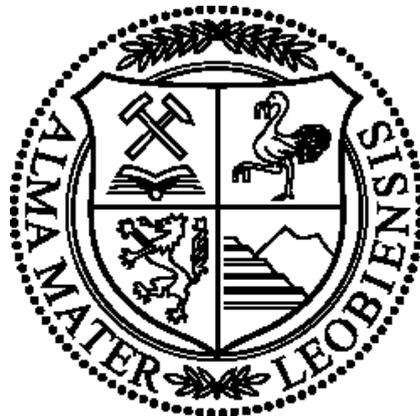


# Hydrogeologie und Landschaftsgeschichte des Leopoldskroner Moores, Stadt Salzburg, Österreich



Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs

**BSc. Werner Hermann NISCHLER**

Dezember, 2015

**Betreuer**

Ao. Univ.-Prof. Mag. et Dr. rer. nat. Hans-Jürgen GAWLICK<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik  
Lehrstuhl für Erdölgeologie, Montanuniversität Leoben

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

## **AFFIDAVIT**

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume

Dezember 2015

---

Werner Hermann NISCHLER

# Inhaltsverzeichnis

## Zusammenfassung

### Abstract

<b>1. Einführung und Überblick</b>	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Methodologie	2
1.3 Jüngste Erkenntnisse	3
1.4 Geographischer Überblick	4
1.4.1. Das Leopoldkroner Moor	5
1.4.1.1. Geschichte des Leopoldkroner Moores	5
1.4.1.2. Historischer Verlauf der Glan	8
<b>2. Geologie</b>	11
2.1 Das Salzburger Becken	11
2.2 Nördliche Kalkalpen	12
2.3 Quartär und Beckenfüllung	16
2.4 Hydrogeologie	22
2.4.1 Ökonomische Bedeutung	26
<b>3. Methodik und Grundlagen der hydrogeologischen Untersuchungen</b>	28
3.1 Bohrprofile	28
3.2 Hydrogeologische Messungen	29
3.2.1 Abstichmessung	30
3.2.2 Grundwassertemperatur	31
3.2.3 Elektrische Leitfähigkeit	32
3.2.4 pH-Wert	32
3.3 Isotopen Hydrogeologie	33
3.3.1 Grundlagen	33
3.3.2 Höheneffekt	34
3.4 Hydrochemie	34
3.4.1 Chemisch-physikalische Werte	36
3.4.2 Klassifikation	38
<b>4. Ergebnisse und Interpretation</b>	41
4.1 Grundwasser	41
4.1.1 Resultate	41
4.1.2 Interpretation	66
4.2 Fließgewässer	72
4.2.1 Resultate und Interpretation	72
4.3 Sedimentanalyse	75
4.3.1 Resultate	75
4.3.2 Interpretation	78
4.4 Seetonrelief	80
4.4.1 Resultate und Interpretation	80
4.5 Bohrprofile	82
4.5.1 Resultate	82
4.5.2 Interpretation	83
<b>5. Diskussion der Ergebnisse</b>	88
<b>6. Ökonomische Bedeutung</b>	91
<b>7. Schlussfolgerung</b>	93
<b>8. Ausblick</b>	94
<b>9. Danksagung</b>	96
<b>10. Literatur</b>	97
<b>11. Anhang</b>	103

## Zusammenfassung

Das Salzburger Becken wurde im letzten Spät- und Postglazial mit feinklastischen lakustrinen Sedimenten und fluviatilen Sanden verfüllt. Diese lakustrinen Sedimente, auch "Salzburger Seeton" genannt, stellen die stauende Schicht im Untergrund dar.

Das Grundwasser strömt in Sanden und Kiesen, die sich oberhalb dieser stauenden Schicht befinden, vom untersbergnahen Süden nach Norden, unter dem Leopoldskroner Moor in Richtung Salzburger Stadtgebiet. Im Nordosten infiltriert das Grundwasser die Salzach, im Nordwesten die Glan. Die Mächtigkeit des Grundwassers beträgt einige Meter bis wenige Zehnermeter. Der Aquifer ist zusammenhängend und ungespannt. Nur in Bereichen des Leopoldskroner Moores kann es durch Feinsand- und Schlufflagen zu gespannten Grundwasserverhältnissen kommen. Ein zweiter stagnierender und moorbezogener Grundwasserleiter bildet sich über dem tieferliegenden Grundwasserleiter aus.

Um die komplexe hydrologische und hydrogeologische Situation des Raumes Leopoldskron mit besonderem Bezug auf die Wechselwirkung Grundwasser-Oberflächenwasser zu charakterisieren, wurden auf Ämtern Daten in Form von Bohrprofilen erhoben. Es wurden sämtliche relevanten Daten manuell in geeignete Programme eingegeben, um hydrogeologische Aussagen treffen zu können. Zudem wurden an Grundwassermessstellen die Parameter Abstich, Leitfähigkeit und pH-Wert über 13 Monate hin gemessen. An neun Grundwassermessstellen wurde eine chemische Analyse des Grundwassers durchgeführt. Überdies wurde die Sedimentfüllung des Salzburger Beckens einer sedimentologischen Untersuchungen und einer geomorphologischen Betrachtung unterzogen, um die Frage zu klären ob die Sande und Kiese von der Salzach oder der Königsseeache transportiert wurden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind: Die Königsseeache hat zweifelsfrei die Sande und Kiese im Bereich des Leopoldskroner Moor sedimentiert. Für die Grundwasserneubildung und die Grundwasserschwankungen ist rein der Niederschlag im Becken und an den Untersbergabhängen ausschlaggebend. Es finden sowohl Interaktionen Fließgewässer-Grundwasser, als auch moorbezogener Grundwasserleiter-tieferliegender Grundwasserleiter statt. Die Chemie des Grundwassers ist von karbonatisch-alkalischem Typ und spiegelt im Wesentlichen die Geologie des Einzugsgebietes wieder. Das Grundwasser unter dem

Leopoldskroner Moor ist reduzierend. Der TOC-Gehalt und die elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers sind erhöht. Außerhalb des Leopoldskroner Moores treten erhöhte Nitrat-Werte auf.

Eine Grundwasserentnahme zur Gewinnung als Trinkwasser im Untersuchungsgebiet sollte durch folgende Faktoren nicht gestattet werden : 1) Die Grundwasserschwankungen sind hoch und niederschlagsbeeinflusst, was bedeutet, dass es durch die Entnahme von Trinkwasser zu einer schnellen Erniedrigung des Grundwasserspiegels kommt und dadurch wird es verstärkt zur Infiltration von Flusswasser kommen. Dieses Flusswasser, vornehmlich aus der Glan, zeigt jedoch starke Beeinflussung des oberen moorbezogenen Grundwasserleiters, was sich in einer Erhöhung der Leitfähigkeit und der Temperatur der Glan Richtung Salzburger Stadtgebiet bemerkbar macht. 2) Durch die Grundwasserentnahmen und die damit verbundene Erniedrigung der Grundwasseroberfläche würden vermehrt Setzungserscheinungen im Zentimeter- und Dezimeter-Bereich auftreten. 3) Da die Grundwasserneubildung durch Niederschlag erfolgt, lässt sich daraus schließen, dass es nur eine gering schützende Sedimentüberdeckung gibt und die Filterwirkung der Kiese und Sande gering ist. 4) Das Grundwasser, mit erhöhten Werten an Nitrat, TOC (Total Organic Carbon) und elektrischer Leitfähigkeit ist nicht ohne aufwendige und umfangreiche Aufbereitung als Trinkwasser geeignet. 5) Die Interaktion Grundwasser-Oberflächenwasser und die Interaktion moorbezogener Grundwasserleiter-tieferliegender Grundwasserleiter sind sehr komplex und werden noch nicht genau verstanden.

