrag über Oberflächenabfluss). Alternativ könnte es sich um lokale Hangwässer aus kleinräumigen Einzugsgebieten oder Wässer aus oberflächennah anstehendem Festgestein handeln.

Mithilfe der Hauptkomponentenanalyse konnten, trotz einzelner Ausreißer, mit drei neuen Faktoren > 77 % der Varianz des Datensatzes erklärt werden. Hierbei fasst der Faktor 1 im Wesentlichen die Parameter el. Leitfähigkeit, Gesamt- und Carbonathärte sowie Calcium und Hydrogencarbonat zusammen. Da die beiden Härten an die Parameter Calcium und Hydrogencarbonat direkt gekoppelt sind, ist dies wenig verwunderlich. Die el. Leitfähigkeit entspricht dem Anteil gelöster Minerale und Stoffe in einem Wasser und wird mit den Hauptanteilen konform gehen. Auch dies bestätigt sich für das Untersuchungsgebiet. Der Faktor 1 repräsentiert im Untersuchungsgebiet den Einfluss des Einzugsgebiets aus Hauptdolomit bzw. den Kalken der Nördlichen Kalkalpen.

Der Faktor 2 spiegelt den anthropogenen Einfluss wieder, da hier die beiden Parameter Natrium und Chlorid hoch laden. Diese beiden Parameter sind maßgeblich für Streusalze. Der Faktor 3 weist Magnesium als ausschlaggebenden Parameter aus. Dies würde für Einflussbereiche mit erhöhtem Hauptdolomitanteil sprechen.

Die Variogrammanalyse zeigte für den Faktor 1, dass die Variogrammodelle „Spherical“ und „Hole effect“ ein gutes Ergebnis liefern. Der Mean lag bei beiden Modellen bei ca. 0, RMS und ASE lagen unter 1 und nah beieinander und der RMSS lag bei annähernd 1. Die Erhöhung der berücksichtigten Nachbarn im Ordinary Kriging brachte für beide Modelle eine leichte Verbesserung. Beide Modelle spiegeln die durch die hydrochemische Interpretation vermutete Verteilung und den Einfluss der Gesteine der Nördlichen Kalkalpen wieder. Es zeigen sich Erhöhungen im östlichen Untersuchungsraum im Übergangsbereich zwischen Moränen und Hauptdolomit und Kalkgestein. Ebenso liegen erhöhte Werte östlich des Nocksteinrückens und im Bereich Koppl vor.

Die Variogrammanalyse für den Faktor 2 liefert zwei unterschiedliche Prediction Maps. Auch wenn das „Gaussian“ Modell den geringeren Schätzfehler aufweist, erscheint das „Hole effect“ Modell unter Berücksichtigung der hydrochemischen Analysen und Auswertung einschließlich Hauptkomponentenanalyse plausibler. Es werden die vorher beschriebenen Erhöhungen der Parameter Natrium und Chlorid im zentralen Bereich bzw. im Bereich Hinterschroffenau besser abgebildet.

Die Variogrammanalyse zeigte beim Faktor 3 gute Ergebnisse mit unterschiedlichen Modellen in Abhängigkeit der verwendeten Nachbarschaftspunkte. Die daraus resultierenden Prediction Maps sind einander aber sehr ähnlich, wobei mit einer höheren Stützpunktzahl geringere Schätzfehler erreicht werden. In den südwestlichen und südöstlichen Randbereichen des Untersuchungsmodells zeigen sich Erhöhungen der Werte, welche gut mit dem vorher beschriebenen Einzugsgebiet im Hauptdolomit übereinstimmen.

Die beschriebenen Beobachtungen decken sich mit der Hydrogeologischen Karte (1:500.000, GBA (2015), Abbildung 71). Diese weist für das Untersuchungsgebiet großteils lokale Porengrundwasserleiter aus. Diese zeigen auf Basis der Geologie (Kies, Sand, Moränen) lokale oder unzusammenhängende Grundwasservorkommen mit einer hohen Produktivität bzw. ausgedehnte aber geringer ergiebige Grundwasservorkommen. Im südwestlichen und südöstlichen Untersuchungsgebiet befinden sich gemäß der Hydrogeologischen Karte verkarstungsfähige Grundwasserleiter. Diese haben in geologischen Bereichen mit Dolomit ebenfalls ein lokales oder unzusammenhängendes Grundwasservorkommen. In Bereichen von Kalksteinen, beispielsweise am Gaisberg, kann es zu ausgedehnten und ergiebigen Grundwasservorkommen kommen.

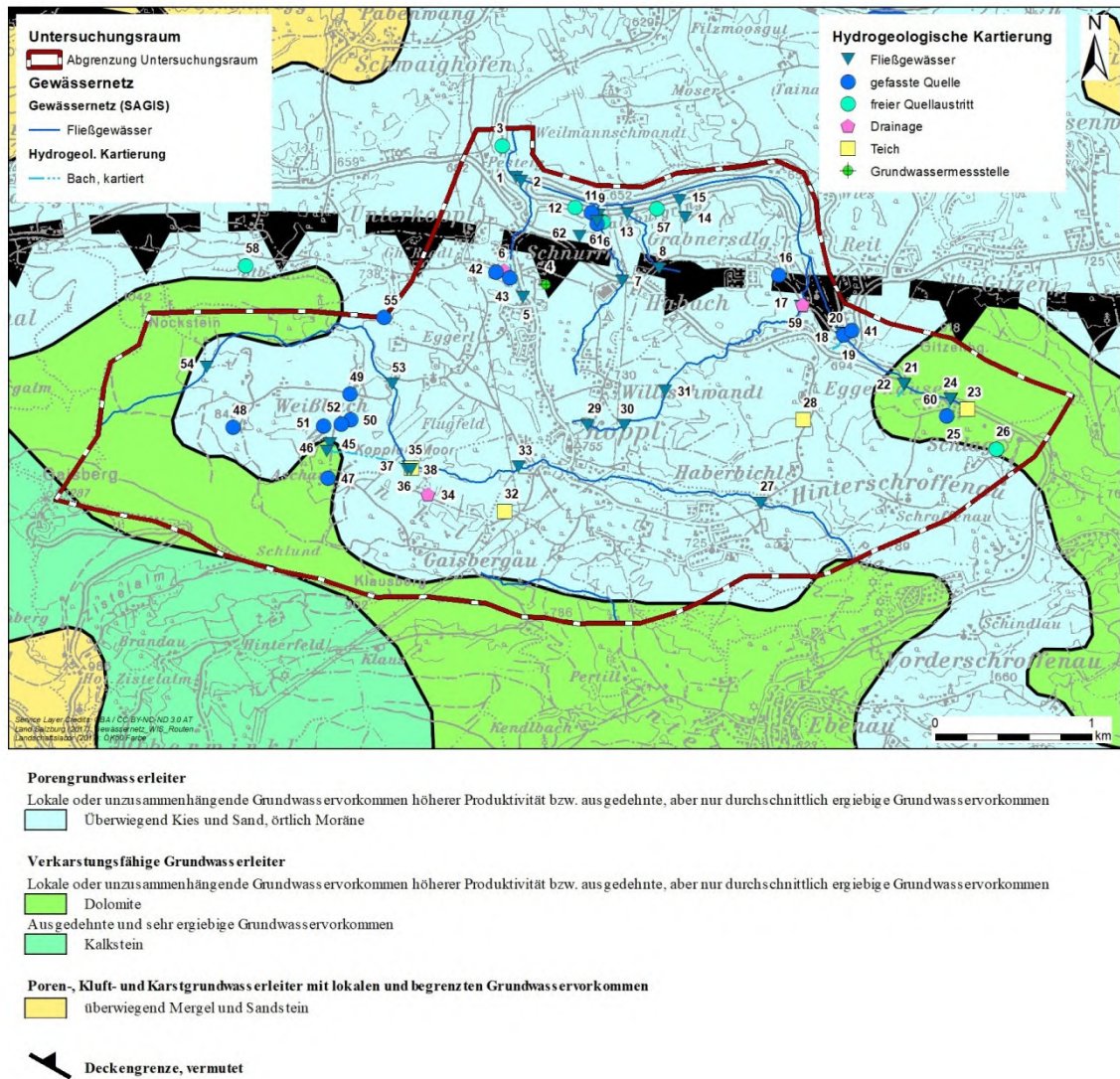


Abbildung 71: Ausschnitt aus der Hydrogeologischen Karte mit Aquifertypen inkl. tektonischer Grenze, Maßstab 1:500.000 (GBA (2015)) mit Lage der Messorte gemäß hydrogeologischer Kartierung

Im Zuge der Variogrammanalyse wurden mit dem „Geostatistical Analyst“ Trends in den Faktoren 1 und 3 festgestellt. Diese könnten jedoch auf lokale Ausreißer zurückzuführen sein (die Datensätze sind nicht alle normalverteilt und weisen Extremwerte auf). Aufgrund dieser Unsicherheit wurde auf eine Modellanpassung hinsichtlich Trend und Anisotropie verzichtet. Weiterführende Untersuchungen (siehe Kapitel 6) sollten dies bei der Auswahl der Messorte und Analysen berücksichtigen.

Generell zeigte sich, dass der hydrochemische Datensatz der Analyse von Dezember 2018 sowie die Datensätze der el. Leitfähigkeit für Juli und Dezember 2018 die Eignungsbedingungen nach GRAMS (2000) nicht oder nur bedingt erfüllen. Wie in Kapitel 3.4.3.4 beschrieben, sind die minimalen Einflussradien der Stützpunkte mit 800 m bzw. 1.000 und 1.200 m nicht optimal, sondern müssten bei den vorliegenden Range-Werten deutlich niedriger angesetzt werden, die Anzahl der Stützpunkte erhöht oder die Vertei-

lung optimiert werden. Des Weiteren sind die Nuggetanteile teilweise sehr hoch. Unter der Voraussetzung, dass Probenahme und Analyse im Labor fehlerfrei durchgeführt wurden, zeigen sich kleinräumige Variationen im Grundwasserchemismus. Diese repräsentieren die unterschiedlichen Fließwege des Grundwassers durch die komplexe Geologie und damit unterschiedliche Mineralienlösungen.

Abschließend werden die einleitend aufgestellten operativen Fragen betrachtet:

- *Gibt es im Untersuchungsgebiet Grund- und/oder Karstwasser aus dem Bereich des Gaisbergs oder sind die angetroffenen Wässer eher durch Niederschläge beeinflusst? Lassen sich Rückschlüsse auf die geologische Herkunft ableiten?*

Basierend auf den hydrochemischen Analysen, der Auswertung der Bohrprofile und Verteilung der Parameter im Untersuchungsraum werden die Grund- und Fließgewässer durch die Kalke und Hauptdolomite des Gaisberg, Klausberg und Gitzenberg beeinflusst. Dies zeigt sich an den hohen Anteilen Calcium, Magnesium und Hydrogencarbonat. Es dürfte sich, auch ausgehend von der Geologie, um lokale, nicht zusammenhängende Grundwasserkörper handeln bzw. durchfließen versickernde Wässer über oberflächennah liegende Klüfte das Moränenmaterial und treten in diesem wieder aus. Niederschlagswässer gelangen über Oberflächengewässer (Teiche, Versickerungstrecken in Fließgewässern) in den Wasserkreislauf und versickern hier oder werden den Fließgewässern zugeführt. Es kommt zu Verdünnungseffekten der mittel bis hoch mineralisierten Wässer. Eine Versickerung über die bindigen Böden kann erfolgen, solange diese nicht wassergesättigt sind.

- *Lassen sich die angetroffenen Wässer hydrogeologisch charakterisieren und über die Charakterisierung eine Aussage über Herkunft und Fließrichtung machen?*

Die angetroffenen Wässer lassen sich als erdalkalisch-carbonatisch einstufen und weisen mit den hohen Anteilen an Calcium, Magnesium und Hydrogencarbonat auf Einzugsgebiete in den Nördlichen Kalkalpen hin. Des Weiteren ist in den Wintermonaten ein anthropogener Einfluss durch Streusalze zu beobachten. Dieser Einfluss ist jedoch nur für die unmittelbare Straßennähe gegeben. Es findet eine rasche Verdünnung mit geringer mineralisierten Wässern statt, der Einfluss ist stromabwärts nicht nachverfolgbar.

- *Welche Aussagen können mittels geostatistischer Verfahren zur Grundwasserbeschaffenheit getroffen werden?*

Die deskriptive und explorative Statistik liefern einen guten ersten Überblick über die Verteilung der Parameter. Mithilfe der Hauptkomponentenanalyse lassen sich die beobachteten einzelnen Parameter und Phänomene in neuen Faktoren zusammenfassen. Diese helfen beim einfacheren Verständnis der Zusammenhänge der Parameter. Gerade die Hauptkomponentenanalyse kann aber nur als ergänzendes Verfahren genutzt werden, es ist ein hohes hydrogeologisches Verständnis für die Zusammenhänge und Auswertung nötig. Die darauf aufbauende Variographie setzt für

verwertbare und belastbare Aussagen einen geeigneten Datensatz und eine optimale Verteilung der Stützpunkte voraus. Ist dies nicht gegeben, lassen sich zwar erste anschauliche Prediction Maps generieren. Diese weisen jedoch einen hohen Schätzfehler auf.

- *Sind die punktuell gesammelten Daten und Gegebenheiten im Gelände ausreichend, um mittels geostatistischer Verfahren eine belastbare Aussage treffen zu können?*

Im vorliegenden Fall zeigte sich, dass im südlichen Untersuchungsbereich die Anzahl und Verteilung der Stützpunkte noch zu optimieren ist, um hier Lücken zu schließen. Dafür waren Anzahl und Verteilung im nördlichen Untersuchungsraum überdurchschnittlich hoch. Dies brachte aber aufgrund der kleinräumigen hydrochemischen Variabilitäten keinen Vorteil. Im Gegenteil wurde hierdurch der Nuggeteffekt erhöht. Für zukünftige Untersuchungen sollte das Messstellen- und Beprobungsnetz angepasst werden. Beispielsweise könnten im nördlichen Untersuchungsraum neben den Fließgewässern nur einzelne Quellen beprobt werden. Im Gegensatz dazu könnte die Stützpunktedichte im südlichen Untersuchungsraum erhöht werden, in dem beispielsweise zusätzliche Messorte am Rettenbach-Weißenbach definiert werden, die beiden Gemeindequellen in Koppl in die Probennahme und Analytik integriert werden und eventuell die privaten Quellen in Hinterschroffenau bzw. zwischen Gaisbergau und Koppl erfasst und beprobt werden. Nach Möglichkeit sollten in einer flächendeckenden Kartierung weitere Hausbrunnen und Quellen erfasst, einmalig zu hydrogeologischen Charakterisierung analysiert und anschließend ausgewählte Messstellen in ein regelmäßiges Messprogramm übernommen werden. Im Zuge der Kartierung sollte der Zugang zu Tiefenbohrungen (Wärmepumpenanlagen, etc.) geprüft werden und diese ebenfalls ins Messprogramm integriert werden.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Komplexität der Geologie im Untersuchungsraum und die damit zusammenhängenden hydrochemischen, kleinräumig variablen Prozesse. Des Weiteren war der Zugang nicht zu allen Messorten direkt gegeben, es wurden lediglich Überläufe gemessen bzw. war der Zugang teilweise gar nicht möglich. Das Messprogramm sollte hinsichtlich der zu analysierenden Parameter geprüft werden. Es sollten jedenfalls unterschiedlich Wasser- und Abflussverhältnisse untersucht werden, d. h. mehrere Analysen im Jahresverlauf, optimalerweise sollten mindestens ein Niedrig- und ein Hochwasserabfluss erfasst werden. Unterstützend wäre eine Beprobung direkt nach einem Starkniederschlagsereignis sinnvoll. Basierend auf den Analysen und der geostatistischen Auswertung lassen sich mittels Variographie, experimentellen Semivariogrammodellen und weiteren Kriging-Interpolationen bzw. unterschiedlichen Kriging-Verfahren weitere Aussagen zu Herkunft, Fließverhalten und Verweilzeiten der Wässer im Untersuchungsraum treffen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf der 2017-2018 durchgeführten hydrogeologischen Kartierung wurden Messorte für eine kontinuierliche Beobachtung (2-monatlich) der Vor-Ort-Parameter und hydrochemische Probenahmen definiert. Die Vor-Ort-Messungen und Erhebungen im Baugrundkataster Salzburg (LAND SALZBURG) deuteten auf lokale Hangwässer hin. Aus der deskriptiven und explorativen Statistik ließen sich bereits erste Erkenntnisse zu den Einzugsgebieten ableiten. Der Einfluss von Kalksteinen und Hauptdolomit äußert sich in erhöhten Calcium-, Magnesium- und Hydrogencarbonat-Werten. Ein anthropogener Einfluss zeigt sich an erhöhten Natrium- und Chloridwerten und dürfte auf Streusalzeinträge zurückzuführen sein.