## **Abstract**

The Salzburg basin was filled in last late and postglacial stage with fine clastic lacustrine sediments and fluvial sands. These lacustrine sediments, called "Salzburger Seeton", build the impermeable layer in the underground.

The groundwater flows in sand and gravel above the impermeable layer from the Untersberg in the south to the north, below the "Leopoldskroner Moor", in the direction to Salzburg. In the northeast the groundwater infiltrates the Salzach, in the northwest the Glan. The groundwater horizon is a few meters to a few tens of meters thick. The aquifer is continuous and unstressed. Only in areas of the "Leopoldskroner Moor" there can be strained circumstances caused by fine sand and silt layers. A second stagnating aquifer in a higher horizon is formed above the deeper aquifer.

To characterize the complex hydrological and hydrogeological situation of the area Leopoldskron, with special reference to the interaction groundwater-surface water, data in the form of well logs were collected in offices. All relevant data was manually entered into appropriate programs. This dataset is needed to make hydrogeological interpretations. In addition for 13 months groundwater monitoring for the parameters, depth of the groundwater, conductivity and PH-value was made. At nine selected groundwater measurement locations a chemical groundwater analysis was carried out. Moreover, the sediment filling of the Salzburg basin has undergone a sedimentological and geomorphological consideration, to clarify the question: the sands and gravels were transported from the Salzach or Königsseeache?

The results of these studies are: The Königsseeache has without doubt transported the sands and gravels in the area of the "Leopoldskroner Moor". The groundwater recharge and the groundwater fluctuations in the basin and on the lower mountain slopes are only influenced by precipitation. There are river-groundwater interactions as well as higher groundwater-deeper groundwater interactions. The groundwater chemistry is of calcareous-alkaline type and mainly reflects the geology of the basin filling. The groundwater under the "Leopoldskroner Moor" is reducing. The TOC (Total Organic Carbon) content and the electrical conductivity of the groundwater are increased. Outside the "Leopoldskron Moor" increased nitrate levels occur.

Groundwater exploitation as drinking water in the study area should not be allowed by the following reasons: 1) The groundwater fluctuations are high and precipitation affected, which means that there is a rapid degradation of groundwater by the abstraction of drinking water and thus it could come to increasing infiltration from river water. However, this river water, primarily the Glan, shows strong influence of the higher aquifer, which manifests itself in an increase in the conductivity and temperature of the Glan to the direction of Salzburg. 2) The groundwater extraction and the lowering of the water table, would lead to increased subsidence in centimeter and decimeter range in this area. 3) Since the groundwater recharge is done by precipitation, it can be concluded that there is only small protective sediment coverage and the vulnerability is low. 4) The groundwater chemistry, with elevated levels of nitrate, TOC and conductivity values is not suitable as drinking water without extensive and elaborate treatment measures. 5) The interaction groundwater-surface water and the interaction higher groundwater horizon-deeper groundwater layer are very complex and are not yet well understood.

# 1. Einführung und Überblick

"In der grauen Vorzeit, so erzählt die Sage, hatten die Ritter von Tollenstein an der Stelle, wo jetzt das Schloss Leopoldskron steht, eine starke Beste erbaut. Sie besaßen großen Reichthum, der aber nach und nach verloren gieng, so dass der letzte Tollensteiner, Ritter Burkhard, zu der Zeit als noch die Zwerge im Untersberge ihr Wesen trieben und die Menschen an sich lockten, um sie zu verderben, in ihre Hände gerieth und durch die Verschwendungssucht seiner Gattin den Untergang fand. Das Geschlecht war mit ihm ausgestorben; die Burg ist spurlos verschwunden. Das Moor blieb spärlich bewohnt und nur kleine Theile desselben wurden urbar gemacht." (Knorz, 1900)

Das Leopoldskroner Moor und der im Süden gelegene Untersberg, waren schon von jeher berühmt für ihre vielen Sagen und Sagengestalten. Das Leopoldskroner Moor wurde schon im beginnenden 18. Jahrhundert entwässert und kulturtechnisch genutzt. Auch waren im Stadtteil Leopoldskron Moos Heilbäder beheimatet. Nicht zuletzt durch den Torfabbau, bedingt durch die Kultivierung und Nutzung als Heizmaterial verlor das Leopoldskroner Moor allmählich seinen Moorcharakter.

## 1.1 Zielsetzung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die komplexe hydrologische und hydrogeologische Situation des Raumes Leopoldskron mit besonderem Bezug auf die Wechselwirkung Grundwasser-Oberflächenwasser zu erfassen und somit auf den neuesten Stand zu bringen. Die vorliegende Literatur zum Untersuchungsgebiet stammt überwiegend aus den 1970er-Jahren und älter.

Im südlichen Gebiet gab es in den letzten Jahren, initiiert durch die Firma ZT GmbH mehrere wissenschaftliche Arbeiten und Diplomarbeiten. Hier zu erwähnen sind die Diplomarbeiten von Bichler & Reischer (2013) und Donadel (2012). Diese neuen Erkenntnisse über die Verhältnisse des Untersuchungsgebiets sollten hier Berücksichtigung finden.

Auch ältere Arbeiten, die mittlerweile als Standardwerke für das Salzburger Becken gelten sollten auf ihre Plausibilität überprüft werden, beziehungsweise ergänzt werden. Die im Fokus liegenden Arbeiten sind hier im wesentlichen Brandecker (1974) und Kirchner et al. (1978).

Die Entwicklung des Landschaftsraumes in Raum und Zeit haben maßgeblichen Einfluss auf die Ausbildung vieler hydrologischer Effekte. Grundwasserströmungsrichtung und Grundwasserhöhe werden stark beeinflusst vom Relief der stauenden Schicht/Schichten. Die Vegetation des Landschaftsraumes beeinflusst die chemische Zusammensetzung des Grundwassers. So weisen zum Beispiel Moorwässer im Allgemeinen einen niedrigen pH Wert auf. Zudem unterscheidet sich Moorwasser noch in vielen anderen Parametern von herkömmlichem Grundwasser.

Zudem sollte die Sedimentfüllung des Salzburger Beckens, im Süden der Stadt Salzburg, einer sedimentologischen und geomorphologischen Betrachtung unterzogen werden, um die Frage zu klären, ob die Sande und Kiese von der Salzach oder der Königsseeache transportiert wurden.

## **1.2 Methodologie**

Die Datenerhebung auf Ämtern (Landesgeologie, Referat Hydrographischer Landesdienst, Magistrat Salzburg) und in Ingenieurbüros stellt ein erstes unerlässliches Werkzeug dar für die Sammlung wichtiger und relevanter Daten. Es wurden alle relevanten Daten (Bohrprofile, Grundwasserdaten etc.) gesammelt, archiviert und in geeignete Programme überführt und ausgewertet. Zusätzlich wurden historische Karten der unverbauten Salzach bzw. des Glankanals und der historischen Bebauung erhoben.

Messungen im Feld (pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Pegelstände an Grundwasseraufschlüssen und Messungen der Glan selbst in verschiedenen Abschnitten entlang des Moores) wurden durchgeführt. Grundwasserchemie und Isotopenhydrologie sind zusätzliche geeignete Hilfsmittel um die Wechselwirkung der Wässer im Untersuchungsgebiet genauer zu verstehen.

Sedimente im Liegenden des Leopoldskroner Moores wurden einer Herkunftsbestimmung unterzogen. Dazu wurden in einem Schurfgraben innerhalb des Leopoldskroner Moores vier Sedimentproben aus unterschiedlichen Horizonten des Sedimentstapels gewonnen. Diese Proben wurden auf ihren

Komponentenbestand untersucht, um anschließend das Liefergebiet der Sande und Kiese des Leopoldskroner Moores zu charakterisieren.

Der Auswertung der Grundwasserverhältnisse sollte mit Daten, soweit vorhanden, der Umliegenden nicht mehr moorbezogenen Gebiete (Maxglan, Leopoldskron, Nonntal, Kleingmain, Gneis, Morzg, Anif, Grödig, Glanegg, Fürstenbrunn, Viehhausen, Himmelreich, Flughafen Salzburg; Abb. 1) ergänzt werden.

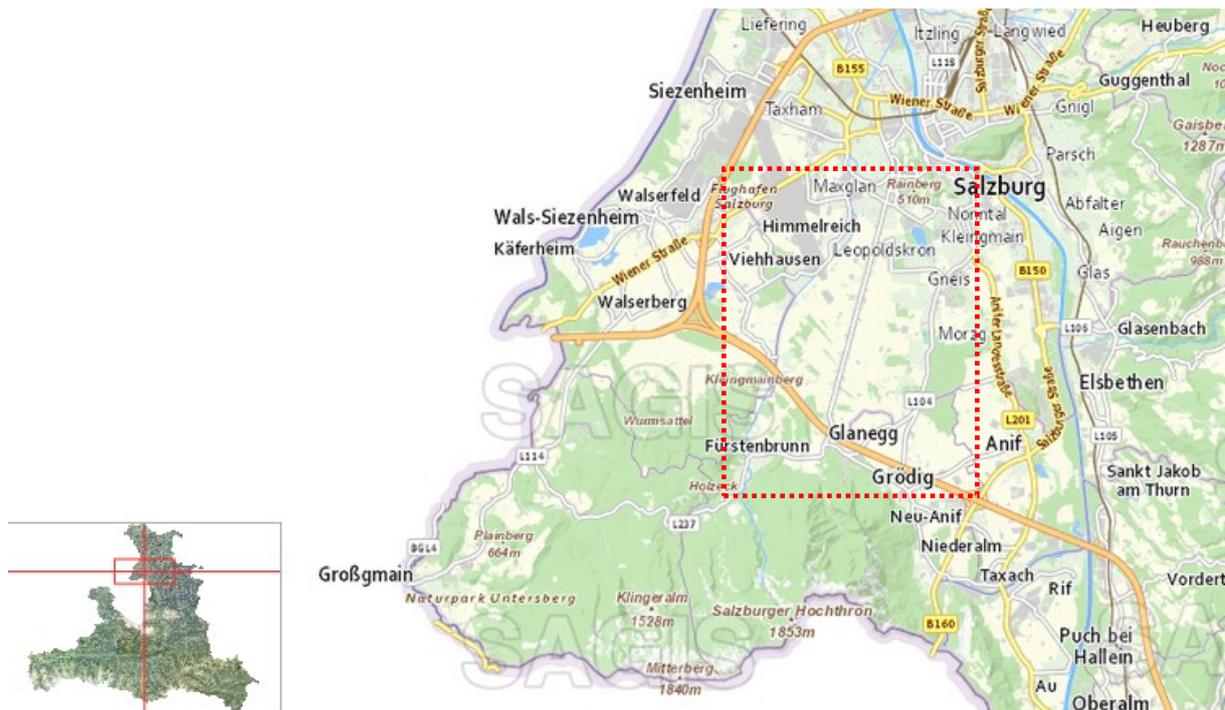


Abb. 1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet [Rotes Rechteck], (Quelle: SAGISonline des Landes Salzburg).

### 1.3 Jüngste Erkenntnisse

In den letzten Jahren, gab es initiiert durch die Firma Geoconsult ZT GmbH einen deutlichen Wissenszuwachs und mehrere neue Erkenntnisse im Bereich südlich der Stadt Salzburg:

- Donadel, 2012: "Im Salzburger Becken kam es im Verlauf des Postglazials nur zu einem einzigen Hochwasserereignis bei dem sich eine Deltaablagerung von der Mündung der Saalach (Abb. 2) am heutigen Walserberg (Abb. 2) über das gesamte Becken ausbreitete bis zum gegenüberliegenden Beckenrand an den Stadtbergen im Nordosten. Der Grund für dieses Hochwasserereignis hängt mit Damnbrüchen ehemaliger Eisrandseen zusammen. Im

Mündungsbereich der Königsseeache (Abb. 3) haben Bergsturzereignisse den Mündungsbereich verschüttet und den Fluss gezwungen seine Richtung zu ändern. Als Folge schnitt sich die Königsseeache epigenetisch in die anstehenden Gesteine des Tirolikums ein."

- Bichler & Reischer, 2013: "Im Porenaquifer des Salzburger Beckens bestätigen die stabilen Isotope die Infiltration der Königsseeache bei St. Leonhard (Abb. 3). Hier zeigen die Königsseeache und in deren Nähe gelegene Grundwassermessstellen sehr ähnliche  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte und auch einen ähnlichen Jahresgang der Werte. Weiter Richtung Becken nimmt der Anteil des über dem Becken gefallenen Niederschlags an der Grundwasserneubildung zu. Die Daten dieser Arbeit zeigen, dass große Grundwasserspiegelschwankungen auch im Winter auftreten, während der Abfluss des Karstsystems zur selben Zeit gering ist. Das führt zum Schluss, dass dem Niederschlag in den Randbereichen des Salzburger Beckens für die Grundwasserneubildung eine größere Bedeutung zukommt als bisher angenommen wurde."
- Nischler & Gawlick, 2015: " Die Königsseeache hat zweifelsfrei die Sande und Kiese im Bereich des Leopoldskroner Moor sedimentiert. Für die Grundwasserneubildung und die Grundwasserschwankungen ist rein der Niederschlag im Becken und an den Untersbergabhängen ausschlaggebend. Es finden sowohl Interaktionen Fließgewässer-Grundwasser, als auch moorbezogener Grundwasserleiter-tieferliegender Grundwasserleiter statt. Die Chemie des Grundwassers ist von karbonatisch–alkalischem Typ und spiegelt im Wesentlichen die Geologie des Einzugsgebietes wieder. Das Grundwasser unter dem Leopoldskroner Moor ist reduzierend. Der TOC-Gehalt und die elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers sind erhöht. Außerhalb des Leopoldskroner Moores treten erhöhte Nitrat-Werte auf."