Basierend auf der Analytik von Dezember 2018 wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Aus dieser ergaben sich drei neue Faktoren (Hauptkomponenten), die in Summe rund 77 % der Varianz im Datensatz erklären. Die erste Hauptkomponente fasst dabei die wesentlichen hydrochemischen Parameter hinsichtlich Einzugsgebiet in den Gesteinen der Nördlichen Kalkalpen zusammen: Calcium und Hydrogencarbonat, in Kombination mit den von diesen abhängigen Parametern el. Leitfähigkeit, Gesamthärte und Carbonathärte. Die zweite Hauptkomponente gibt einen Einblick in die anthropogene Beeinflussung im Bereich Koppl (Streusalz). Die dritte Hauptkomponente verdeutlicht Bereiche mit verstärktem Einzugsgebiet im Hauptdolomit durch erhöhte Magnesiumwerte.

Die Faktorwerte der drei Hauptkomponenten wurden anschließend als Grundlage für die Anpassung experimenteller Variogrammodelle herangezogen. Dabei zeigte sich, dass bei den drei Faktoren unterschiedliche Modelltypen gute Ergebnisse liefern. Die in der Auswertung der Hydrochemie beschriebenen Verteilungen ließen sich gut nachbilden. Die Qualitätskriterien Mean, RMS, ASE und RMSS konnten erfüllt werden.

Die Beurteilung des Datensatzes nach GRAMS (2000) zeigte jedoch, dass der Datensatz aufgrund der geringen Messstellendichte vor allem im südlichen Untersuchungsgebiet nicht geeignet ist für Variographie bzw. Kriging. Des Weiteren dürften aufgrund der komplexen Geologie nur kleinräumige Grundwasservorkommen vorliegen. Die hydrochemischen Prozesse ändern sich sehr kleinräumig und führen so zu einer starken Varianz im Datensatz auf kurzen Entfernungen. Dies zeigte sich an den hohen Nuggetanteilen.

Aus der Bearbeitung ergeben sich folgende Empfehlungen für künftige Projektabschnitte zur detaillierteren Untersuchung des Gebiets Koppl:

- Durchführung einer flächendeckenden Erhebung der privaten und öffentlichen Nutzungen, nach Möglichkeit auch der Erdwärmesonden und Tiefenbrunnen

soweit baulich ein Zugang möglich ist, um die Dichte des Messstellennetzes zu erhöhen. Dies betrifft vorrangig den südlichen Untersuchungsraum. Durch die Erweiterung werden sowohl die Anzahl der Stützpunkte für das Kriging erhöht als auch kleinräumige chemische Prozesse und Änderungen besser erfasst.

- Kontinuierliche, engmaschige Messungen der Vor-Ort-Parameter, mindestens monatlich oder kürzer, über einen längeren Zeitraum. Die Auswertung kann einen ersten Ansatz über den Einfluss oberflächennaher Wässer geben.
- Flächendeckende Beprobung und Analyse aller Nutzungen und Fließgewässer. Dabei sollte auch auf die Erfassung unterschiedlicher Wasserstände (Niedrigwasser, Hochwasserabfluss, Starkregenereignisse) geachtet werden. Basierend auf diesen Daten eine erneute Durchführung der Hauptkomponentenanalyse und Verfeinerung der neuen Faktoren, auch im Hinblick auf jahreszeitliche Unterschiede.
- Erweiterung des Analytikumfangs, z. B. Eisen, Mangan, Phosphat. Dafür müsste bei den Probenahmen auf Filtration vor Ort und Stabilisierung der Proben (z. B. mittels Ansäuern) geachtet werden.
- Analyse und Auswertung von stabilen Wasserisotopen (Sauerstoff-18, Deuterium): hieraus lässt sich das Einzugsgebiet sowie die Verweildauer der Wässer im Untergrund mehr eingrenzen.
- Unter Einbezug der gemessenen Niederschläge (durch das Landschaftslabor) könnte versucht werden, wie schnell und stark die Schüttungen der Quellen und Abflüsse der Fließgewässer mit Regenereignissen korrelieren (response time).
- Zur Verfeinerung der Versickerungsstrecken und Rückschluss auf Störungszonen und Kluftgrundwasser könnten groß angelegte Tracerversuche mit kontinuierlichen Aufzeichnungen an strategischen Stellen durchgeführt werden.
- Für die Hauptkomponentenanalyse könnten auch nicht-chemische Parameter, z. B. Geologie, Niederschlag, Boden, Klüftigkeit, einbezogen werden. Hierfür könnten die entsprechenden Daten klassifiziert und in eine Nominalskala umgewandelt werden. Durch Umwandlung der Nominalskala in eine metrische Skala könnten diese Daten, gewichtet oder ungewichtet, in die Analyse integriert werden.
- Hinsichtlich Regionalisierung und flächiger Darstellung der Daten könnten andere Interpolationsverfahren untersucht werden, z. B. Cokriging. Hierbei wird die Kovarianz zwischen zwei und mehr verwandten regionalen Variablen verwendet. Cokriging eignet sich, um Sekundärinformationen in die Regionalisierung einzubeziehen.

## 7 Literatur

- ABOU ZAKHEM, B., AL-CHARIDEH, A. & KATTAA, B. (2017), Using principal component analysis in the investigation of groundwater hydrochemistry of Upper Jezireh Basin, Syria. In: Hydrological Sciences Journal, 62 (14), 2266–2279, doi: 10.1080/02626667.2017.1364845.
- AUINGER, G. & BLATTERER, H. (2016), Mondsee Phosphor-Situation & Bilanzierung. Sonderuntersuchungsprogramm 2016. Gewässerschutzbericht Nr. 48.
- BRAUNSTINGL, R., PESTAL, G. & HEJL, E. (2005), Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. Geolog. Bundesanstalt, Wien.
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT, Österreichische Bodenkarte. Digitale Bodenkarte (eBOD).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW)), BGBl II Nr. 98/2010 idgF. QZV Chemie GW.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV)), BGBl II Nr. 479/2006 idgF. Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), Hydrochemische Karte Österreichs.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR SOZIALE SICHERHEIT UND GENERATIONEN, Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung (TWV)), BGBl II Nr. 304/2001 idgF. Trinkwasserverordnung (TWV).
- BUNDESMINISTERIUMS FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017), Hydrochemische Karte Österreichs.
- BUNDESRECHT, Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 – UVP-G 2000) StF: BGBl. Nr. 697/1993 (NR: GP XVIII RV 269 AB 1179 S. 131. BR: 4639 AB 4624 S. 574.). UVP-G 2000.

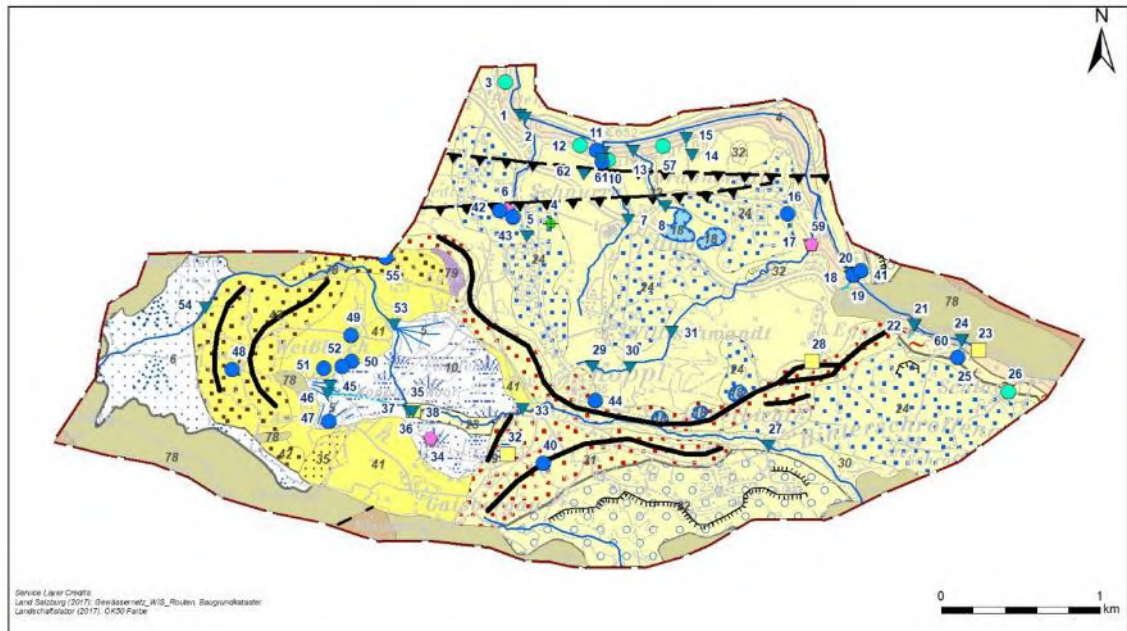
- CHEN, T., ZHANG, H., SUN, C., LI, H. & GAO, Y. (2018), Multivariate statistical approaches to identify the major factors governing groundwater quality. In: *Applied Water Science*, 8 (7), 2439, doi: 10.1007/s13201-018-0837-0.
- CLEFF, T. (2015), *Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse*. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- COSTELLO, A. B. & OSBORNE, J. (2005), Best practices in exploratory factor analysis: four recommendations for getting the most from your analysis. In: *Practical Assessment, Research, and Evaluation* (10 (Article 7)).
- DEL-NEGRO, W. (1979), *Erläuterungen zur Geologischen Karte der Umgebung der Stadt Salzburg 1:50.000*. Geolog. Bundesanstalt, Wien.
- DIERSCHKE, H. & BRIEMLE, G. (2008), *Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren ; 20 Tabellen*. Ulmer, Stuttgart.
- DVWK (1992), *Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwassermessstellen (128)*. Verlag Paul Parey, Bonn.
- EGGER, H. & VAN HUSEN, D. (2003), *Erläuterungen zu Blatt 64 Strasswalchen*, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Richtlinie 91/676/EWG.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; idgF. Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).
- FIELD, A. (2013), *Discovering statistics using IBM SPSS statistics. And sex and drugs and rock 'n' roll*. Sage, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC.
- FUCHS, K., HACKER, W. & PINTERITS, S. (2007), Raumeinheit Attersee-Mondsee-Becken. In: *Natur und Landschaft / Leitbilder für Oberösterreich*, 12 (Attersee-Mondsee-Becken), 91.
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H. R. (1967), Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. In: *Mem. IAH-Congress 1965, Hannover*, 86–96.
- GBA, *Geologische Karte 1:50.000. Blatt 64 Straßwalchen*. Geologische Bundesanstalt.
- GBA (2015), *Hydrogeologische Karte 1:500.000*. Geologische Bundesanstalt, Wien.

- GOOVAERTS, P. (1997), *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford Univ. Press, New York.
- GORSUCH, R. L. (1983), *Factor analysis*. Richard L. Gorsuch. L. Erlbaum Associates, Hillsdale, N.J.
- GRAMS, S. (2000), *Einsatz geostatistischer Verfahren zur Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit im Bereich der Rieselfelder südlich Berlins*. Berlin, Technische Universität, Dissertation.
- GRIMMELMANN, W. (1997), *Hydrogeologische Kartieranleitung*. Mit 6 Tabellen und 10 Anlagen. Schweizerbart, Stuttgart.
- GUILFORD, J. P. (1954), *Psychometric Methods*. McGraw-Hill, New York.
- GUTTMAN, L. (1954), Some necessary conditions for common-factor analysis. In: *Psychometrika*, 19 (2), 149–161, doi: 10.1007/BF02289162.
- HARTAS, D. (Hrsg.) (2010), *Educational research and inquiry. Qualitative and quantitative approaches*. Bloomsbury, London.
- HOBIGER, G., HASLINGER, E. & KLEIN, P. (2018), *GEOHINT – Hydrochemische geogene Hintergrundwerte der Grundwässer in Österreich*.
- HOFSTÄTTER M., MATULLA C., WANG J. & WAGNER S. (2010), *PRISK-CHANGE. Veränderung des Risikos extremer Niederschlagsereignisse als Folge des Klimawandels*. Projektbericht, Wien.
- HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. G. (2013), *Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- HUBER, M. (2015), *Erfassung, Dimensionierung und Gestaltung von Gewässerrandstreifen im Mondsee-einzugsgebiet*. Thesis. University of Salzburg, Salzburg.
- HÜTTL, R. F. & BENS, O. (2012), *Georessource Wasser - Herausforderung globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- JONGMAN, B., HOCHRAINER-STIGLER, S., FEYEN, L., AERTS, J. C. J. H., MECHLER, R., BOTZEN, W. J. W., BOUWER, L. M., PFLUG, G., ROJAS, R. & WARD, P. J. (2014), Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. In: *Nature Climate Change*, 4 (4), 264–268, doi: 10.1038/NCLIMATE2124.
- KAISER, H. F. (2016), The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. In: *Educational and Psychological Measurement*, 20 (1), 141–151, doi: 10.1177/001316446002000116.
- KLUG, H. & HUBER, M. (2015), *GIS- und Fernerkundungs-basiertes Model zur Erfassung und Dimensionierung von Gewässerrandstreifen im Mondsee-einzugsgebiet*. In:

- STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. & ZAGEL, B. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2015, Beiträge zum 27. AGIT-Symposium in Salzburg*. Wichmann, Salzburg, 78–87.
- KLUG, H., KMOCH, A. & JUHASZ, C. (2014), Drahtlose Echtzeitanalysen von Phosphorausträgen bei klimatischen Extremereignissen. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. & ZAGEL, B. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2014, Beiträge zum 26. AGIT-Symposium in Salzburg*. Wichmann, Salzburg, 548–557.
- KLUG, H. & OANA, L. (2015), A Multi-purpose Weather Forecast Model for the Mondsee Catchment. In: *GI\_Forum*, 1, 600–609, doi: 10.1553/giscience2015s600.
- KRALIK M., ZIERITZ I., GRATH J., VINCZE, G., PHILIPPITSCH, R., PAVLIK, H. (2005), Hydrochemische Karte Österreichs. Oberflächennaher Grundwasserkörper und Fließgewässer. Mittelwerte von Wassergüteerhebungsdaten (WGEV-Daten) 1991-2001.
- KRIGE, D. G. (1951), A Statistical Approach to some basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand. In: *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Africa* (52 (6)), 119–139.
- KUNKEL, R., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. & HANNAPPEL, S. (2004), Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland.
- LAND SALZBURG, SAGIS. Salzburger Geographisches Informationssystem. Wasserbuch, Baugrundkataster.
- LITTLE, T. D. (Hrsg.) (2013), *The Oxford handbook of quantitative methods*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- MACCALLUM, R. C., WIDAMAN, K. F., ZHANG, S. & HONG, S. (1999), Sample size in factor analysis. In: *Psychological Methods*, 4 (1), 84–99, doi: 10.1037/1082-989X.4.1.84.
- MATHERON, G. (1963), Principles of Geostatistics. In: *Economic Geology* (58), 1246–1266.
- MATTHEß, G. (2009), *Die Beschaffenheit des Grundwassers*. Borntraeger, Berlin.
- MÖHRING, W. & SCHLÜTZ, D. (2013), *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft*. Springer VS, Wiesbaden.
- PEDHAZUR, E. J. & SCHMELKIN, L. P. (2013), *Measurement, Design, and Analysis. An Integrated Approach*. Taylor and Francis, Hoboken.
- PIPER, A. M. (1944), A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. In: *Transactions, American Geophysical Union*, 25 (6), 914, doi: 10.1029/TR025i006p00914.