#### **1.4 Geographischer Überblick**

Das Untersuchungsgebiet liegt überwiegend im südlichen Teil der Stadt Salzburg im Stadtteil Leopoldskron Moos. Das Untersuchungsgebiet (Abb. 2) befindet sich im Salzburger Becken und wird im Norden von dem Salzburger Stadtgebiet sowie den Stadtbergen, im Osten von der Friedhofsterrasse (Abb. 2), einer postglazialen

Terrassenkante, im Süden von der Autobahn A10, im Westen und Nordwesten vom Glanfeldbach, der Glan und vom Flughafen begrenzt.

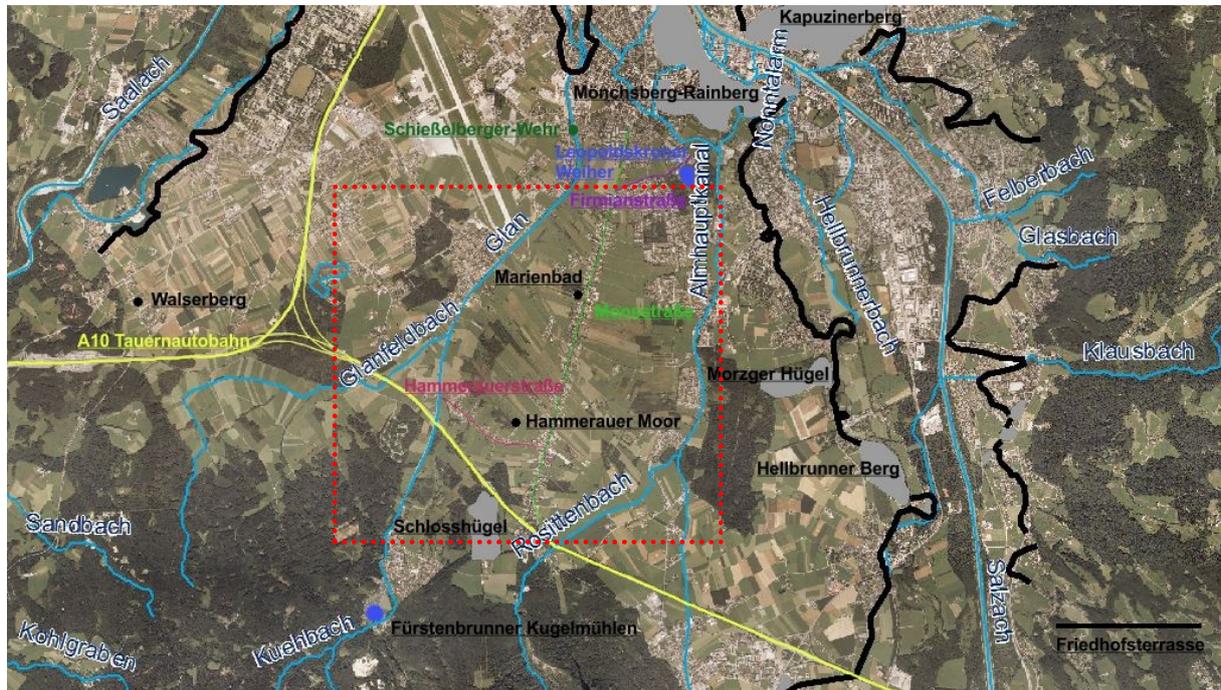


Abb. 2: Karte des Untersuchungsgebietes (Rotes Rechteck) und seiner Umgebung.

#### 1.4.1. Das Leopoldskroner Moor

##### 1.4.1.1. Geschichte des Leopoldskroner Moores

Bereits 1598 begann Fürsterzbischof Wolf Dietrich von Raitenau das Leopoldskroner Moor südlich des Mönchsberges und des Rainberges (Abb. 2) in den stadtnahen Teilen, teilweise zu entwässern. Die Kultivierung des Leopoldskroner Moores begann mit der Verleihung eines Privilegs zum Abbau des Torfes im Jahr 1735 durch den Erzbischof Leopold Anton Graf von Firmian an Pater Bernhard Stuart. Erst unter Fürsterzbischof Colloredo (1772–1803) begann der professionell betriebene Torfabbau (Stadt Salzburg, 2009).

Ein weiterer wichtigerer Schritt zur Kultivierung des Moores war die Kanalisierung und die zwischen 1934 und 1955 erfolgte Begradigung und Tieferlegung der Glan.

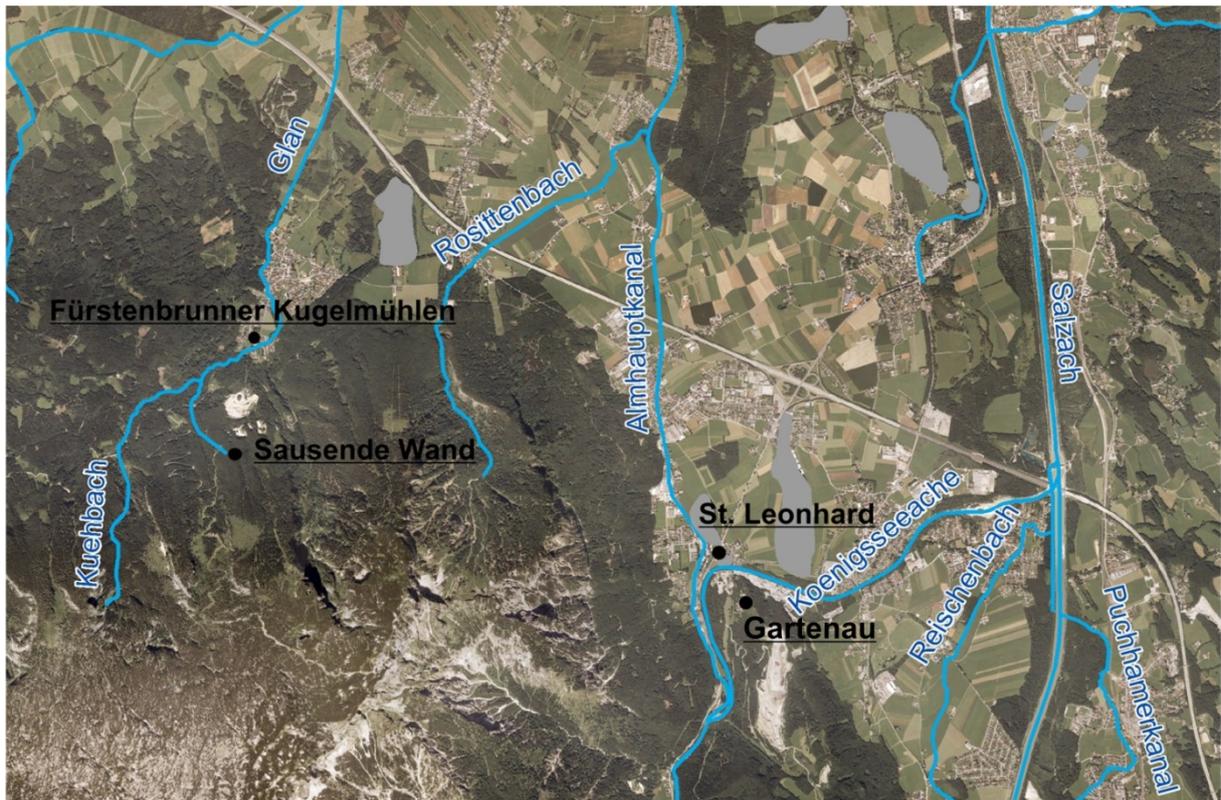


Abb. 3: Karte südlich des Untersuchungsgebietes.