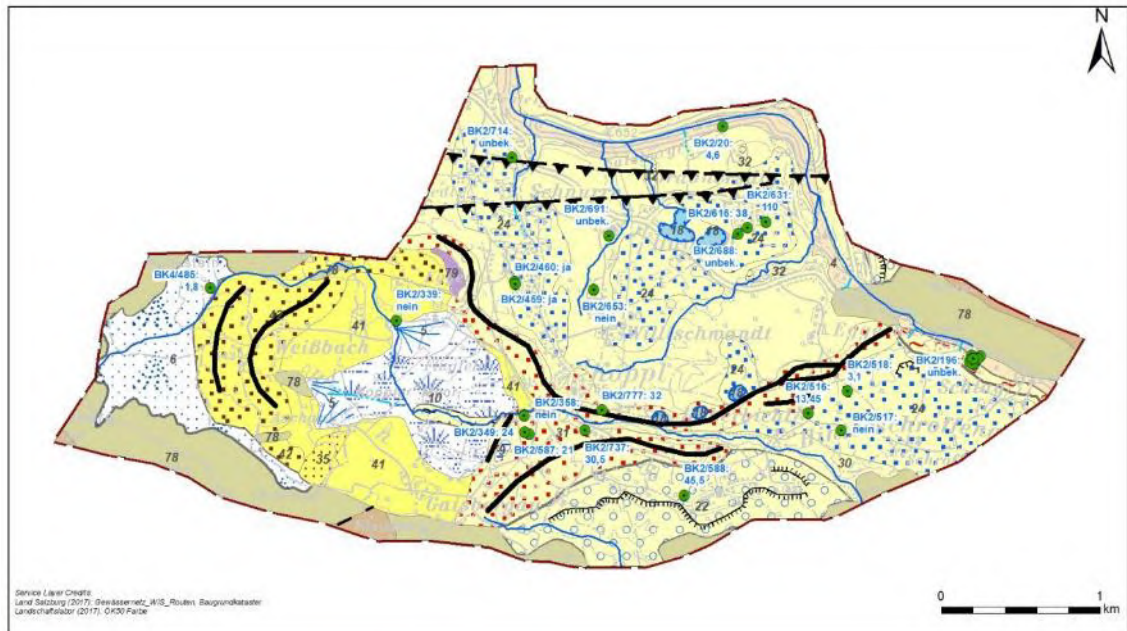
- PREY, S. (1969), Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg : Zusammen-  
druck der Österreichischen Karte 1:50 000, Bl. 63 Salzburg, 64 Straßwalchen, 93  
Berchtesgaden, 94 Golling. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SALZBURGWIKI, [https://www.sn.at/wiki/Koppler\\_Moor](https://www.sn.at/wiki/Koppler_Moor).  
[https://www.sn.at/wiki/Koppler\\_Moor](https://www.sn.at/wiki/Koppler_Moor).
- SCHAFMEISTER, M.-T. (1999), Geostatistik für die hydrogeologische Praxis. Springer  
Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- SCHUMACKER, R. E. (2016), Using R with multivariate statistics. Sage, Los Angeles.
- SEIBERT, P., FRANK, A. & FORMAYER, H. (2007), Synoptic and regional patterns of hea-  
vy precipitation in Austria. In: Theoretical and Applied Climatology, 87 (1-4), 139–  
153, doi: 10.1007/s00704-006-0198-8.
- SHYU, G.-S., CHENG, B.-Y., CHIANG, C.-T., YAO, P.-H. & CHANG, T.-K. (2011),  
Applying factor analysis combined with kriging and information entropy theory for  
mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. In:  
International journal of environmental research and public health, 8 (4), 1084–1109,  
doi: 10.3390/ijerph8041084.
- STADTGEMEINDE SALZBURG (2019), Statistisches Jahrbuch der Landeshauptstadt Salz-  
burg 2019. Salzburg in Zahlen 5/2019.
- STRAUSS, P. & STAUDINGER, B. (2007), Berechnung der Phosphor- und Schwebstoff-  
frachten zweier Hauptzubringer (Zellerache, Fuschlerache) des Mondsees. In:  
Schriftenreihe BAW (26), 18–33.
- TABACHNICK, B. G. & FIDELL, L. S. (2014), Using multivariate statistics. Pearson Edu-  
cation, Harlow, Essex.
- TOBLER, W. R. (1970), A computer movie simulating urban growth in the Detroit regi-  
on. In: Proceedings // International Geographical Union, Commission on Quantitati-  
ve Methods, 46 (2), 234–240.
- URDAN, T. C. (2010), Statistics in plain English. Routledge, New York.
- WISOTZKY, F. (2011), Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeo-  
chemische Modellierung. Grundlagen, Anwendungen und Problemlösungen. Sprin-  
ger, Berlin, Heidelberg.
- ZAMG (2015-2018), Klima aktuell, KLimamonitoring.  
[https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-  
aktuell/klimamonitoring/?param=t&period=period-ymd-2020-02-18&ref=3](https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/?param=t&period=period-ymd-2020-02-18&ref=3).

## Anhang 1 Geologische Übersichtskarte mit Messorten der hydrogeologischen Kartierung



- Untersuchungsraum**
- Abgrenzung Untersuchungsraum
- Gewässernetz**
- Fließgewässer
  - Bach, kartiert
- Hydrogeologische Kartierung**
- Fließgewässer
  - gefasste Quelle
  - freier Quellaustritt
  - Drainage
  - Teich
  - Grundwassermessstelle
- Geologie**
- Quartär**
- 4: Jüngste Flussablagerung, Wildbachschutt
  - 5: Schwemmkegel
  - 6: Hangschutt
  - 9: Vernässung
- Quartär (Wurm)**
- 10: Moor
  - 18: Toteisloch
  - 22: Staukörper am Eisrand, Eisrandterasse (Bänderschluft, Sand, Kies)
  - 23: Seeton, Bänderton
  - 24: Kame
  - 30: Grundmoräne mit Drumlin
  - 31: Endmoräne mit Wall
  - 32: Vorstoßschotter
  - 33: Schluffe des Eisaufbaues
- Quartär (Riss)**
- 35: Os
  - 41: Grundmoräne
  - 42: Endmoräne mit Wall
- Nördliche Kalkalpen**
- 77: Dachsteinkalk/Plattenkalk (dickbankiger hellgrauer Kalk, manchmal mit Einschaltung von Dolomitbänken)
  - 78: Hauptdolomit (brauner, meist gut gebankter Dolomit)
  - 79: Opponitz-Formation (dünnbankiger, eben geschichteter Kalk)
- 18 Toteisloch**
- 31 Endmoränenwall**
- Erosionskante**
- Kiesgrube**
- Störung, vermutet**
- Überschiebungsfläche, vermutet**

## Anhang 2 Geologische Übersichtskarte mit Wasserständen aus Bohrprofilen (Baugrundkataster (LAND SALZBURG))



### Untersuchungsraum

Abgrenzung Untersuchungsraum

### Gewässernetz

Fließgewässer

Bach, kartiert

### Baugrundkataster

Erkundung (Wasserstand in [m])

### Geologie

#### Quartär

- 4: Jüngste Flussablagerung, Wildbachschutt
- 5: Schwemmkegel
- 6: Hangschutt
- 9: Vernässung
- 10: Moor

### Quartär (Würm)

- 18: Toteloich
- 22: Staukörper am Eisrand, Eisrandterrasse (Bänderschluft, Sand, Kies)
- 23: Seeton, Bänderton
- 24: Kame
- 30: Grundmoräne mit Drumlin
- 31: Endmoräne mit Wall
- 32: Vorstoßschotter
- 33: Schluffe des Eisaufbaues

### Quartär (Riss)

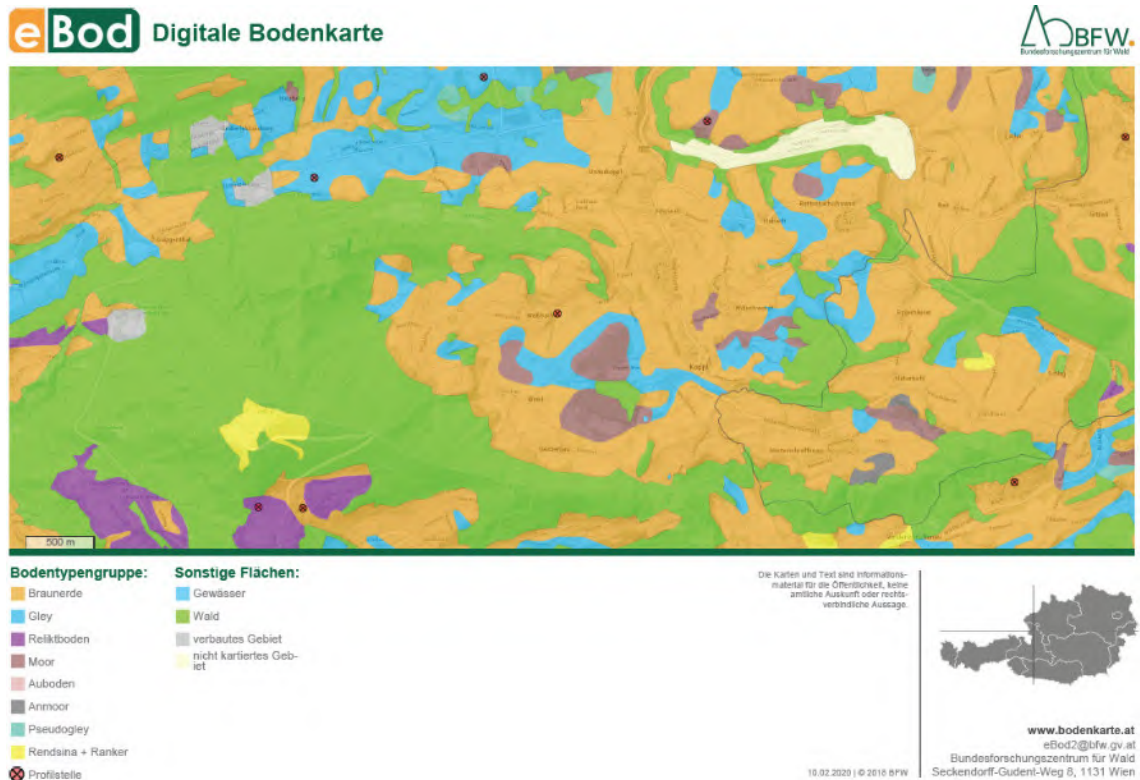
- 35: Os
- 41: Grundmoräne
- 42: Endmoräne mit Wall

### Nördliche Kalkalpen

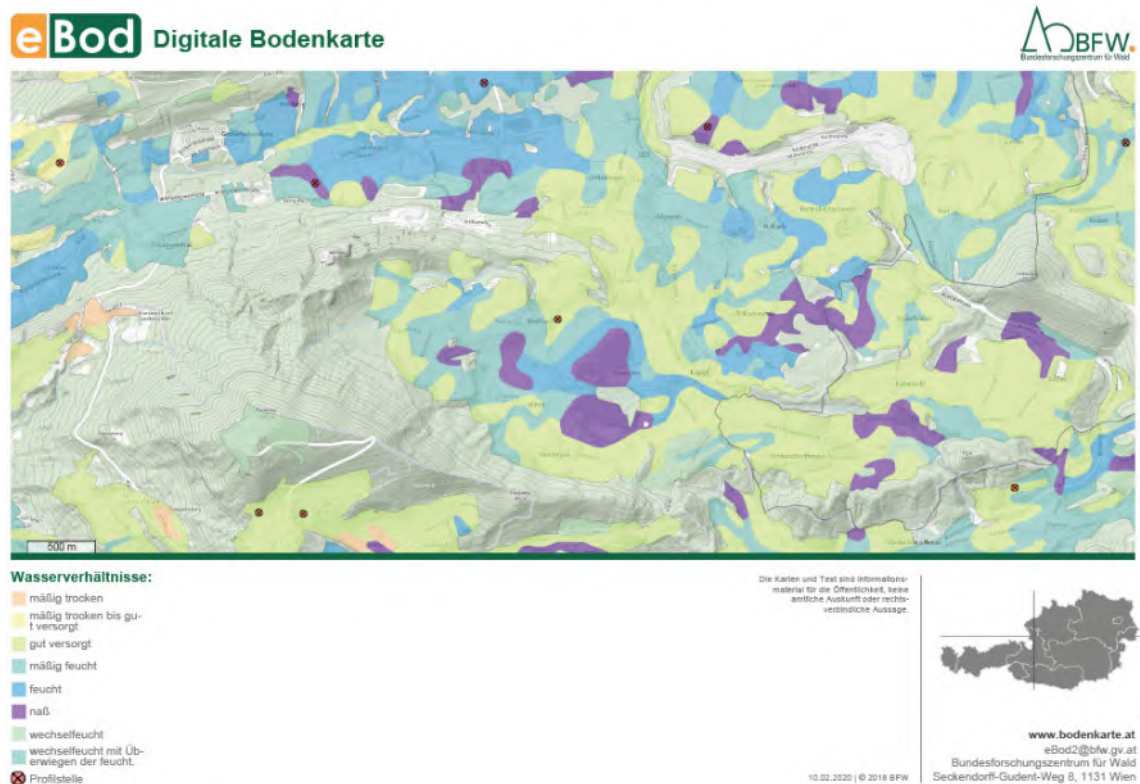
- 77: Dachsteinkalk/Plattenkalk (dickbankiger hellgrauer Kalk, manchmal mit Einschaltung von Dolomitbänken)
- 78: Hauptdolomit (brauner, meist gut gebankter Dolomit)
- 79: Opponitz-Formation (dünnbankiger, eben geschichteter Kalk)
- 18 Toteloich
- 31 Endmoränenwall
- Erosionskante
- Kiesgrube
- Störung, vermutet
- Überschiebungsfläche, vermutet

## Anhang 3 Auszüge aus der Digitalen Bodenkarte eBod

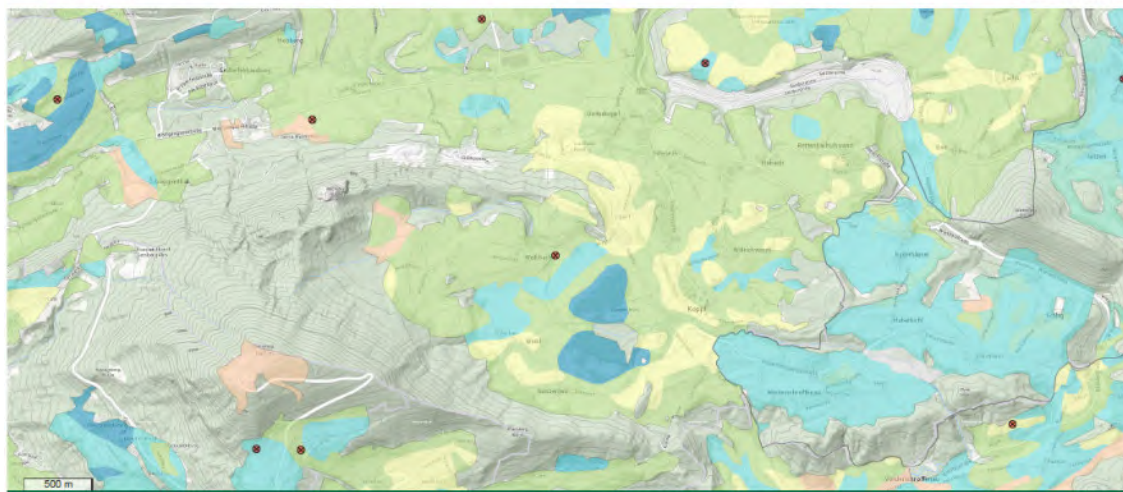
### a) Bodentypen



### b) Wasserverhältnisse



## c) Durchlässigkeiten

**eBod** Digitale Bodenkarte**BFW**  
Bundesforschungsanstalt für Wald  
und Landschaftspflege**Durchlässigkeit:**

- nicht beschrieben
- sehr gering
- sehr gering bis gering
- gering
- gering bis mäßig
- mäßig
- mäßig bis hoch
- hoch
- ⊗ Profilstelle

Die Karten und Text sind Informationsmaterial für die Orientierung, keine amtliche Auskunft oder rechtsverbindliche Aussage.



[www.bodenkarte.at](http://www.bodenkarte.at)  
eBod2@bfw.gv.at  
Bundesforschungszentrum für Wald  
Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien

10.02.2020 | © 2018 BFW

## Anhang 4 Vor-Ort-Messungen

| Nr. | Name                       | Messort | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q [l/s] | el. LF [ $\mu$ S/cm] | T [°C] | Anmerkungen      |
|-----|----------------------------|---------|-----|---------|---------|------------|---------|----------------------|--------|------------------|
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 25.09.2017 | 63,85   | 495                  | 12,4   |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 19.11.2017 |         | 711                  | 4,6    | Q n.mb.          |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 02.12.2017 |         | 540                  | 3,5    | Q n.mb.          |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 13.01.2018 | 40,00   | 530                  | 4,6    |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 17.02.2018 | 176,98  | 540                  | 3,7    |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 15.04.2018 | 23,32   | 520                  | 10,3   |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 28.07.2018 | 10,97   | 463                  | 18,5   |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 16.09.2018 | 49,77   | 502                  | 14,8   |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 20.10.2018 | 11,18   | 528                  | 9,8    |                  |
| 1   | Plainfelderbach            | MO1     | F   | 436466  | 298348  | 08.12.2018 | 161,00  | 438                  | 6,5    |                  |
| 18  | Plainfelderbach            | MO2     | F   | 438549  | 297351  | 13.01.2018 |         | 515                  | 5,8    | Q n.mb.          |
| 18  | Plainfelderbach            | MO2     | F   | 438549  | 297351  | 15.04.2018 |         | 520                  | 9,4    | Q n.mb.          |
| 18  | Plainfelderbach            | MO2     | F   | 438549  | 297351  | 16.09.2018 | 0,25    | 600                  | 13,4   |                  |
| 18  | Plainfelderbach            | MO2     | F   | 438549  | 297351  | 20.10.2018 | 0,00    |                      |        | trocken          |
| 18  | Plainfelderbach            | MO2     | F   | 438549  | 297351  | 08.12.2018 | 4,00    | 466                  | 5,4    |                  |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 02.12.2017 |         | 512                  | 5,1    | Q n.mb.          |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 13.01.2018 |         | 553                  | 6,8    | Q n.mb.          |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 17.02.2018 |         | 517                  | 5,2    | Q n.mb.          |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 15.04.2018 |         | 475                  | 10,1   | Q n.mb.          |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 28.07.2018 |         | 472                  | 15,8   | Q n.mb.          |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 16.09.2018 |         | 488                  | 13,5   | Q n.mb.          |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 20.10.2018 | 1,04    | 493                  | 10,6   |                  |
| 22  | Plainfelderbach            | MO3     | F   | 438949  | 297025  | 08.12.2018 | 7,00    | 499                  | 6,3    |                  |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 12.11.2017 |         | 409                  | 8,8    | Q n.mb.          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 02.12.2017 |         | 7650                 | 1,9    | Q n.mb.          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 13.01.2018 | 0,00    |                      |        | trocken          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 17.02.2018 | 0,00    |                      |        | trocken          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 15.04.2018 | 0,64    | 569                  | 10,1   |                  |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 28.07.2018 | 0,00    |                      |        | trocken          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 16.09.2018 | 0,00    |                      |        | trocken          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 20.10.2018 | 0,00    |                      |        | trocken          |
| 24  | Plainfelderbach            | MO4     | F   | 439251  | 296928  | 08.12.2018 |         |                      |        | stehendes Wasser |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 13.01.2018 | 4,58    | 610                  | 8,3    |                  |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 17.02.2018 | 5,41    | 601                  | 7,2    |                  |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 15.04.2018 | 2,21    | 574                  | 9,8    |                  |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 28.07.2018 | 1,31    | 559                  | 13,2   |                  |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 16.09.2018 | 1,28    | 577                  | 12,9   |                  |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 20.10.2018 | 1,55    | 564                  | 10,7   |                  |
| 60  | Plainfelderbach (Ursprung) | MO5     | F   | 439246  | 296929  | 08.12.2018 | 3,26    | 576                  | 8,6    |                  |

| Nr. | Name           | Messort | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q [l/s] | el. LF [ $\mu$ S/cm] | T [°C] | Anmerkungen              |
|-----|----------------|---------|-----|---------|---------|------------|---------|----------------------|--------|--------------------------|
| 9   | Habachergraben | MO1     | F   | 436990  | 298111  | 19.11.2017 | 1,16    | 550                  | 6,2    |                          |
| 9   | Habachergraben | MO1     | F   | 436990  | 298111  | 21.10.2018 | 5,00    | 582                  | 9,8    |                          |
| 9   | Habachergraben | MO1     | F   | 436990  | 298111  | 08.12.2018 | 20,00   | 541                  | 7,2    |                          |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 12.11.2017 | 5,60    | 383                  | 8,9    |                          |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 02.12.2017 |         | 631                  | 4,2    | Q n.mb.                  |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 13.01.2018 | 0,46    | 559                  | 4,6    |                          |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 17.02.2018 | 2,42    | 479                  | 4,8    |                          |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 15.04.2018 | 0,04    | 493                  | 10,6   |                          |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 28.07.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 16.09.2018 | 0,27    | 580                  | 15,5   |                          |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 20.10.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 7   | Habachergraben | MO2     | F   | 437147  | 297686  | 08.12.2018 | 0,70    | 451                  | 6,5    |                          |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 12.11.2017 | 5,50    | 355                  | 8,2    |                          |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 02.12.2017 |         | 625                  | 1,1    | Q n.mb.                  |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 13.01.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 17.02.2018 | 0,47    | 772                  | 2,2    |                          |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 15.04.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 28.07.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 16.09.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 20.10.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 19  | Kanal          | MO1     | F   | 438549  | 297326  | 08.12.2018 | 0,73    | 505                  | 6,1    |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 12.11.2017 | 50,00   | 329                  | 7,8    |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 02.12.2017 |         | 535                  | 2,8    | Q n.mb.                  |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 13.01.2018 | 8,46    | 547                  | 4,0    |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 17.02.2018 | 66,40   | 480                  | 3,4    |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 15.04.2018 | 8,17    | 542                  | 9,2    |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 28.07.2018 | 4,95    | 490                  | 17,3   |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 16.09.2018 | 21,67   | 451                  | 14,7   |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 20.10.2018 | 0,64    | 525                  | 10,6   |                          |
| 17  | Nesselgraben   | MO1     | F   | 438290  | 297525  | 08.12.2018 | 131,00  | 325                  | 5,9    |                          |
| 31  | Nesselgraben   | MO2     | F   | 437421  | 296980  | 26.09.2017 |         | 543                  | 12,2   | Q n.mb.                  |
| 30  | Nesselgraben   | MO3     | F   | 437158  | 296758  | 26.09.2017 |         | 637                  | 13,3   | Q n.mb.                  |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 02.12.2017 |         | 758                  | 7,9    | Q n.mb.                  |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 13.01.2018 | 5,00    | 692                  | 7,6    |                          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 17.02.2018 | 7,46    | 679                  | 5,6    |                          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 15.04.2018 | 0,87    | 704                  | 9,7    |                          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 28.07.2018 | 0,42    | 704                  | 14,3   |                          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 16.09.2018 | 0,74    | 667                  | 15,8   |                          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 20.10.2018 | 0,09    | 1283                 | 13,0   |                          |
| 29  | Nesselgraben   | MO4     | F   | 436923  | 296762  | 08.12.2018 | 5,00    | 610                  | 7,3    |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 25.09.2017 | 9,09    | 510                  | 12,7   |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 19.11.2017 |         | 735                  | 5,8    | Q n.mb.                  |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 02.12.2017 |         | 596                  | 4,2    | Q n.mb.                  |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 13.01.2018 | 9,80    | 531                  | 4,6    |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 17.02.2018 | 25,77   | 671                  | 4,2    |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 15.04.2018 | 4,00    | 541                  | 9,0    |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 28.07.2018 | 0,66    | 450                  | 19,0   |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 16.09.2018 | 12,42   | 508                  | 14,8   |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 20.10.2018 | 2,06    | 491                  | 10,8   |                          |
| 2   | Schnurmbach    | MO1     | F   | 436496  | 298326  | 08.12.2018 | 19,00   | 477                  | 7,1    |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 25.09.2017 | 0,35    | 537                  | 13,3   |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 02.12.2017 |         | 586                  | 5,6    | Q n.mb.                  |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 13.01.2018 | 1,60    | 523                  | 4,8    |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 17.02.2018 | 3,22    | 440                  | 3,8    |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 15.04.2018 | 0,03    | 496                  | 10,2   |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 28.07.2018 | 0,15    | 518                  | 19,6   |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 16.09.2018 | 0,58    | 531                  | 16,3   |                          |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 20.10.2018 | 0,00    |                      |        | trocken                  |
| 5   | Schnurmbach    | MO2     | F   | 436508  | 297583  | 08.12.2018 | 1,17    | 513                  | 7,8    |                          |
| 13  | Tiefenbach     | MO1     | F   | 437178  | 298118  | 19.11.2017 |         | 634                  | 6,4    | Q n.mb.                  |
| 13  | Tiefenbach     | MO1     | F   | 437178  | 298118  | 21.10.2018 | 2,77    | 536                  | 10,1   |                          |
| 13  | Tiefenbach     | MO1     | F   | 437178  | 298118  | 08.12.2018 | 20,00   | 523                  | 7,4    |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 12.11.2017 |         | 462                  | 9,3    | Q n.mb.                  |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 02.12.2017 |         | 621                  | 8,5    | Q n.mb.                  |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 13.01.2018 | 0,98    | 620                  | 7,7    |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 17.02.2018 | 15,30   | 596                  | 5,8    |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 15.04.2018 | 3,77    | 627                  | 9,2    |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 28.07.2018 | 0,10    | 628                  | 15,1   |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 16.09.2018 | 8,26    | 641                  | 14,2   |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 20.10.2018 | 1,60    | 644                  | 11,8   |                          |
| 8   | Tiefenbach     | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 08.12.2018 | 13,00   | 559                  | 8,6    | am Auslauf weißer Schaum |

| Nr. | Name                           | Messort | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q [l/s] | el. LF [ $\mu$ S/cm] | T [°C] | Anmerkungen |
|-----|--------------------------------|---------|-----|---------|---------|------------|---------|----------------------|--------|-------------|
| 15  | Feldbach                       | MO1     | F   | 437512  | 298200  | 21.10.2018 | 0,28    | 562                  | 10,3   |             |
| 15  | Feldbach                       | MO1     | F   | 437512  | 298200  | 08.12.2018 | 2,81    | 458                  | 7,3    |             |
| 14  | Feldbach                       | MO2     | F   | 437549  | 298094  | 21.10.2018 | 0,18    | 646                  | 11,7   |             |
| 14  | Feldbach                       | MO2     | F   | 437549  | 298094  | 08.12.2018 | 0,57    | 511                  | 8,2    |             |
| 61  | Waldbach                       | MO1     | F   | 436983  | 298068  | 21.10.2018 | 0,07    | 587                  | 10,4   |             |
| 61  | Waldbach                       | MO1     | F   | 436983  | 298068  | 08.12.2018 | 1,97    | 535                  | 7,5    |             |
| 62  | Waldbach                       | MO2     | F   | 436870  | 297973  | 08.12.2018 | 1,67    | 570                  | 8,6    |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 12.11.2017 | 5,96    | 343                  | 8,0    |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 02.12.2017 |         | 423                  | 2,2    | Q n.mb.     |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 13.01.2018 | 0,92    | 427                  | 3,5    |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 17.02.2018 | 1,61    | 398                  | 2,6    |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 15.04.2018 | 0,27    | 386                  | 9,5    |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 28.07.2018 | 0,19    | 393                  | 16,0   |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 16.09.2018 | 0,36    | 418                  | 14,0   |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 20.10.2018 | 0,10    | 407                  | 10,5   |             |
| 21  | seitl. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 08.12.2018 | 0,93    | 416                  | 5,9    |             |

| Nr. | Name                    | Messort | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q [l/s] | el. LF [µS/cm] | T [°C] | Anmerkungen              |
|-----|-------------------------|---------|-----|---------|---------|------------|---------|----------------|--------|--------------------------|
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 13.01.2018 | 0,98    | 620            | 7,7    |                          |
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 17.02.2018 | 15,30   | 596            | 5,8    |                          |
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 15.04.2018 | 3,77    | 627            | 9,2    |                          |
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 28.07.2018 | 0,10    | 628            | 15,1   |                          |
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 16.09.2018 | 8,26    | 641            | 14,2   |                          |
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 20.10.2018 | 1,60    | 644            | 11,8   |                          |
| 8   | Tiefenbach (MO2)        | MO2     | F   | 437381  | 297768  | 08.12.2018 | 13,00   | 559            | 8,6    | am Auslauf weißer Schaum |
| 15  | Feldbach                | MO1     | F   | 437512  | 298200  | 21.10.2018 | 0,28    | 562            | 10,3   |                          |
| 15  | Feldbach                | MO1     | F   | 437512  | 298200  | 08.12.2018 | 2,81    | 458            | 7,3    |                          |
| 14  | Feldbach                | MO2     | F   | 437549  | 298094  | 21.10.2018 | 0,18    | 646            | 11,7   |                          |
| 14  | Feldbach                | MO2     | F   | 437549  | 298094  | 08.12.2018 | 0,57    | 511            | 8,2    |                          |
| 61  | Waldbach                | MO1     | F   | 436983  | 298068  | 21.10.2018 | 0,07    | 587            | 10,4   |                          |
| 61  | Waldbach                | MO1     | F   | 436983  | 298068  | 08.12.2018 | 1,97    | 535            | 7,5    |                          |
| 62  | Waldbach                | MO2     | F   | 436870  | 297973  | 08.12.2018 | 1,67    | 570            | 8,6    |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 12.11.2017 | 5,96    | 343            | 8,0    |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 02.12.2017 |         | 423            | 2,2    | Q n.mb.                  |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 13.01.2018 | 0,92    | 427            | 3,5    |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 17.02.2018 | 1,61    | 398            | 2,6    |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 15.04.2018 | 0,27    | 386            | 9,5    |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 28.07.2018 | 0,19    | 393            | 16,0   |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 16.09.2018 | 0,36    | 418            | 14,0   |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 20.10.2018 | 0,10    | 407            | 10,5   |                          |
| 21  | Zufluss Plainfelderbach | MO1     | F   | 438951  | 297022  | 08.12.2018 | 0,93    | 416            | 5,9    |                          |

| Nr. | Name                           | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q [l/s] | el. LF [µS/cm] | T [°C] | Anmerkungen |
|-----|--------------------------------|-----|---------|---------|------------|---------|----------------|--------|-------------|
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 25.09.2017 | 0,250   | 407            | 13,2   |             |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 12.11.2017 | 0,444   | 507            | 10,8   |             |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 02.12.2017 |         | 445            | 6,4    | Q n.mb.     |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 13.01.2018 | 0,450   | 424            | 5,2    |             |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 17.02.2018 |         | 440            | 5,0    | Tropfwasser |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 15.04.2018 | 0,017   | 376            | 8,4    |             |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 28.07.2018 | 0,000   |                |        | trocken     |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 16.09.2018 | 0,470   | 529            | 13,5   |             |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 20.10.2018 | 0,016   | 410            | 10,7   |             |
| 3   | Murabgang                      | Q   | 436375  | 298553  | 07.12.2018 | 0,352   | 526            | 10,8   |             |
| 42  | Quelle Bahngruber              | Q   | 436337  | 297744  | 26.09.2017 |         | 548            |        | Q n.mb.     |
| 49  | Quelle Fuchsberger 1           | Q   | 435401  | 296962  | 20.10.2018 | 0,133   | 590            | 13,6   |             |
| 50  | Quelle Fuchsberger 2           | Q   | 435405  | 296797  | 19.11.2017 |         | 502            | 5,5    | Q n.mb.     |
| 50  | Quelle Fuchsberger 2           | Q   | 435405  | 296797  | 20.10.2018 | 0,147   | 583            | 12,3   |             |
| 50  | Quelle Fuchsberger 2           | Q   | 435405  | 296797  | 07.12.2018 | 0,290   | 576            | 9,5    |             |
| 52  | Quelle Fuchsberger 3           | Q   | 435345  | 296767  | 20.10.2018 | 0,036   | 637            | 13,7   |             |
| 52  | Quelle Fuchsberger 3           | Q   | 435345  | 296767  | 07.12.2018 | 0,936   | 589            | 10,0   | pulsierend  |
| 51  | Quelle Fuchsberger 4           | Q   | 435233  | 296755  | 20.10.2018 | 0,180   | 556            | 12,6   |             |
| 51  | Quelle Fuchsberger 4           | Q   | 435233  | 296755  | 07.12.2018 | 1,643   | 490            | 10,2   | pulsierend  |
| 55  | Quelle Fuchsberger Johann u.a. | Q   | 435621  | 297453  | 21.10.2018 | 0,081   | 589            | 11,5   |             |
| 55  | Quelle Fuchsberger Johann u.a. | Q   | 435621  | 297453  | 08.12.2018 | 0,034   | 607            | 6,9    |             |
| 41  | Quelle Fuchsberger Markus      | Q   | 438613  | 297366  | 08.12.2018 |         | 1139           | 8,5    | Q n.mb.     |
| 20  | Quelle Fuchsberger Markus      | Q   | 438563  | 297339  | 20.10.2018 | 0,239   | 601            | 10,0   |             |
| 58  | Quelle Kiesgrube               | Q   | 434732  | 297782  | 26.09.2017 | 0,382   | 342            | 7,7    |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 12.11.2017 | 0,331   | 592            | 9,1    |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 02.12.2017 |         | 578            | 8,0    | Q n.mb.     |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 13.01.2018 | 0,164   | 548            | 8,3    |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 17.02.2018 | 0,001   |                |        | Tropfwasser |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 15.04.2018 | 0,035   | 506            | 8,1    |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 28.07.2018 | 0,054   | 545            | 14,0   |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 16.09.2018 | 0,013   | 584            | 13,8   |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 20.10.2018 | 0,202   | 602            | 10,5   |             |
| 16  | Quelle Neumayr                 | Q   | 438149  | 297724  | 08.12.2018 | 0,036   | 558            | 8,0    |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 02.12.2017 |         | 482            | 4,9    | Q n.mb.     |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 13.01.2018 | 0,500   | 470            | 4,3    |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 17.02.2018 | 0,393   | 447            | 3,8    |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 15.04.2018 | 0,063   | 423            | 11,3   |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 28.07.2018 | 0,001   | 437            | 17,4   |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 16.09.2018 | 0,125   | 492            | 14,5   |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 20.10.2018 | 0,008   | 452            | 11,3   |             |
| 47  | Quelle Reischl                 | Q   | 435262  | 296421  | 07.12.2018 | 0,267   | 490            | 7,8    |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 13.01.2018 | 5,000   | 630            | 9,1    |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 17.02.2018 | 2,813   | 603            | 8,2    |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 15.04.2018 | 2,514   | 608            | 8,8    |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 28.07.2018 | 1,429   | 619            | 11,0   |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 16.09.2018 | 1,891   | 629            | 10,8   |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 20.10.2018 | 1,217   | 647            | 10,3   |             |
| 25  | Quelle Schmitzberger           | Q   | 439223  | 296822  | 08.12.2018 | 2,112   | 618            | 9,6    |             |
| 43  | Quelle Versnik/Rosenegger      | Q   | 436424  | 297704  | 26.09.2017 |         | 589            |        | Q n.mb.     |
| 12  | Waldquelle 1                   | Q   | 436845  | 298156  | 19.11.2017 | 0,090   | 426            | 4,8    |             |
| 12  | Waldquelle 1                   | Q   | 436845  | 298156  | 08.12.2018 | 0,070   | 434            | 6,3    |             |
| 11  | Waldquelle 2                   | Q   | 436949  | 298125  | 19.11.2017 | 0,114   | 461            | 5,0    |             |
| 11  | Waldquelle 2                   | Q   | 436949  | 298125  | 21.10.2018 | 0,017   | 458            | 9,3    |             |
| 11  | Waldquelle 2                   | Q   | 436949  | 298125  | 08.12.2018 | 0,074   | 487            | 5,9    |             |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 12.11.2017 | 2,159   | 480            | 7,8    |             |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 02.12.2017 |         | 597            | 4,1    | Q n.mb.     |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 13.01.2018 | 0,086   | 547            | 3,4    |             |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 17.02.2018 | 0,084   | 542            | 2,5    |             |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 15.04.2018 | 0,001   |                |        | Tropfwasser |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 28.07.2018 | 0,001   | 478            | 25,9   |             |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 16.09.2018 | 0,071   | 628            | 14,9   |             |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 20.10.2018 |         |                |        | Tropfwasser |
| 26  | Waldquelle 3                   | Q   | 439541  | 296607  | 07.12.2018 | 0,090   | 629            | 7,3    |             |
| 56  | Waldquelle 4                   | Q   | 436982  | 298054  | 21.10.2018 | 0,117   | 579            | 9,8    |             |
| 56  | Waldquelle 4                   | Q   | 436982  | 298054  | 08.12.2018 | 0,179   | 567            | 9,3    |             |
| 57  | Waldquelle 5                   | Q   | 437367  | 298150  | 21.10.2018 | 0,007   | 534            | 10,9   |             |
| 57  | Waldquelle 5                   | Q   | 437367  | 298150  | 08.12.2018 | 0,058   | 477            | 7,5    |             |
| 10  | Wiesenquelle                   | Q   | 437019  | 298066  | 19.11.2017 | 6,600   | 565            | 8,9    |             |