Erzbischof Leopold Anton von Firmian ließ an einem kleineren Fischweiher, der durch den Abbau von Torf entstandene Leopoldskroner Weiher (Abb. 2), für sich und seine Familie ein Lustschloss errichten. Im Zuge dessen kaufte der Fürsterzbischof für sein Adelsgeschlecht das gesamte Moor schrittweise auf. Daraufhin bürgerte sich nach dem Vornamen des Erzbischofs allmählich der Name Leopoldskroner Moos ein.

Das Hammerauer Moor nördlich der Hammerauerstraße (Abb. 2) stellt einen der letzten noch weitgehend naturnahen Reste des seinerzeit ausgedehnten Leopoldskroner Moores dar und ist heute Naturschutzgebiet. Die 5,35 Kilometer lange Moosstraße (Abb. 2), welche vom Rainbergfuß im Nordosten gerade bis zum Eingang des Schlossareals Glanegg im Südosten reicht, durchquert das Leopoldskroner Moor entlang seiner Längserstreckung. Schon unter Erzbischof Firmian wurde die Straße als befahrbarer Knüppelweg angelegt. Sie wurde 1805-1807 zu einer befahrbaren Straße ausgebaut. Mit der Aufschließung des Landschaftsraumes um die Moosstraße, begann allmählich auch die Besiedelung in Form einer spätbarocken Moorhufensiedlung. Die ersten Wohnhäuser, sogenannte Mooshäuser wurden um 1800 südlich der Firmianstraße (Abb. 2) errichtet. Das Marienbad (Abb. 2), das erste Moorbad, entstand hier 1828 und 1859 wurde das Schulhaus erbaut. Erst nach Begradigung der Glan im Moorgebiet und der damit

verbundenen großräumigen Entwässerungsmöglichkeit wurde eine intensivere Landwirtschaft möglich (Abb. 4).



Abb. 4: Torfstiche im Leopoldskroner Moor um 1900 (Stadt Salzburg, 2009).

Im Zuge des raschen Wachstums während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat die Stadt Salzburg ihre für die Besiedelung besonders geeigneten Kernräume weit überbordert und in das Umland ausgegriffen. Im Gebiet Leopoldskron-Gneis (Abb. 2) erreichten städtische Siedlungsformen eine der artenreichsten und unberührtesten Moorlandschaften in naher Umgebung einer mitteleuropäischen Großstadt (Üblagger in Kirchner et al., 1978). In dieser Zeit entstanden eine Reihe von neuen Siedlungen und entlang der Moosstraße eine Vielzahl von Einzelhäusern. Durch die Errichtung dieser Häuser wurde durch Bautätigkeit und Entwässerungsmaßnahmen in ein empfindliches hydrogeologisches System eingegriffen.

In den späten 1970er Jahren wurden nach Schätzungen im Untersuchungsgebiet die Haushaltsabwässer von 3200 EGW (EGW = Einwohnergleichwert) zur Versickerung gebracht. Bis auf eine vollbiologische Kläranlage für 210 EGW waren durchwegs nur mechanisch wirkende Hauskläranlagen in Verwendung, deren Überwässer entweder direkt ins Grundwasser gelangten, meist jedoch in den unteren Bereich der Torfschicht zur Versickerung gebracht wurden. Dieses belastete Grundwasser folgte der Grundwasserströmungsrichtung und infiltrierte die Glan und den Almhauptkanal (Abb. 2) als Vorfluter. Die Glan und der Almhauptkanal hatten zu dieser Zeit die Gewässergüte II-III (mäßig belastet bis belastet).

Durch das teilweise gespannt vorliegende Grundwasser und die Tatsache dass die Sickerschächte im Laufe der Zeit durch Verschlämmung und Verockerung unbrauchbar wurden, stieg der Grundwasserspiegel in den Schächten bis auf 0,4 Meter unter Niveau an. Dies bewirkte nicht nur einen Rückstau in den Sickeranlagen,

sondern überstaute zusätzlich noch die Kläranlagen. Die ohnehin schon geringe Klärwirkung dieser Anlagen kam damit fast vollständig zum Erliegen.

Ein Faktor für den Anstieg des Grundwasserspiegels war sicherlich auch die immer mehr zunehmende Versiegelung der Oberfläche für die Versickerung von Regenwässern. Es sollte zu weniger Versickerung und mehr Oberflächenabfluss führen. Dach- und Straßenwässer passierten nicht mehr flächenhaft die oberste Schicht des Bodens, sondern belasteten mehr und mehr punktförmig die Sickerfähigkeit des Untergrundes. Darüber hinaus wurden neben den Versickerungen sowohl Regenwässer als auch Abwässer, teilweise unkontrolliert, in die Drainagegräben des Leopoldskroner Moores abgeleitet (Czernin-Chudenitz in Kirchner et al., 1978).

In den späten 1970er Jahren und frühen 1980er Jahren fand ein Umdenken statt, dem Gewässerschutz sollte zunehmend Rechnung getragen werden. Die Gewässergüte sollte so rasch wie möglich auf maximal Güte zwei angehoben werden und diese Güte auch erhalten bleiben. Auch der damalige Bundeskanzler Bruno Kreisky erklärte: "Wir wollen erreichen, dass in 5-7 Jahren alle Gewässer rein sind!" Die Errichtung des Kanalnetzes in den darauffolgenden Jahrzehnten entlastete das Grundwasser sowie die Vorfluter und trug maßgeblich zu einer Verbesserung der Wässer bei.

#### **1.4.1.2. Historischer Verlauf der Glan**

Die Glan entsteht bei den Fürstenbrunner Kugelmühlen (Abb. 2) durch den Zusammenfluss dreier Quellbäche. Die topographisch höchstgelegene Quelle ist auf ca. 1400 m an der, südlich der Fürstenbrunner Kugelmühlen, gelegenen Sausenden Wand (Abb. 3) zu finden (Gerabek, 1971). Die Fürstenbrunner-Quelle diente früheren Erzbischöfen als Trinkwasserquelle, wovon sich auch der Ortsname Fürstenbrunn ableitet.

Unter den Menschen wurde die Qualität des Wassers gerühmt. 1661 schlug der erstmalige Versuch der Errichtung einer Trinkwasserleitung für die Stadt Salzburg fehl. Am 31. Oktober 1875 wurde die 1874/1875 neu gefasste Quelhöhle und die Hochquellleitung in die Stadt Salzburg fertiggestellt und von Oberbürgermeister Ignaz Harrer eröffnet. Die Quelfassung schüttete damals 4.000 m<sup>3</sup> pro Tag.