| Nr. | Name                 | Messort | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q [l/s] | el. LF [ $\mu$ S/cm] | T [°C] | Anmerkungen |
|-----|----------------------|---------|-----|---------|---------|------------|---------|----------------------|--------|-------------|
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 02.12.2017 |         | 461                  | 1,0    | Q n.mb.     |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 13.01.2018 | 22,30   | 461                  | 3,4    |             |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 17.02.2018 | 92,22   | 354                  | 2,3    |             |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 15.04.2018 | 7,42    | 461                  | 10,5   |             |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 28.07.2018 | 0,14    | 449                  | 18,2   |             |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 16.09.2018 | 15,18   | 423                  | 14,6   |             |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 20.10.2018 |         |                      |        | versickert  |
| 27  | Rettenbach           | MO1     | F   | 438031  | 296263  | 08.12.2018 | 36,00   | 403                  | 5,3    |             |
| 33  | Rettenbach           | MO2     | F   | 436481  | 296493  | 26.09.2017 |         | 490                  | 11,1   | Q n.mb.     |
| 33  | Rettenbach           | MO2     | F   | 436481  | 296493  | 08.12.2018 | 32,00   | 396                  | 5,5    |             |
| 38  | Rettenbach           | MO3     | F   | 435792  | 296479  | 19.11.2017 |         | 478                  | 4,9    | Q n.mb.     |
| 35  | Rettenbach-Weißebach | MO4     | F   | 435778  | 296495  | 19.11.2017 |         | 447                  | 4,2    | Q n.mb.     |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 19.11.2017 |         | 427                  | 1,8    | Q n.mb.     |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 02.12.2017 |         | 454                  | 0,9    | Q n.mb.     |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 13.01.2018 | 5,00    | 437                  | 2,4    |             |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 17.02.2018 | 25,55   | 409                  | 2,2    |             |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 15.04.2018 | 0,20    | 495                  | 11,4   |             |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 28.07.2018 | 0,08    | 365                  | 21,9   |             |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 16.09.2018 | 1,72    | 444                  | 17,1   |             |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 20.10.2018 | 0,11    | 509                  | 11,4   |             |
| 53  | Rettenbach-Weißebach | MO5     | F   | 435672  | 297024  | 08.12.2018 | 9,00    | 449                  | 5,4    |             |
| 54  | Rettenbach-Weißebach | MO6     | F   | 434486  | 297133  | 21.10.2018 | 0,12    | 519                  | 9,4    |             |
| 54  | Rettenbach-Weißebach | MO6     | F   | 434486  | 297133  | 07.12.2018 | 2,18    | 427                  | 6,8    |             |
| 37  | Rettenbach           | MO7     | F   | 435767  | 296479  | 19.11.2017 |         | 522                  | 5,3    | Q n.mb.     |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 19.11.2017 |         | 369                  | 3,2    |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 02.12.2017 |         | 447                  | 2,0    |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 13.01.2018 | 0,50    | 436                  | 2,8    |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 17.02.2018 | 4,24    | 412                  | 2,6    |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 15.04.2018 | 0,21    | 388                  | 12,4   |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 28.07.2018 | 0,00    |                      |        | trocken     |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 16.09.2018 | 0,58    | 433                  | 14,8   |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 20.10.2018 | 0,26    | 416                  | 10,9   |             |
| 45  | Rettenbach           | MO8     | F   | 435272  | 296643  | 07.12.2018 | 0,64    | 464                  | 7,4    |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 19.11.2017 |         | 416                  | 2,6    | Q n.mb.     |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 02.12.2017 |         | 391                  | 2,7    | Q n.mb.     |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 13.01.2018 | 0,45    | 356                  | 4,6    |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 17.02.2018 | 4,40    | 350                  | 3,5    |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 15.04.2018 | 0,23    | 377                  | 11,2   |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 28.07.2018 | 0,10    | 380                  | 19,1   |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 16.09.2018 | 0,19    | 461                  | 16,1   |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 20.10.2018 | 0,07    | 474                  | 12,2   |             |
| 46  | Rettenbach           | MO9     | F   | 435253  | 296596  | 07.12.2018 | 1,35    | 441                  | 7,2    |             |

| Nr. | Name             | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Abstich [m] | Q [l/s] | el. LF [ $\mu$ S/cm] | T [°C] | Anmerkungen           |
|-----|------------------|-----|---------|---------|------------|-------------|---------|----------------------|--------|-----------------------|
| 6   | Drainage Klug    | D   | 436387  | 297755  | 25.09.2017 | 0,50        |         | 628                  | 11,9   |                       |
| 6   | Drainage Klug    | D   | 436387  | 297755  | 14.12.2018 | 0,47        |         | 637                  | 11,3   |                       |
| 34  | Kanal Moor       | D   | 435903  | 296316  | 19.11.2017 |             |         | 32                   | 3,3    | Q n.mb.               |
| 59  | Drainage, Ablauf | D   | 438300  | 297535  | 16.09.2018 |             | 0,269   | 579                  | 15,8   |                       |
| 59  | Drainage, Ablauf | D   | 438300  | 297535  | 20.10.2018 |             | 0,046   | 546                  | 12,2   |                       |
| 59  | Drainage, Ablauf | D   | 438300  | 297535  | 08.12.2018 |             | 0,487   | 570                  | 7,2    |                       |
| 23  | Teich            | T   | 439355  | 296865  | 12.11.2017 |             |         | 409                  | 9,0    |                       |
| 23  | Teich            | T   | 439355  | 296865  | 02.12.2017 |             |         | 519                  | 5,7    |                       |
| 23  | Teich            | T   | 439355  | 296865  | 13.01.2018 |             |         | 538                  | 6,1    |                       |
| 23  | Teich            | T   | 439355  | 296865  | 17.02.2018 |             |         | 540                  | 4,1    |                       |
| 23  | Teich            | T   | 439355  | 296865  | 15.04.2018 |             |         | 461                  | 12,7   |                       |
| 23  | Teich            | T   | 439355  | 296865  | 16.09.2018 |             |         | 506                  | 17,3   |                       |
| 28  | Teich            | T   | 438304  | 296797  | 08.12.2018 |             |         | 376                  | 4,3    | kein Zulauf erkennbar |
| 32  | Teich            | T   | 436391  | 296210  | 19.11.2017 |             |         | 230                  | 1,6    | Q n.mb.               |
| 32  | Teich            | T   | 436391  | 296210  | 07.12.2018 |             |         | 201                  | 7,3    | kein Zulauf erkennbar |
| 36  | Teich (Fische)   | T   | 435795  | 296488  | 19.11.2017 |             |         | 287                  | 0,6    | Q n.mb.               |

| Nr. | Name        | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Abstich [m] | el. LF [ $\mu$ S/cm] | T [°C] | Anmerkungen |
|-----|-------------|-----|---------|---------|------------|-------------|----------------------|--------|-------------|
| 4   | Meindlbauer | GWM | 436660  | 297666  | 25.09.2017 | 6,50        |                      |        |             |
| 4   | Meindlbauer | GWM | 436660  | 297666  | 12.11.2017 | 6,01        | 534                  | 11,5   |             |
| 4   | Meindlbauer | GWM | 436660  | 297666  | 02.12.2017 | 6,99        | 542                  | 11,2   |             |
| 4   | Meindlbauer | GWM | 436660  | 297666  | 13.01.2018 | 6,97        | 622                  | 10,6   |             |
| 4   | Meindlbauer | GWM | 436660  | 297666  | 17.02.2018 | 6,97        | 562                  | 10,2   |             |
| 4   | Meindlbauer | GWM | 436660  | 297666  | 15.04.2018 | 6,99        | 542                  | 10,2   |             |