Die Glan (Abb. 5) mündet reguliert mit einem Einzugsgebiet von 50,5 km<sup>2</sup> linksufrig unterhalb Lieferung (Abb. 1), 600 m oberhalb der Saalachmündung, in die Saalach (Gerabek, 1971). Ziel der Regulierung der Glan war damals, die Überschwemmungen im Unterlauf zu verhindern und den Grundwasserspiegel im Oberlauf zu senken. Durch diesen niedrigeren Grundwasserstand wurde ein besserer Abbau der Torflager gewährleistet und zugleich die Bodenqualität für die Landwirtschaft verbessert und der Sedimenteintrag durch Überschwemmungen (Schwemmfächer) unterbunden. (Lumetzberger & Patzner, 2009).

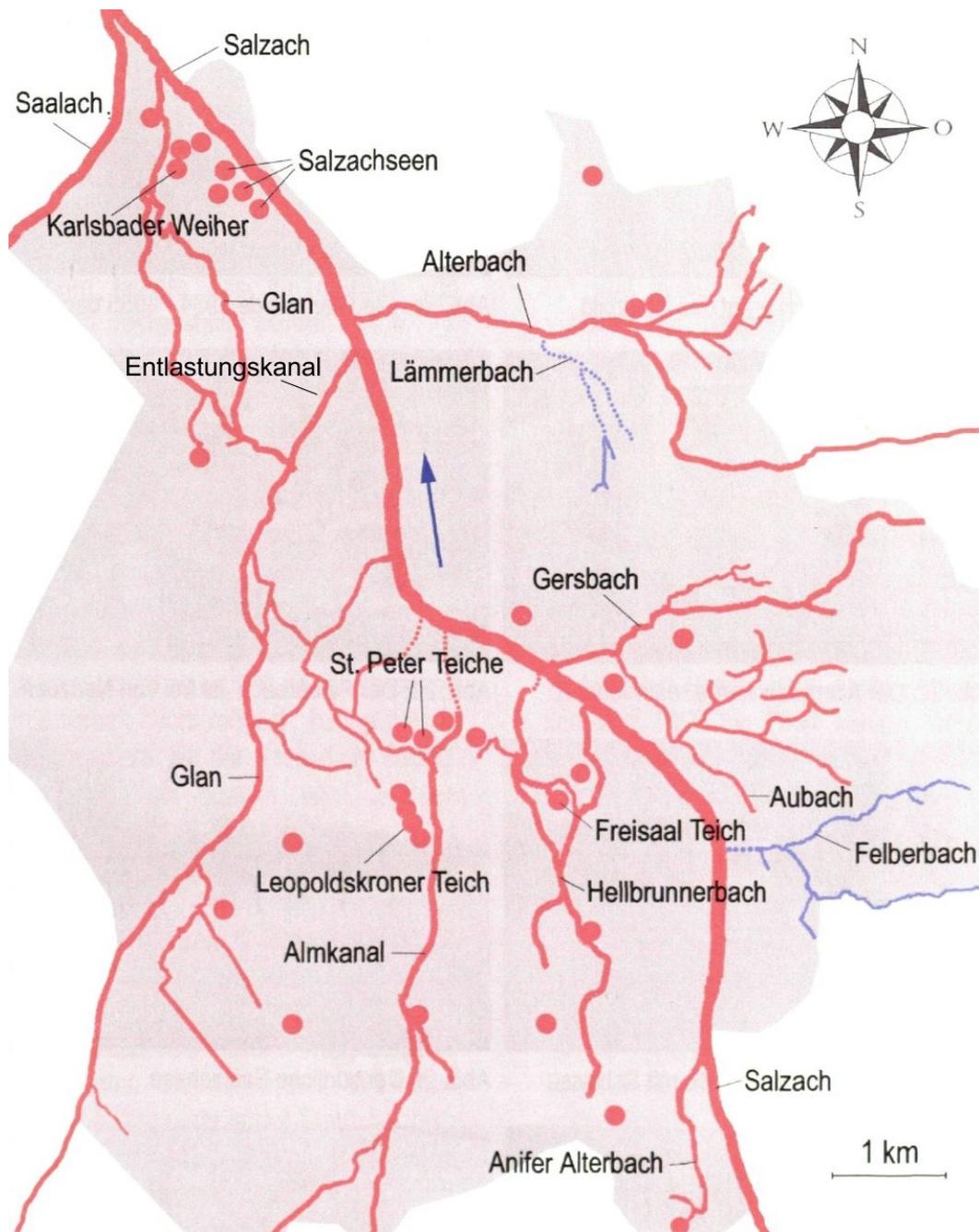


Abb. 5: Die Gewässer der Stadt Salzburg. Kreise = Stillgewässer. Der blaue Pfeil zeigt die Fließrichtung der Salzach an (Strasser & Patzner, 2005).

1933 wurde begonnen den Glankanal als Entlastungskanal (Abb. 5) mit einer Länge von 1,2 km zu errichten und 1935 wurde er mit der Salzach verbunden. Der stark mäandrierende Bachlauf der Glan (Abb. 6) wurde im Stadtgebiet und bis Fürstenbrunn von 1935 bis 1943 begradigt und verkürzt. Die natürlichen Überflutungsgebiete wurden zerstört und somit wurde auch der feinkörnige Sedimenteintrag zum Erliegen gebracht.

Die Glan wurde im Bereich des Leopoldskroner Moores um 3,14 km verkürzt, die Mäander verschwanden und die Glan wurde gestreckt. Die Gesamtlänge wurde von zuerst 17,9 km auf 10,2 km verkürzt. Durch das Abtragen des Schließelberger-Wehres (Abb. 2) und der damit verbundenen Tieferlegung der Sohle um knapp 3 m wurde der Grundwasserspiegel im Mooregebiet um etwa 3,5 m gesenkt. Auch das Landschaftsbild wurde durch die Begradigung und die Verkürzung stark beeinflusst und es stellte die Voraussetzung für die immer stärkere Entwässerung des Leopoldskroner Moores dar. Der Moorcharakter nahm mit dem Trockenlegen des Moores sukzessive ab.

Die Überschwemmungen im Unterlauf der Glan einzuschränken und Kulturland zu schaffen wurden erreicht. Auch die Bodenqualität für die Landwirtschaft wurde verbessert (Lumetzberger & Patzner, 2009).



Abb. 6: Glan im Westlichen Teils des Leopoldskroner Moores vor der Regulierung 1934 (Lumetzberger & Patzner, 2009).

## 2. Geologie

### 2.1 Das Salzburger Becken

Das Nord - Süd verlaufende Salzburger Becken (Abb. 7) ist ein glazial übertieftes Becken, das im letzten Spät- und Postglazial mit feinklastischen lakustrinen Sedimenten und fluviatilen Kiesen und Sanden verfüllt wurde. Das Salzburger Becken wurde ursprünglich angelegt an dem Salzachtal entlang laufenden tektonischen Störungen.