## Anhang 5 Hydrochemische Analyse

| Nr | Name                           | Messort | System                   | Typ | POINT_X | POINT_Y | Datum      | Q       | LF  | T    | Labor_ID | pH  | Ca  | Mg  | Na   | K    | HCO3 | NO2   | NO3  | Cl   | oP04 | SO4 | Fe    | Mn    | GH_dH | CH_dH |
|----|--------------------------------|---------|--------------------------|-----|---------|---------|------------|---------|-----|------|----------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Plainfelderbach                | MO1     | Plainfelderbach          | F   | 436466  | 298348  | 08.12.2018 | 161.000 | 438 | 6,5  | 18615001 | 8,5 | 78  | 8,1 | 9,3  | 1,2  | 240  | 0,011 | 3,5  | 15   | <0,1 | 5   | <0,02 | <0,02 | 13    | 12    |
| 2  | Schnurbach                     | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 436466  | 298326  | 07.12.2018 | 19.000  | 477 | 7,1  | 18615002 | 8,6 | 86  | 9   | 14   | 1,1  | 270  | 0,013 | 3,8  | 21   | <0,1 | 5,4 | <0,02 | <0,02 | 14    | 13    |
| 3  | Quelle Murabang                |         |                          | Q   | 436375  | 298553  | 08.12.2018 | 0.352   | 526 | 10,8 | 18615003 | 8,4 | 100 | 8,4 | 2    | 3,3  | 310  | 0,012 | 17   | 6,9  | <0,1 | 5,1 | <0,02 | <0,02 | 16    | 15    |
| 5  | Schnurbach                     | MO2     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 436508  | 297683  | 08.12.2018 | 1.167   | 513 | 7,8  | 18615002 | 8,4 | 130 | 8,7 | 4,4  | <1,0 | 320  | <0,01 | 3,4  | 7,1  | <0,1 | 3,5 | <0,02 | <0,02 | 20    | 15    |
| 6  | Drainage Klug                  | D       |                          | D   | 436397  | 297755  | 14.12.2018 |         | 637 | 11,3 | 18615003 | 7,6 | 150 | 14  | 1,7  | 1,5  | 410  | <0,01 | 8,7  | 8,9  | <0,1 | 4,5 | <0,02 | <0,02 | 24    | 19    |
| 7  | Habachergraben                 | MO2     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 437147  | 297686  | 08.12.2018 | 0.701   | 451 | 6,3  | 18615004 | 8,3 | 92  | 12  | 13   | 1,2  | 300  | <0,01 | 4,3  | 22   | <0,1 | 5   | <0,02 | <0,02 | 16    | 14    |
| 8  | Tiefenbach                     | MO2     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 437361  | 297768  | 08.12.2018 | 13.000  | 559 | 8,6  | 18615005 | 8,1 | 110 | 9,9 | 7,4  | <1,0 | 350  | 0,019 | 3,8  | 13   | <0,1 | 5,5 | <0,02 | <0,02 | 17    | 16    |
| 9  | Habachergraben                 | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 436990  | 298111  | 08.12.2018 | 20.000  | 541 | 7,2  | 18615006 | 8,3 | 110 | 7,1 | 7,6  | <1,0 | 260  | 0,011 | 2,7  | 14   | <0,1 | 6,1 | <0,02 | <0,02 | 17    | 12    |
| 10 | Wiesenquelle                   |         |                          | Q   | 437019  | 298066  | 08.12.2018 | 3.030   | 587 | 9,2  | 18615027 | 8   | 120 | 20  | 2,5  | <1,0 | 380  | <0,01 | 4,1  | 5,9  | <0,1 | 5,5 | <0,02 | <0,02 | 22    | 18    |
| 12 | Waldquelle 1                   |         |                          | Q   | 436845  | 298156  | 08.12.2018 | 0.070   | 434 | 6,3  | 18615031 | 8,4 | 120 | 5,6 | 2    | <1,0 | 270  | <0,01 | 2,8  | 1,5  | <0,1 | 2   | <0,02 | <0,02 | 18    | 13    |
| 13 | Tiefenbach                     | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 437178  | 298118  | 08.12.2018 | 20.000  | 523 | 7,4  | 18615025 | 8,6 | 130 | 9,5 | 9,1  | 1    | 300  | 0,013 | 3,3  | 14   | <0,1 | 6,5 | 0,02  | <0,02 | 20    | 15    |
| 14 | Feldbach                       | MO2     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 437549  | 298094  | 08.12.2018 | 0.565   | 511 | 8,2  | 18615023 | 8   | 130 | 7,7 | 2,2  | <1,0 | 330  | 0,014 | 2,9  | 3,7  | <0,1 | 5   | 0,03  | <0,02 | 20    | 15    |
| 15 | Feldbach                       | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 437512  | 298200  | 08.12.2018 | 2.805   | 458 | 7,3  | 18615022 | 8,5 | 130 | 7,6 | 2,6  | 1,3  | 280  | 0,015 | 3,2  | 3,5  | <0,1 | 5,7 | 0,037 | <0,02 | 20    | 14    |
| 16 | Quelle Neumayr                 |         |                          | Q   | 438149  | 297724  | 08.12.2018 | 0.036   | 558 | 8,0  | 18615006 | 8,1 | 110 | 15  | 1    | <1,0 | 380  | <0,01 | 4,2  | 1,4  | <0,1 | 2,1 | <0,02 | <0,02 | 18    | 17    |
| 17 | Nesselgraben                   | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 438290  | 297525  | 08.12.2018 | 131.000 | 325 | 5,9  | 18615007 | 8,5 | 60  | 6,7 | 4,1  | <1,0 | 190  | <0,01 | <1,0 | 6,7  | <0,1 | 2,8 | <0,02 | <0,02 | 9,9   | 9,4   |
| 19 | Kanal                          |         |                          | F   | 438549  | 297326  | 08.12.2018 | 0.290   | 505 | 6,1  | 18615008 | 8,6 | 86  | 6,1 | 18   | 5,2  | 260  | 0,018 | 3,2  | 29   | <0,1 | 2,8 | <0,02 | <0,02 | 13    | 13    |
| 21 | Seilf. Zufluss Plainfelderbach | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 438541  | 297022  | 08.12.2018 | 0.934   | 416 | 5,9  | 18615009 | 8,6 | 77  | 11  | 1,1  | <1,0 | 250  | <0,01 | 4,5  | 2,3  | <0,1 | 4,9 | <0,02 | <0,02 | 13    | 12    |
| 25 | Quelle Schmitzberger           |         |                          | Q   | 439223  | 296872  | 08.12.2018 | 2.112   | 518 | 9,6  | 18615010 | 8   | 110 | 19  | 2,3  | 2    | 400  | <0,01 | 13   | 5,6  | <0,1 | 8,5 | <0,02 | <0,02 | 20    | 18    |
| 26 | Waldquelle 3                   |         |                          | Q   | 439541  | 296607  | 07.12.2018 | 0.090   | 629 | 7,3  | 18615011 | 8,3 | 96  | 17  | 2,1  | <1,0 | 330  | <0,01 | 7    | 37   | <0,1 | 2,3 | <0,02 | <0,02 | 17    | 16    |
| 27 | Rettenbach                     |         | Rettenbach-Weißenbach    | F   | 438031  | 296263  | 08.12.2018 | 36.000  | 403 | 5,3  | 18615012 | 8,6 | 77  | 12  | 1,5  | <1,0 | 250  | 0,02  | 2,5  | 2,8  | <0,1 | 3,8 | 0,057 | <0,02 | 13    | 12    |
| 28 | Quellentich                    | T       |                          | T   | 438304  | 296797  | 08.12.2018 |         | 376 | 4,3  | 18615022 | 8   | 96  | 2,9 | 9,1  | 1,5  | 200  | 0,042 | <1,0 | 20   | <0,1 | 4,1 | <0,02 | 0,25  | 14    | 9,3   |
| 29 | Nesselgraben                   | MO4     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 438923  | 296762  | 08.12.2018 | 5.000   | 610 | 7,3  | 18615001 | 8   | 110 | 10  | 28   | 2    | 290  | 0,047 | 4,7  | 48   | <0,1 | 1,3 | <0,02 | <0,02 | 18    | 13    |
| 33 | Rettenbach                     | MO2     | Rettenbach-Weißenbach    | F   | 438481  | 296493  | 08.12.2018 | 32.000  | 396 | 5,5  | 18615020 | 8   | 98  | 12  | 1,1  | <1,0 | 260  | 0,018 | 1,9  | 1,4  | <0,1 | 3,4 | 0,098 | <0,02 | 16    | 12    |
| 41 | Quelle Fuchsberger Markus      |         |                          | Q   | 438613  | 297366  | 08.12.2018 |         |     | 8,5  | 18615019 | 7,7 | 130 | 19  | 83   | <1,0 | 380  | <0,01 | 7,3  | 180  | <0,1 | 9,6 | <0,02 | <0,02 | 22    | 17    |
| 45 | Rettenbach                     | MO8     | Rettenbach-Weißenbach    | F   | 435272  | 296643  | 07.12.2018 | 0.035   | 464 | 7,4  | 18615013 | 8,6 | 92  | 9,1 | 1,5  | 4,3  | 290  | 0,04  | 1,4  | 3,1  | <0,1 | 3,5 | <0,02 | <0,02 | 15    | 14    |
| 47 | Quelle Reischl                 |         |                          | Q   | 435282  | 296643  | 07.12.2018 | 0.267   | 490 | 7,8  | 18615017 | 8,3 | 90  | 17  | <1,0 | <1,0 | 320  | 0,01  | <1,0 | <1,0 | <0,1 | 1,4 | <0,02 | <0,02 | 16    | 15    |
| 50 | Quelle Fuchsberger 2           |         |                          | Q   | 435405  | 296797  | 07.12.2018 | 0.290   | 576 | 9,5  | 18615017 | 8,3 | 100 | 20  | 1,3  | <1,0 | 370  | 0,01  | 1,7  | 4,1  | <0,1 | 3,9 | <0,02 | <0,02 | 19    | 18    |
| 52 | Quelle Fuchsberger 3           |         |                          | Q   | 435345  | 296767  | 07.12.2018 | 0.036   | 589 | 10,0 | 18615018 | 7,9 | 100 | 8,6 | 1,8  | <1,0 | 320  | <0,01 | 3,1  | 4    | <0,1 | 2,4 | <0,02 | <0,02 | 16    | 15    |
| 53 | Weißenbach                     | MO5     | Rettenbach-Weißenbach    | F   | 435672  | 297024  | 08.12.2018 | 9.000   | 449 | 5,4  | 18615015 | 8,5 | 85  | 12  | <1,0 | 1,2  | 280  | <0,01 | 2,7  | 1,7  | <0,1 | 2,4 | <0,02 | <0,02 | 15    | 14    |
| 54 | Weißenbach                     | MO6     | Rettenbach-Weißenbach    | F   | 434486  | 297133  | 07.12.2018 | 0.181   | 427 | 6,8  | 18615016 | 8,4 | 72  | 18  | <1,0 | <1,0 | 270  | <0,01 | 3,4  | 1    | <0,1 | 2,8 | <0,02 | <0,02 | 21    | 18    |
| 55 | Quelle Fuchsberger Johann u a  |         |                          | Q   | 435621  | 297453  | 08.12.2018 | 0.034   | 607 | 6,9  | 18615021 | 8,2 | 140 | 7,6 | 2,2  | 1,3  | 360  | <0,01 | 3,1  | 3,1  | <0,1 | 5,6 | <0,02 | <0,02 | 21    | 18    |
| 56 | Waldquelle 4                   |         |                          | Q   | 435992  | 298054  | 08.12.2018 | 0.179   | 567 | 9,3  | 18615028 | 7,9 | 120 | 16  | 6,8  | 1    | 340  | <0,01 | 5,4  | 15   | <0,1 | 4,9 | <0,02 | <0,02 | 20    | 16    |
| 57 | Waldquelle 5                   |         |                          | Q   | 437367  | 298150  | 08.12.2018 | 0.058   | 477 | 7,5  | 18615024 | 8,4 | 120 | 12  | <1,0 | <1,0 | 300  | <0,01 | 7,7  | 1,4  | <0,1 | 1,9 | <0,02 | <0,02 | 19    | 14    |
| 61 | Waldbach                       | MO1     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 436953  | 298068  | 08.12.2018 | 1.968   | 535 | 7,5  | 18615029 | 8,6 | 120 | 9   | 16   | 1    | 290  | <0,01 | 2,1  | 25   | <0,1 | 4,1 | <0,02 | <0,02 | 18    | 14    |
| 62 | Waldbach                       | MO2     | Zubinger Plainfelderbach | F   | 438870  | 297973  | 08.12.2018 | 1.670   | 570 | 8,6  | 18615030 | 8,2 | 130 | 8   | 15   | <1,0 | 320  | 0,014 | 1,8  | 25   | <0,1 | 4,1 | <0,02 | <0,02 | 20    | 15    |

## Anhang 6 Hydrogeologische Kartierung

| Nr.                                                                                | Name                                      | Messort                   |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|------------|
| 1                                                                                  | Plainfelderbach                           | 1                         |            |
| Typ                                                                                | Gewässersystem                            | Gewässerbreite            |            |
| Fließgewässer                                                                      | Plainfelderbach                           | 1,5 - 2,0 m               |            |
|  |                                           |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                        |                                           |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                                | 436466                                    | GOK [m ü.A.]              | 641,28     |
| Hochwert (GK M31)                                                                  | 298348                                    |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                   | Unterhalb Salzburg Ring (bei Messstation) |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                     |                                           | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Salzverdünnung                                                                     |                                           | Datum                     | 25.09.2017 |
|                                                                                    |                                           | Schüttung [l/s]           | 63,85      |
|                                                                                    |                                           | Temperatur [°C]           | 12,4       |
|                                                                                    |                                           | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 495        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                 |                                           |                           |            |
| -                                                                                  |                                           |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                              | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 2                                                                                 | Schnurrnbach                      | 1              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                    | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach         | 0,5 m          |
|  |                                   |                |
| Lage                                                                              |                                   |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436496                            | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298326                            |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | vor Einmündung in Plainfelderbach |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                       |                |
| Salzverdünnung<br>Kübel                                                           | Datum                             | 25.09.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                   | 9,09           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                   | 12,7           |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]         | 510            |
| Anmerkungen                                                                       |                                   |                |
| -                                                                                 |                                   |                |

| Nr.                                                                               | Name                       | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| 3                                                                                 | Quelle Murgang             | 1                         |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                            | <b>Art</b>                |            |
| Quelle                                                                            |                            | Freier Quellaustritt      |            |
|  |                            |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                            |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436375                     | GOK [m ü.A.]              | 654,90     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298553                     |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | im Wald, Bereich Murabgang |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                            | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Kübel                                                                             |                            | Datum                     | 25.09.2017 |
|                                                                                   |                            | Schüttung [l/s]           | 0,25       |
|                                                                                   |                            | Temperatur [°C]           | 13,2       |
|                                                                                   |                            | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 407        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                            |                           |            |
| -                                                                                 |                            |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                            | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                                                                                 | Meindlbauer                     | 1                                                                                  |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                 |                                                                                    |
| Grundwassermessstelle                                                             |                                 |                                                                                    |
|  |                                 |  |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                 |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436660                          | GOK [m ü.A.]                                                                       |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297666                          |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Haupthaus Meindlbauer |                                                                                    |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                 | <b>Erstmessung</b>                                                                 |
| Kabellichtlot                                                                     | Datum                           | 25.09.2017                                                                         |
|                                                                                   | Abstich [m]                     | 6,50                                                                               |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                 | n. mb.                                                                             |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]       | n. mb.                                                                             |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                 |                                                                                    |
| -                                                                                 |                                 |                                                                                    |

| Nr.                                                                               | Name                                | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 5                                                                                 | Schnurrnbach                        | 2              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                      | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach           | 0,5 m          |
|  |                                     |                |
| Lage                                                                              |                                     |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436508                              | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297583                              |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Auf Höhe Bushaltestelle Meindlbauer |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                         |                |
| Salzverdünnung<br>Kübel                                                           | Datum                               | 25.09.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                     | 0,35           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                     | 13,3           |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]           | 537            |
| Anmerkungen                                                                       |                                     |                |
| -                                                                                 |                                     |                |

| Nr.                                                                               | Name              | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|------------|
| 6                                                                                 | Drainage Klug     | 1                         |            |
| Typ                                                                               |                   | Art                       |            |
| Drainage                                                                          |                   | Hangentwässerung          |            |
|  |                   |                           |            |
| Lage                                                                              |                   |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436387            | GOK [m ü.A.]              | 712,3      |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297755            |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Garten, Fam. Klug |                           |            |
| Messtyp                                                                           |                   | Erstmessung               |            |
| Wasserstand                                                                       |                   | Datum                     | 25.09.2017 |
|                                                                                   |                   | Abstich [m]               | 0,50       |
|                                                                                   |                   | Temperatur [°C]           | 11,9       |
|                                                                                   |                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 628        |
| Anmerkungen                                                                       |                   |                           |            |
| -                                                                                 |                   |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 7                                                                                 | Habachergraben            | 2              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach | 0,5 m          |
|  |                           |                |
| Lage                                                                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437147                    | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297686                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Brücke (B158)         |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung               |                |
| Kübel                                                                             | Datum                     | 12.11.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | 5,60           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 8,9            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 383            |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |
| -                                                                                 |                           |                |

| Nr.                                                                                | Name                                  | Messort        |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 8                                                                                  | Tiefenbach                            | 2              |
| Typ                                                                                | Gewässersystem                        | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                      | Zubringer Plainfelderbach             | 0,5 m          |
|  |                                       |                |
| Lage                                                                               |                                       |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                                | 437381                                | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                  | 297768                                |                |
| Lagebeschreibung                                                                   | Bei Brücke Habachergraben, „Ursprung“ |                |
| Messtyp                                                                            | Erstmessung                           |                |
| Salzverdünnung                                                                     | Datum                                 | 12.11.2017     |
|                                                                                    | Schüttung [l/s]                       | n.mb.          |
|                                                                                    | Temperatur [°C]                       | 9,3            |
|                                                                                    | el. Leitfähigkeit [µS/cm]             | 462            |
| Anmerkungen                                                                        |                                       |                |
| -                                                                                  |                                       |                |

| Nr.                                                                               | Name                              | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 9                                                                                 | Habachergraben                    | 1              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                    | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach         | 0,5 m          |
|  |                                   |                |
| Lage                                                                              |                                   |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436990                            | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298111                            |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Vor Einmündung in Plainfelderbach |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                       |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                             | 19.11.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                   | 1,16           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                   | 6,2            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]         | 550            |
| Anmerkungen                                                                       |                                   |                |
| -                                                                                 |                                   |                |

| Nr.                                                                               | Name                                                | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 10                                                                                | Wiesenquelle                                        | 1                                                                                  |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                                     | <b>Art</b>                                                                         |
| Quelle                                                                            |                                                     | Freier Quellaustritt                                                               |
|  |                                                     |  |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                                     |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437019                                              | GOK [m ü.A.]                                                                       |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298066                                              |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Wiese bei Salzburg Ring, östlich von Habachergraben |                                                                                    |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                                     | <b>Erstmessung</b>                                                                 |
| Kübel                                                                             | Datum                                               | 19.11.2017                                                                         |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                     | 6,60                                                                               |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                     | 8,9                                                                                |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                           | 565                                                                                |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                                     |                                                                                    |
| -                                                                                 |                                                     |                                                                                    |

| Nr.                                                                               | Name                                                | Messort                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|
| 11                                                                                | Waldquelle 2                                        | 1                              |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                                     | <b>Art</b>                     |
| Quelle                                                                            |                                                     | Gefasste Quelle (oranges Rohr) |
|  |                                                     |                                |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                                     |                                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436949                                              | GOK [m ü.A.] 650,91            |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298625                                              |                                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Wald bei Salzburg Ring, westlich von Habachergraben |                                |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                                     | <b>Erstmessung</b>             |
| Kübel                                                                             | Datum                                               | 19.11.2017                     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                     | 0,114                          |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                     | 5,0                            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                           | 461                            |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                                     |                                |
| -                                                                                 |                                                     |                                |

| Nr.                                                                               | Name                                                | Messort              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|
| 12                                                                                | Waldquelle 1                                        | 1                    |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                                     | <b>Art</b>           |
| Quelle                                                                            |                                                     | Freier Quellaustritt |
|  |                                                     |                      |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                                     |                      |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436845                                              | GOK [m ü.A.] 656,34  |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298156                                              |                      |
| Lagebeschreibung                                                                  | Wald bei Salzburg Ring, westlich von Habachergraben |                      |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                                     | <b>Erstmessung</b>   |
| Kübel                                                                             | Datum                                               | 19.11.2017           |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                     | 0,09                 |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                     | 4,8                  |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                           | 426                  |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                                     |                      |
| -                                                                                 |                                                     |                      |

| Nr.                                                                               | Name                              | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------|
| 13                                                                                | Tiefenbach                        | 1                         |            |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                    | Gewässerbreite            |            |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach         | 0,5 m                     |            |
|  |                                   |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                   |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437178                            | GOK [m ü.A.]              | 653,92     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298118                            |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Vor Einmündung in Plainfelderbach |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                   | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Salzverdünnung                                                                    |                                   | Datum                     | 19.11.2017 |
|                                                                                   |                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb.      |
|                                                                                   |                                   | Temperatur [°C]           | 6,4        |
|                                                                                   |                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 634        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                   |                           |            |
| -                                                                                 |                                   |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| 14                                                                                | Feldbach                  | 2                         |            |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite            |            |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach | 0,3 m                     |            |
|  |                           |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                           |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437549                    | GOK [m ü.A.]              | 680,56     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298094                    |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Austritt unterhalb Feld   |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                           | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Kübel                                                                             |                           | Datum                     | 21.10.2018 |
|                                                                                   |                           | Schüttung [l/s]           | 0,18       |
|                                                                                   |                           | Temperatur [°C]           | 11,7       |
|                                                                                   |                           | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 646        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                           |                           |            |
| -                                                                                 |                           |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                                            | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|
| 15                                                                                | Feldbach                                        | 1              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                                  | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach                       | 0,5 m          |
|  |                                                 |                |
| Lage                                                                              |                                                 |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437512                                          | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298200                                          |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Vor Einmündung Plainfelderbach, Geschiebesperre |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                                     |                |
| Kübel                                                                             | Datum                                           | 21.10.2018     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                 | 0,28           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                 | 10,3           |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                       | 562            |
| Anmerkungen                                                                       |                                                 |                |
| -                                                                                 |                                                 |                |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 16                                                                                | Quelle Neumayr            | 1                          |
| <b>Typ</b>                                                                        |                           | <b>Art</b>                 |
| Quelle                                                                            |                           | Gefasste Quelle (Überlauf) |
|  |                           |                            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                           |                            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | k.A. (Datenschutz)        | GOK [m ü.A.]               |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | k.A. (Datenschutz)        |                            |
| Lagebeschreibung                                                                  | k.A. (Datenschutz)        |                            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                           | <b>Erstmessung</b>         |
| Kübel                                                                             | Datum                     | 12.11.2017                 |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | 0,331                      |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 9,1                        |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 592                        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                           |                            |
| Quellfassung nicht zugänglich, Messung an Überlauf                                |                           |                            |