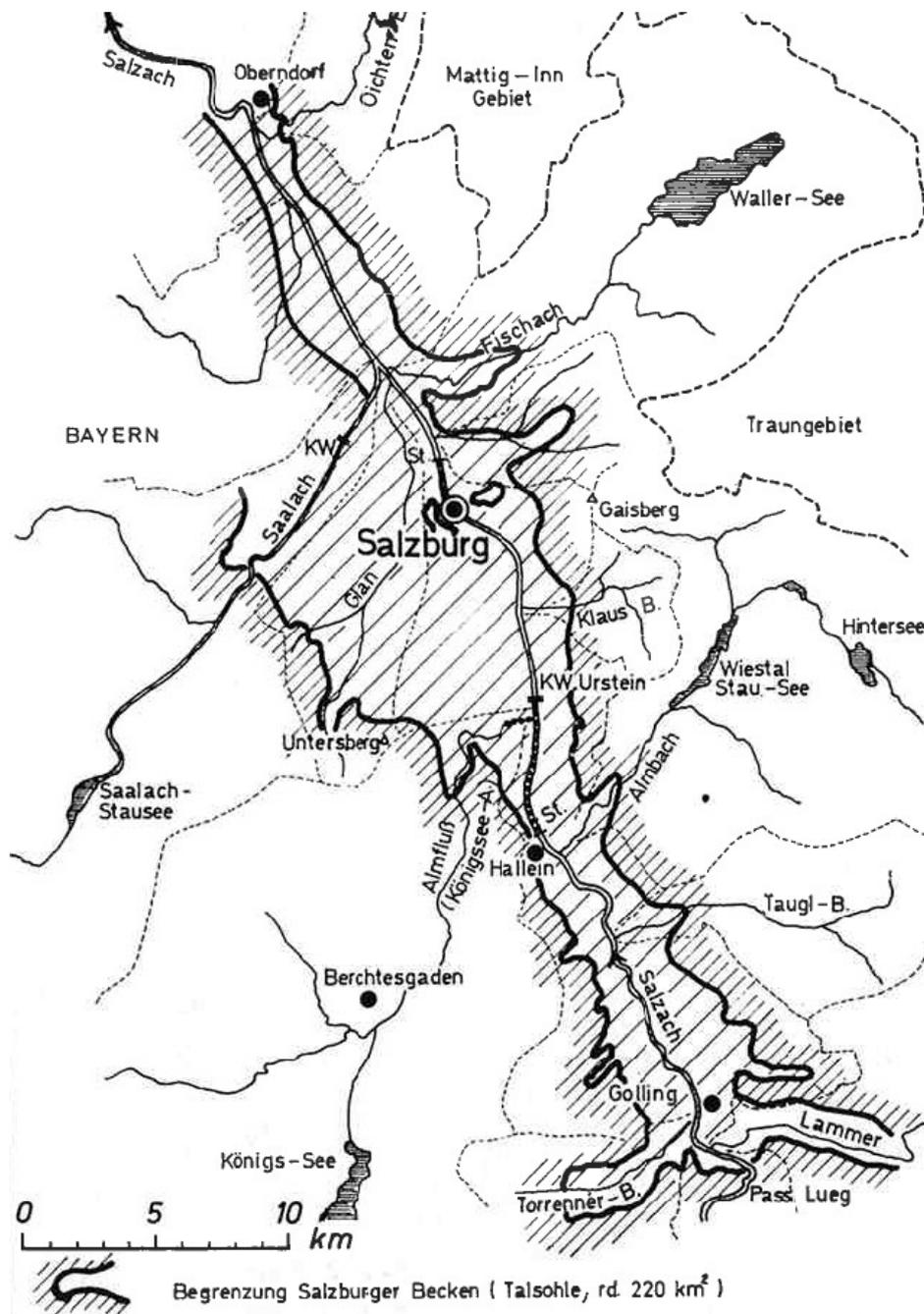


Abb. 7: Übersicht über das Salzburger Becken (schraffiert dargestellt) von Paß Lueg bis Oberndorf (Brandecker, 1974).

Ursprünglich gab es die gegensätzlichen Ansichten von Hoernes & Wähner (1908, Einbruchsbecken) und Brückner & Penck (1909, wesentliche Beteiligung der Erosion). Machatschek (1922) vertrat eine vermittelnde Meinung. "Durch den Abstieg der tirolischen Überschiebungsfläche gegen das Becken sowohl von Westen als auch von Osten her, leitete er eine posteozeäne Einwalmung ab." Dadurch gelangten junge, meist leicht abzutragende Sedimente in tiefe Lage, sodass der fluviatilen und glazialen Ausräumung der Weg vorgezeichnet wurde (Del-Negro, 1963). Es kam zur glazialen Übertiefung des Tales und zur sedimentären Verfüllung im Spät- und Postglazial. Eine Verzahnung der glazialen Grundmoräne, des "Salzburger Seetons" und der fluviatilen Deltaschotter können, typisch für Gletscherzungenbecken, auftreten. Durch Bohrungen wie etwa jener in der Stieglbrauerei, konnte der Beckenuntergrund mehrmals angetroffen werden. Der anstehende Fels kann mit Ausnahme der Inselberge der Stadt Salzburg heute nur unter 150 bis 330 m mächtigen glazialen und spät/postglazialen Sedimenten gefunden werden (Preusser et al., 2010).

Im Süden und im Westen wird das Salzburger Becken von den zwischen 1800 und 2500 m hohen Bergen des Tennen- und Hagengebirges, des Göllmassivs und des Untersberges (Abb. 8, Abb. 9) umgeben (Brandecker, 1974). Im Osten wird das Salzburger Becken durch die Osterhorngruppe und deren Hügelvorland und im Nordosten durch die sanft geformten Flyschrücken begrenzt.

Mit Ausnahme von Terrassierungen und historischen Torfstichen ist die Oberfläche des Salzburger Beckens weitestgehend eben. Das Becken weist von Süden (470 m über Normal Null) nach Norden (390 m über Normal Null) einen sehr geringen Höhenunterschied von 80 m auf 46 km auf. Die Breite beträgt zwischen 3 km in der Gegend um Hallein und 10 km im Raum der Stadt Salzburg und die Fläche beträgt ca. 220 km<sup>2</sup> (Brandecker, 1974).

## **2.2 Nördliche Kalkalpen**

Die etwa 500 km Ost-West erstreckenden und mit einer maximalen Nord-Süd Breite von 50 km vorkommenden Nördlichen Kalkalpen bilden die höchste tektonische Einheit des Ostalpinen Deckenstapels (Abb. 8).