| Nr.                                                                               | Name                             | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------|
| 17                                                                                | Nesselgraben                     | 1              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                   | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach        | 2,0-2,5 m      |
|  |                                  |                |
| Lage                                                                              |                                  |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438290                           | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297525                           |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Brücke (Jochen-Rindt-Straße) |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                      |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                            | 12.11.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                  | 50             |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                  | 7,8            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]        | 329            |
| Anmerkungen                                                                       |                                  |                |
| -                                                                                 |                                  |                |

| Nr.                                                                               | Name            |                           | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|
| 18                                                                                | Plainfelderbach |                           | 2              |
| Typ                                                                               |                 | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     |                 | Plainfelderbach           | 1,5 m          |
|  |                 |                           |                |
| Lage                                                                              |                 |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438549          | GOK [m ü.A.]              | 666,50         |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297351          |                           |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Kanal (19)  |                           |                |
| Messtyp                                                                           |                 | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung                                                                    |                 | Datum                     | 13.01.2018     |
|                                                                                   |                 | Schüttung [l/s]           | n.mb           |
|                                                                                   |                 | Temperatur [°C]           | 5,8            |
|                                                                                   |                 | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 515            |
| Anmerkungen                                                                       |                 |                           |                |
| -                                                                                 |                 |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| 19                                                                                | Kanal                     | 1                         |            |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite            |            |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach | 0,5 m                     |            |
|  |                           |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                           |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438549                    | GOK [m ü.A.]              | 667,90     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297326                    |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Vor Straßenunterführung   |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                           | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Salzverdünnung                                                                    |                           | Datum                     | 12.11.2017 |
|                                                                                   |                           | Schüttung [l/s]           | 5,5        |
|                                                                                   |                           | Temperatur [°C]           | 8,2        |
|                                                                                   |                           | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 355        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                           |                           |            |
| -                                                                                 |                           |                           |            |

| Nr.                                                                                | Name                                       | Messort                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 20                                                                                 | Quelle Fuchsberger Markus                  | 1                                                                                   |
| <b>Typ</b>                                                                         |                                            | <b>Art</b>                                                                          |
| Quelle                                                                             |                                            | Gefasste Quelle (Ablauf)                                                            |
|  |                                            |  |
| <b>Lage</b>                                                                        |                                            |                                                                                     |
| Rechtswert (GK M31)                                                                | 438563                                     | GOK [m ü.A.] 667,72                                                                 |
| Hochwert (GK M31)                                                                  | 297339                                     |                                                                                     |
| Lagebeschreibung                                                                   | Brücke über Plainfelderbach bei Kanal (19) |                                                                                     |
| <b>Messtyp</b>                                                                     |                                            | <b>Erstmessung</b>                                                                  |
| Kübel                                                                              | Datum                                      | 20.10.2018                                                                          |
|                                                                                    | Schüttung [l/s]                            | 0,239                                                                               |
|                                                                                    | Temperatur [°C]                            | 10,0                                                                                |
|                                                                                    | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                  | 601                                                                                 |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                 |                                            |                                                                                     |
| Quellfassung nicht zugänglich, Ablauf von Quelle Fuchsberger Markus (41)           |                                            |                                                                                     |

| Nr.                                                                               | Name                               |                                                                                    | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 21                                                                                | Seitlicher Zufluss Plainfelderbach |                                                                                    | 1              |
| Typ                                                                               |                                    | Gewässersystem                                                                     | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     |                                    | Zubringer Plainfelderbach                                                          | 0,5 m          |
|  |                                    |  |                |
| Lage                                                                              |                                    |                                                                                    |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438951                             | GOK [m ü.A.]                                                                       | 683,40         |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297022                             |                                                                                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb Plainfelderbach (22)      |                                                                                    |                |
| Messtyp                                                                           |                                    | Erstmessung                                                                        |                |
| Kübel                                                                             |                                    | Datum                                                                              | 12.11.2017     |
|                                                                                   |                                    | Schüttung [l/s]                                                                    | 5,96           |
|                                                                                   |                                    | Temperatur [°C]                                                                    | 8,0            |
|                                                                                   |                                    | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                                                          | 343            |
| Anmerkungen                                                                       |                                    |                                                                                    |                |
| -                                                                                 |                                    |                                                                                    |                |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 22                                                                                | Plainfelderbach           | 3              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Plainfelderbach           | 1,5 m          |
|  |                           |                |
| Lage                                                                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438949                    | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297025                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Zufluss (21)    |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung<br>Kübel                                                           | Datum                     | 02.12.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 5,1            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 512            |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |
| -                                                                                 |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                            | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------|
| 23                                                                                | Plainfelderbach-Teich           | 1                         |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                 |                           |            |
| Teich                                                                             |                                 |                           |            |
|  |                                 |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                 |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 439355                          | GOK [m ü.A.]              |            |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296865                          |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | „Ursprung“ des Plainfelderbachs |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                 | <b>Erstmessung</b>        |            |
| -                                                                                 |                                 | Datum                     | 12.11.2017 |
|                                                                                   |                                 | Schüttung [l/s]           | -          |
|                                                                                   |                                 | Temperatur [°C]           | 9,0        |
|                                                                                   |                                 | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 409        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                 |                           |            |
| -                                                                                 |                                 |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name            |                           | Messort             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| 24                                                                                | Plainfelderbach |                           | 4                   |
| Typ                                                                               |                 | Gewässersystem            | Gewässerbreite      |
| Fließgewässer                                                                     |                 | Plainfelderbach           | 0,5-1,0 m           |
|  |                 |                           |                     |
| Lage                                                                              |                 |                           |                     |
| Rechtswert (GK M31)                                                               |                 | 439251                    | GOK [m ü.A.] 688,55 |
| Hochwert (GK M31)                                                                 |                 | 296928                    |                     |
| Lagebeschreibung                                                                  |                 | Bei Zulauf (60)           |                     |
| Messtyp                                                                           |                 | Erstmessung               |                     |
| Salzverdünnung                                                                    |                 | Datum                     | 12.11.2017          |
|                                                                                   |                 | Schüttung [l/s]           | n.mb                |
|                                                                                   |                 | Temperatur [°C]           | 8,8                 |
|                                                                                   |                 | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 409                 |
| Anmerkungen                                                                       |                 |                           |                     |
| -                                                                                 |                 |                           |                     |

| Nr.                                                                                                                                        | Name                       | Messort                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 25                                                                                                                                         | Quelle Schmitzberger       | 1                                                                                  |            |
| Typ                                                                                                                                        |                            | Art                                                                                |            |
| Quelle                                                                                                                                     |                            | Gefasste Quelle (Überlauf)                                                         |            |
|                                                          |                            |  |            |
| Lage                                                                                                                                       |                            |                                                                                    |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                                                                                        | 439223                     | GOK [m ü.A.]                                                                       | 705,25     |
| Hochwert (GK M31)                                                                                                                          | 296822                     |                                                                                    |            |
| Lagebeschreibung                                                                                                                           | Ende Privatstraße in Senke |                                                                                    |            |
| Messtyp                                                                                                                                    |                            | Erstmessung                                                                        |            |
| Kübel                                                                                                                                      |                            | Datum                                                                              | 13.01.2018 |
|                                                                                                                                            |                            | Schüttung [l/s]                                                                    | 5,0        |
|                                                                                                                                            |                            | Temperatur [°C]                                                                    | 9,1        |
|                                                                                                                                            |                            | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                                                          | 630        |
| Anmerkungen                                                                                                                                |                            |                                                                                    |            |
| Zwei Überläufe, gemessen und beprobt orographisch rechts, Quelfassung nicht zugänglich, Messung an Überlauf<br>Schüttung = Gesamtschüttung |                            |                                                                                    |            |

| Nr.                                                                               | Name                                 | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|------------|
| 26                                                                                | Waldquelle 3                         | 1                         |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                      | <b>Art</b>                |            |
| Quelle                                                                            |                                      | Freier Quellaustritt      |            |
|  |                                      |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                      |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 439541                               | GOK [m ü.A.]              | 698,40     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296607                               |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb L107 (Wiestal Landesstraße) |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                      | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Kübel                                                                             |                                      | Datum                     | 12.11.2017 |
|                                                                                   |                                      | Schüttung [l/s]           | 2,159      |
|                                                                                   |                                      | Temperatur [°C]           | 7,8        |
|                                                                                   |                                      | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 480        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                      |                           |            |
| -                                                                                 |                                      |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                                 | Messort                                                                            |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 27                                                                                | Rettenbach                           | 1                                                                                  |            |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                       | Gewässerbreite                                                                     |            |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißenbach                | 2,0 m                                                                              |            |
|  |                                      |  |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                      |                                                                                    |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438031                               | GOK [m ü.A.]                                                                       | 714,57     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296263                               |                                                                                    |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Brücke (Hinterschroffenaustraße) |                                                                                    |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                      | <b>Erstmessung</b>                                                                 |            |
| Salzverdünnung                                                                    |                                      | Datum                                                                              | 02.12.2017 |
|                                                                                   |                                      | Schüttung [l/s]                                                                    | n.mb       |
|                                                                                   |                                      | Temperatur [°C]                                                                    | 1,0        |
|                                                                                   |                                      | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                                                          | 461        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                      |                                                                                    |            |
| -                                                                                 |                                      |                                                                                    |            |

| Nr.                                                                               | Name                       | Messort                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|
| 28                                                                                | Quellteich                 | 1                         |           |
| <b>Typ</b>                                                                        |                            |                           |           |
| Teich                                                                             |                            |                           |           |
|  |                            |                           |           |
| <b>Lage</b>                                                                       |                            |                           |           |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438304                     | GOK [m ü.A.]              |           |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296797                     |                           |           |
| Lagebeschreibung                                                                  | Hinterschroffenau, im Wald |                           |           |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                            | <b>Erstmessung</b>        |           |
| -                                                                                 |                            | Datum                     | 8.12.2018 |
|                                                                                   |                            | Schüttung [l/s]           | n.mb      |
|                                                                                   |                            | Temperatur [°C]           | 4,3       |
|                                                                                   |                            | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 376       |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                            |                           |           |
| vermutlich Überlauf einer gefassten Quelle<br>Zulauf nicht erkennbar              |                            |                           |           |

| Nr.                                                                               | Name                            | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 29                                                                                | Nesselgraben                    | 4              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                  | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach       | 1,0 m          |
|  |                                 |                |
| Lage                                                                              |                                 |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436923                          | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296762                          |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Gärtnerei, „Ursprung“ |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                     |                |
| Kübel                                                                             | Datum                           | 02.12.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                 | n. mb,         |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                 | 7,9            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]       | 758            |
| Anmerkungen                                                                       |                                 |                |
| Zufluss aus mehreren Rohren, Messung und Beprobung Gesamtabfluss                  |                                 |                |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 30                                                                                | Nesselgraben              | 3              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach | 0,5 m          |
|  |                           |                |
| Lage                                                                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437158                    | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296758                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb Teich            |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                     | 26.09.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n. mb.         |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 13,3           |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 637            |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |
| -                                                                                 |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 31                                                                                | Nesselgraben              | 2              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach | 1,0 m          |
|  |                           |                |
| Lage                                                                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437421                    | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296980                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Teich           |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                     | 26.09.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n. mb.         |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 12,2           |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 543            |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |
| -                                                                                 |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                   | Messort                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| 32                                                                                | Moorteich              | 1                         |
| <b>Typ</b>                                                                        |                        |                           |
| Teich                                                                             |                        |                           |
|  |                        |                           |
| <b>Lage</b>                                                                       |                        |                           |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436391                 | GOK [m ü.A.]              |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296210                 |                           |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Koppler Moor |                           |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                        | <b>Erstmessung</b>        |
| -                                                                                 |                        | Datum                     |
|                                                                                   |                        | Schüttung [l/s]           |
|                                                                                   |                        | Temperatur [°C]           |
|                                                                                   |                        | el. Leitfähigkeit [µS/cm] |
|                                                                                   |                        | 19.11.2017                |
|                                                                                   |                        | n.mb                      |
|                                                                                   |                        | 1,6                       |
|                                                                                   |                        | 230                       |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                        |                           |
| -                                                                                 |                        |                           |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 33                                                                                | Rettenbach                | 2              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißenbach     | 2,5 m          |
|  |                           |                |
| Lage                                                                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436481                    | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296493                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Koppler Moor    |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                     | 26.09.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 11,1           |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 490            |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |
| -                                                                                 |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                         | Messort                                                                            |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 34                                                                                | Kanal Moor                   | 1                                                                                  |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                              | <b>Art</b>                                                                         |            |
| Drainage                                                                          |                              | Entwässerungskanal im Koppler Moor                                                 |            |
|  |                              |  |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                              |                                                                                    |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435903                       | GOK [m ü.A.]                                                                       | 764,12     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296316                       |                                                                                    |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Wanderweg durch Koppler Moor |                                                                                    |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                              | <b>Erstmessung</b>                                                                 |            |
| Kübel                                                                             |                              | Datum                                                                              | 19.11.2017 |
|                                                                                   |                              | Schüttung [l/s]                                                                    | n.mb       |
|                                                                                   |                              | Temperatur [°C]                                                                    | 3,3        |
|                                                                                   |                              | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                                                          | 32         |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                              |                                                                                    |            |
| -                                                                                 |                              |                                                                                    |            |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|--------|
| 35                                                                                | Weißbach                  | 4              |        |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |        |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißbach       | 1,0 – 1,5 m    |        |
|  |                           |                |        |
| Lage                                                                              |                           |                |        |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435778                    | GOK [m ü.A.]   | 758,62 |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296495                    |                |        |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Koppler Moor          |                |        |
| Messtyp                                                                           |                           | Erstmessung    |        |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                     | 19.11.2017     |        |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb           |        |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 4,2            |        |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 447            |        |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |        |
| -                                                                                 |                           |                |        |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|
| 36                                                                                | Fischteich                | 1            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                           |              |
| Teich                                                                             |                           |              |
|  |                           |              |
| <b>Lage</b>                                                                       |                           |              |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435795                    | GOK [m ü.A.] |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296488                    |              |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb Koppler Moor     |              |
| <b>Messtyp</b>                                                                    | <b>Erstmessung</b>        |              |
| -                                                                                 | Datum                     | 19.11.2017   |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb         |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 0,6          |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 287          |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                           |              |
| -                                                                                 |                           |              |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 37                                                                                | Rettenbach                | 7              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißbach       | 1,0 m          |
|  |                           |                |
| Lage                                                                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435767                    | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296479                    |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Koppler Moor          |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                     | 19.11.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 5,3            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 522            |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                |
| Mischwasser                                                                       |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                                              | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|
| 38                                                                                | Rettenbach                                        | 3              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                                    | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißbach                               | 1,0 m          |
|  |                                                   |                |
| Lage                                                                              |                                                   |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435792                                            | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296479                                            |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Zusammenführung Weißbach (35) und Rettenbach (37) |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                                       |                |
| Salzverdünnung                                                                    | Datum                                             | 19.11.2017     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                   | n.mb           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                   | 4,9            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                         | 478            |
| Anmerkungen                                                                       |                                                   |                |
| -                                                                                 |                                                   |                |

| Nr.                                                                               | Name                                                | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 41                                                                                | Quelle Fuchsberger Markus                           | 1                                                                                  |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                                     | <b>Art</b>                                                                         |
| Quelle                                                                            |                                                     | Gefasste Quelle (Überlauf)                                                         |
|  |                                                     |  |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                                     |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438613                                              | GOK [m ü.A.] 678,18                                                                |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297366                                              |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb Brücke über Plainfelderbach bei Kanal (19) |                                                                                    |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                                     | <b>Erstmessung</b>                                                                 |
| Kübel                                                                             | Datum                                               | 08.12.2018                                                                         |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                     | n.mb.                                                                              |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                     | 8,5                                                                                |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                           | 1139                                                                               |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                                     |                                                                                    |
| Quellfassung nicht zugänglich, Messung am Überlauf                                |                                                     |                                                                                    |

| Nr.                                                                               | Name              | Messort                    |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|------------|
| 42                                                                                | Quelle Bahngruber | 1                          |            |
| Typ                                                                               |                   | Art                        |            |
| Quelle                                                                            |                   | Gefasste Quelle (Holztrog) |            |
|  |                   |                            |            |
| Lage                                                                              |                   |                            |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436337            | GOK [m ü.A.]               | 654,90     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297744            |                            |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Im Garten         |                            |            |
| Messtyp                                                                           |                   | Erstmessung                |            |
| Kübel                                                                             |                   | Datum                      | 26.09.2017 |
|                                                                                   |                   | Schüttung [l/s]            | n.mb.      |
|                                                                                   |                   | Temperatur [°C]            | n.mb.      |
|                                                                                   |                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]  | 548        |
| Anmerkungen                                                                       |                   |                            |            |
| Quellfassung unbekannt, Messung an Überlauf                                       |                   |                            |            |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| 43                                                                                | Quelle Versnik/Rosenegger | 1                           |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                           | <b>Art</b>                  |            |
| Quelle                                                                            |                           | Gefasste Quelle (Betontrog) |            |
|  |                           |                             |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                           |                             |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436424                    | GOK [m ü.A.]                | 719,11     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297704                    |                             |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Im Garten/Hof             |                             |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                           | <b>Erstmessung</b>          |            |
| Kübel                                                                             |                           | Datum                       | 26.09.2017 |
|                                                                                   |                           | Schüttung [l/s]             | n.mb.      |
|                                                                                   |                           | Temperatur [°C]             | n.mb.      |
|                                                                                   |                           | el. Leitfähigkeit [µS/cm]   | 589        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                           |                             |            |
| Quellfassung unbekannt, Messung an Überlauf                                       |                           |                             |            |

| Nr.                                                                               | Name                                                   | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 45                                                                                | Rettenbach                                             | 8                                                                                  |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                                         | Gewässerbreite                                                                     |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißenbach                                  | 0,4 m                                                                              |
|  |                                                        |  |
| Lage                                                                              |                                                        |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435767                                                 | GOK [m ü.A.]                                                                       |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296479                                                 |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Entwässerungskanal orogr. links, westlich Koppler Moor |                                                                                    |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                                            |                                                                                    |
| Kübel                                                                             | Datum                                                  | 19.11.2017                                                                         |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                        | n.mb                                                                               |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                        | 5,3                                                                                |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                              | 522                                                                                |
| Anmerkungen                                                                       |                                                        |                                                                                    |
| -                                                                                 |                                                        |                                                                                    |

| Nr.                                                                               | Name                                                    | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|------------|
| 46                                                                                | Rettenbach                                              | 9                         |            |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                                          | Gewässerbreite            |            |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißenbach                                   | 0,65 m                    |            |
|  |                                                         |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                                         |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435253                                                  | GOK [m ü.A.]              | 765,63     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296596                                                  |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Entwässerungskanal orogr. rechts, westlich Koppler Moor |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                                         | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Kübel                                                                             |                                                         | Datum                     | 19.11.2017 |
|                                                                                   |                                                         | Schüttung [l/s]           | n.mb       |
|                                                                                   |                                                         | Temperatur [°C]           | 2,6        |
|                                                                                   |                                                         | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 416        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                                         |                           |            |
| -                                                                                 |                                                         |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 47                                                                                | Quelle Reischl            | 1                    |
| <b>Typ</b>                                                                        |                           | <b>Art</b>           |
| Quelle                                                                            |                           | Freier Quellaustritt |
|  |                           |                      |
| <b>Lage</b>                                                                       |                           |                      |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435262                    | GOK [m ü.A.]         |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296421                    |                      |
| Lagebeschreibung                                                                  | Hinter Hof, eingezäunt    |                      |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                           | <b>Erstmessung</b>   |
| Kübel                                                                             | Datum                     | 02.12.2017           |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | n.mb.                |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 4,9                  |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 482                  |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                           |                      |
| -                                                                                 |                           |                      |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort                                                                            |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 49                                                                                | Quelle Fuchsberger 1      | 1                                                                                  |        |
| Typ                                                                               |                           | Art                                                                                |        |
| Quelle                                                                            |                           | Gefasste Quelle (Überlauf)                                                         |        |
|  |                           |  |        |
| Lage                                                                              |                           |                                                                                    |        |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 433401                    | GOK [m ü.A.]                                                                       | 806,87 |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296962                    |                                                                                    |        |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Hof                   |                                                                                    |        |
| Messtyp                                                                           |                           | Erstmessung                                                                        |        |
| Kübel                                                                             | Datum                     | 20.10.2018                                                                         |        |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | 0,133                                                                              |        |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 13,6                                                                               |        |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 590                                                                                |        |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                                                                                    |        |
| Quellfassung nicht zugänglich, Messung am Überlauf (Viehtrog)                     |                           |                                                                                    |        |

| Nr.                                                                               | Name                                 | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|------------|
| 50                                                                                | Quelle Fuchsberger 2                 | 1                         |            |
| Typ                                                                               |                                      | Art                       |            |
| Quelle                                                                            |                                      | Gefasste Quelle (Rohr)    |            |
|  |                                      |                           |            |
| Lage                                                                              |                                      |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435405                               | GOK [m ü.A.]              | 769,32     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296797                               |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Hof, westlich Koppler Moor |                           |            |
| Messtyp                                                                           |                                      | Erstmessung               |            |
| Kübel                                                                             |                                      | Datum                     | 19.11.2017 |
|                                                                                   |                                      | Schüttung [l/s]           | n.mb.      |
|                                                                                   |                                      | Temperatur [°C]           | 5,5        |
|                                                                                   |                                      | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 502        |
| Anmerkungen                                                                       |                                      |                           |            |
| Quellfassung unbekannt, Messung an Überlauf                                       |                                      |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                                 | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 51                                                                                | Quelle Fuchsberger 4                 | 1                                                                                  |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                      | <b>Art</b>                                                                         |
| Quelle                                                                            |                                      | Gefasste Quelle (Rohr)                                                             |
|  |                                      |  |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                      |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435233                               | GOK [m ü.A.]                                                                       |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296755                               |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Hof, westlich Koppler Moor |                                                                                    |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                      | <b>Erstmessung</b>                                                                 |
| Kübel                                                                             | Datum                                | 20.10.2018                                                                         |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                      | 0,180                                                                              |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                      | 12,6                                                                               |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]            | 556                                                                                |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                      |                                                                                    |
| Quellfassung unbekannt, Messung an Überlauf                                       |                                      |                                                                                    |

| Nr.                                                                               | Name                                 | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 52                                                                                | Quelle Fuchsberger 3                 | 1                                                                                  |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                      | <b>Art</b>                                                                         |
| Quelle                                                                            |                                      | Gefasste Quelle (Rohr)                                                             |
|  |                                      |  |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                      |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435345                               | GOK [m ü.A.]                                                                       |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296767                               |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Unterhalb Hof, westlich Koppler Moor |                                                                                    |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                      | <b>Erstmessung</b>                                                                 |
| Kübel                                                                             | Datum                                | 20.10.2018                                                                         |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                      | 0,036                                                                              |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                      | 13,7                                                                               |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]            | 637                                                                                |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                      |                                                                                    |
| Quellfassung unbekannt, Messung an Überlauf                                       |                                      |                                                                                    |

| Nr.                                                                                                                                                                                        | Name                         |                           | Messort        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------|
| 53                                                                                                                                                                                         | Weißbach                     |                           | 5              |
| Typ                                                                                                                                                                                        |                              | Gewässersystem            | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                                                                                                                              |                              | Rettenbach-Weißbach       | 1,2 m          |
| <div></div> <div></div> |                              |                           |                |
| Lage                                                                                                                                                                                       |                              |                           |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                                                                                                                                        | 435672                       | GOK [m ü.A.]              | 773,30         |
| Hochwert (GK M31)                                                                                                                                                                          | 297024                       |                           |                |
| Lagebeschreibung                                                                                                                                                                           | Bei Brücke (Nocksteinstraße) |                           |                |
| Messtyp                                                                                                                                                                                    |                              | Erstmessung               |                |
| Salzverdünnung                                                                                                                                                                             |                              | Datum                     | 19.11.2017     |
|                                                                                                                                                                                            |                              | Schüttung [l/s]           | n.mb           |
|                                                                                                                                                                                            |                              | Temperatur [°C]           | 1,8            |
|                                                                                                                                                                                            |                              | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 427            |
| Anmerkungen                                                                                                                                                                                |                              |                           |                |
| -                                                                                                                                                                                          |                              |                           |                |

| Nr.                                                                               | Name                         | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|
| 54                                                                                | Weißbach                     | 6              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem               | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Rettenbach-Weißbach          | 0,5 m          |
|  |                              |                |
| Lage                                                                              |                              |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 434486                       | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297133                       |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | An Fußweg Richtung Nockstein |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                  |                |
| Kübel                                                                             | Datum                        | 21.10.2018     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]              | 0,12           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]              | 9,4            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]    | 519            |
| Anmerkungen                                                                       |                              |                |
| -                                                                                 |                              |                |

| Nr.                                                                               | Name                                     | Messort                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 55                                                                                | Quelle Fuchsberger Johann u.a.           | 1                                                                                                                                                                         |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                          | <b>Art</b>                                                                                                                                                                |
| Quelle                                                                            |                                          | Gefasste Quelle (Überlauf)                                                                                                                                                |
|  |                                          | <br> |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                          |                                                                                                                                                                           |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 435621                                   | GOK [m ü.A.]                                                                                                                                                              |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297453                                   |                                                                                                                                                                           |
| Lagebeschreibung                                                                  | Quellfassung auf Weide, Überlauf im Wald |                                                                                                                                                                           |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                          | <b>Erstmessung</b>                                                                                                                                                        |
| Kübel                                                                             | Datum                                    | 20.10.2018                                                                                                                                                                |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                          | 0,081                                                                                                                                                                     |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                          | 11,5                                                                                                                                                                      |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                | 589                                                                                                                                                                       |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                          |                                                                                                                                                                           |
| Quellfassung nicht zugänglich, Messung an Überlauf im Wald                        |                                          |                                                                                                                                                                           |

| Nr.                                                                               | Name                                               | Messort                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 56                                                                                | Waldquelle 4                                       | 1                                    |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                                    | <b>Art</b>                           |
| Quelle                                                                            |                                                    | Gefasste Quelle (Schwarzer Schlauch) |
|  |                                                    |                                      |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                                    |                                      |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436982                                             | GOK [m ü.A.] 657,96                  |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298054                                             |                                      |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb Salzburg Ring, östlich Habachergraben (9) |                                      |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                                    | <b>Erstmessung</b>                   |
| Kübel                                                                             | Datum                                              | 21.10.2018                           |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                                    | 0,117                                |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                                    | 9,8                                  |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                          | 579                                  |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                                    |                                      |
| Quellfassung unbekannt, Messung an Überlauf                                       |                                                    |                                      |

| Nr.                                                                               | Name                                                                | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------|
| 57                                                                                | Waldquelle 5                                                        | 1                         |            |
| Typ                                                                               |                                                                     | Art                       |            |
| Quelle                                                                            |                                                                     | Freier Quellaustritt      |            |
|  |                                                                     |                           |            |
| Lage                                                                              |                                                                     |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 437367                                                              | GOK [m ü.A.]              | 668,36     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298150                                                              |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Oberhalb Salzburg Ring, westlich Habachergraben, östlich Tiefenbach |                           |            |
| Messtyp                                                                           |                                                                     | Erstmessung               |            |
| Kübel                                                                             |                                                                     | Datum                     | 21.10.2018 |
|                                                                                   |                                                                     | Schüttung [l/s]           | 0,007      |
|                                                                                   |                                                                     | Temperatur [°C]           | 10,9       |
|                                                                                   |                                                                     | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 534        |
| Anmerkungen                                                                       |                                                                     |                           |            |
| -                                                                                 |                                                                     |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name             | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|------------|
| 58                                                                                | Quelle Kiesgrube | 1                         |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                  | <b>Art</b>                |            |
| Quelle                                                                            |                  | Freier Quellaustritt      |            |
|  |                  |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                  |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 434732           | GOK [m ü.A.]              | 702,73     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297782           |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Im Steinbruch    |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                  | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Kübel                                                                             |                  | Datum                     | 26.09.2017 |
|                                                                                   |                  | Schüttung [l/s]           | 0,382      |
|                                                                                   |                  | Temperatur [°C]           | 7,7        |
|                                                                                   |                  | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 342        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                  |                           |            |
| -                                                                                 |                  |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                             | Messort                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------|
| 59                                                                                | Drainage, Ablauf                 | 1                         |            |
| <b>Typ</b>                                                                        |                                  | <b>Art</b>                |            |
| Drainage                                                                          |                                  | Drainagerohr              |            |
|  |                                  |                           |            |
| <b>Lage</b>                                                                       |                                  |                           |            |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 438300                           | GOK [m ü.A.]              | 667,92     |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297535                           |                           |            |
| Lagebeschreibung                                                                  | Bei Brücke (Jochen-Rindt-Straße) |                           |            |
| <b>Messtyp</b>                                                                    |                                  | <b>Erstmessung</b>        |            |
| Kübel                                                                             |                                  | Datum                     | 16.09.2018 |
|                                                                                   |                                  | Abstich [m]               | 0,269      |
|                                                                                   |                                  | Temperatur [°C]           | 15,8       |
|                                                                                   |                                  | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 579        |
| <b>Anmerkungen</b>                                                                |                                  |                           |            |
| -                                                                                 |                                  |                           |            |

| Nr.                                                                               | Name                                          | Messort        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|
| 60                                                                                | Plainfelderbach (Ursprung)                    | 5              |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                                | Gewässerbreite |
| Fließgewässer                                                                     | Plainfelderbach                               | 0,50 m         |
|  |                                               |                |
| Lage                                                                              |                                               |                |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 439246                                        | GOK [m ü.A.]   |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 296929                                        |                |
| Lagebeschreibung                                                                  | Zulauf Plainfelderbach (Quelle Schmitzberger) |                |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                                   |                |
| Kübel                                                                             | Datum                                         | 13.01.2018     |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                               | 4,58           |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                               | 8,3            |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]                     | 610            |
| Anmerkungen                                                                       |                                               |                |
| -                                                                                 |                                               |                |

| Nr.                                                                               | Name                                    | Messort                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 61                                                                                | Waldbach                                | 1                                                                                  |
| Typ                                                                               | Gewässersystem                          | Gewässerbreite                                                                     |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach               | 0,30 m                                                                             |
|  |                                         |  |
| Lage                                                                              |                                         |                                                                                    |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436983                                  | GOK [m ü.A.] 656,71                                                                |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 298068                                  |                                                                                    |
| Lagebeschreibung                                                                  | Vor Einmündung in Habachergraben (Rohr) |                                                                                    |
| Messtyp                                                                           | Erstmessung                             |                                                                                    |
| Kübel                                                                             | Datum                                   | 21.10.2018                                                                         |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]                         | 0,07                                                                               |
|                                                                                   | Temperatur [°C]                         | 10,4                                                                               |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm]               | 587                                                                                |
| Anmerkungen                                                                       |                                         |                                                                                    |
| -                                                                                 |                                         |                                                                                    |

| Nr.                                                                               | Name                      | Messort                                                                            |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 62                                                                                | Waldbach                  | 2                                                                                  |        |
| Typ                                                                               | Gewässersystem            | Gewässerbreite                                                                     |        |
| Fließgewässer                                                                     | Zubringer Plainfelderbach | 0,2 m                                                                              |        |
|  |                           |  |        |
| Lage                                                                              |                           |                                                                                    |        |
| Rechtswert (GK M31)                                                               | 436870                    | GOK [m ü.A.]                                                                       | 685,79 |
| Hochwert (GK M31)                                                                 | 297973                    |                                                                                    |        |
| Lagebeschreibung                                                                  | In Feld, Ursprung         |                                                                                    |        |
| Messtyp                                                                           |                           | Erstmessung                                                                        |        |
| Kübel                                                                             | Datum                     | 08.12.2018                                                                         |        |
|                                                                                   | Schüttung [l/s]           | 1,67                                                                               |        |
|                                                                                   | Temperatur [°C]           | 8,6                                                                                |        |
|                                                                                   | el. Leitfähigkeit [µS/cm] | 570                                                                                |        |
| Anmerkungen                                                                       |                           |                                                                                    |        |
| -                                                                                 |                           |                                                                                    |        |