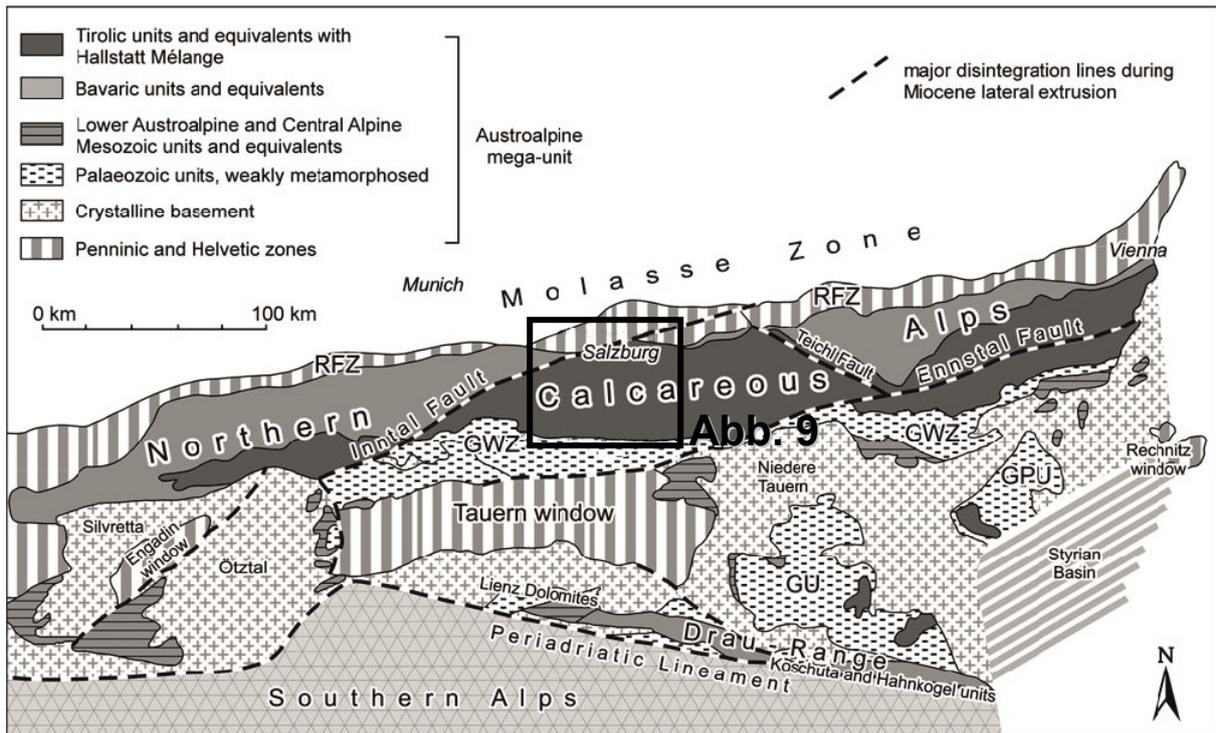


Abb. 8: Tektonische Skizze der Ostalpen und des Untersuchungsgebiets (nach Tollmann 1977; Frisch und Gawlick 2003). GPU Grazer Paläozoikum, GU Gurktaler Einheit, GWZ Grauwackenzone, RFZ Rhenodanubische Flysch Zone, (Missoni & Gawlick, 2011).

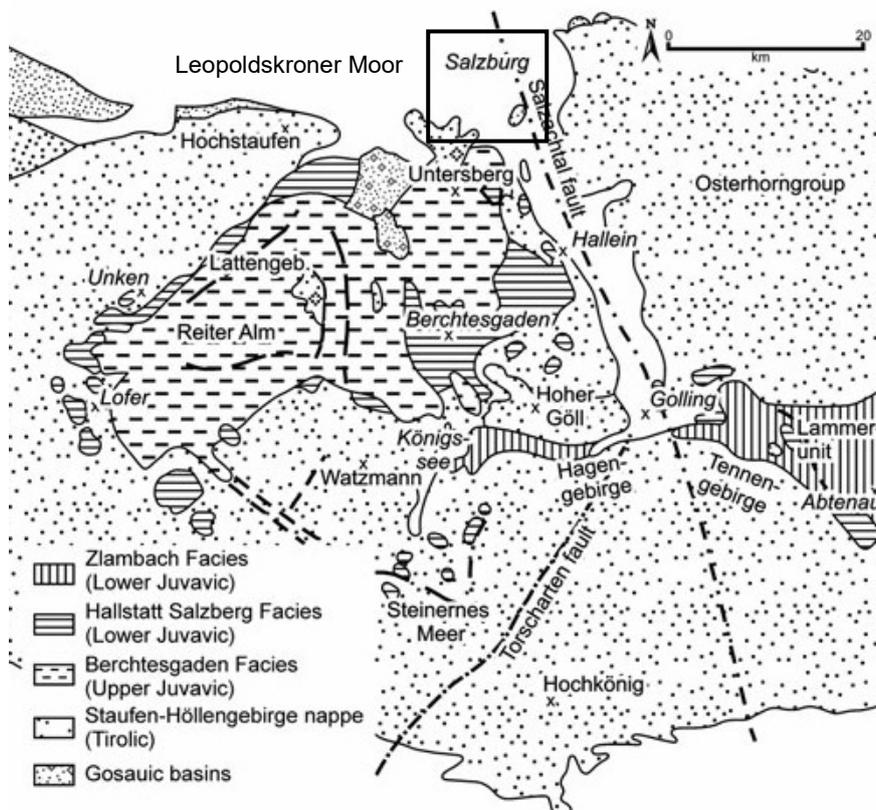


Abb. 9: Klassische Deckenunterteilung mit den Tirolischen Decken an der Basis, überlagert von den unteren (unterteilt in eine untere und obere Hallstätter Decke) und den oberen Juvavischen Decken (nach Tollmann 1985); aus Missoni & Gawlick (2011).

Während des späten Jura bis ins Neogen fanden mehrere Orogenesen statt, welche die Nördlichen Kalkalpen von ihrem Basement abgeschert haben und nach Norden auf den Rhenodanubischen Flysch, das Helvetikum und die Molassezone aufgeschoben haben.

Die Sedimente der Gosau Gruppe, welche ein Ergebnis eines Transgressionszyklus sind, wurden in der Mittelkreide über diesen Decken- und Faltenbau abgelagert.

Derzeit gibt es kontroverse Tektonische Modelle für die Nördlichen Kalkalpen, welche auf unterschiedlichen Fazieskonzepten, vor allem der Jura-Tektonik, für den triassischen Schelfbereich der Tethys beruhen (Missoni & Gawlick, 2011).

Die klassische Tektonische Unterteilung der Nördlichen Kalkalpen (etabliert von Haug (1906), später modifiziert von verschiedenen Autoren wie Hahn (1913); Kober (1923); Spengler (1951); Plöchinger (1980); Tollmann (1985)) umfasst drei Deckengruppen. Vom Liegenden ins Hangende sind das das Bajuvarikum, das Tirolikum und das Juvavikum.

Eine Unterteilung in drei Tektonische Stockwerke wurde für die Berchtesgadener Alpen vorgenommen: Die Tirolische Einheit bildet die Basis, überlagert wird sie von der Tiefjuvavischen Einheit (Hallstätter Decken) und der Hochjuvavischen Einheit (Berchtesgadener Decke) (Hahn, 1913).

Das Konzept von Frisch & Gawlick (2003) geht davon aus, dass die Nördlichen Kalkalpen nur unterteilt werden in Bajuvarikum und Tirolikum, wobei das Tirolikum in drei Untergruppen (Tieftirolikum, Hochtirolikum und Ultra-Tirolikum) unterteilt wird und nahezu die gesamten zentralen Nördlichen Kalkalpen und auch die Hochjuvavischen Decken (Dachstein- und Berchtesgadener Decke) umfasst.

Die Gesteine der Nördlichen Kalkalpen sind hauptsächlich aus dem Mesozoikum, zu denen die Trias die größten Gesteinsmassen beisteuert. Sie wurden an einem passiven Kontinentalrand abgelagert der sich auf einem variszischen Basement (Pangäa), durch Rifting in Zusammenhang mit dem Eindringen der Neotethys von Südosten bildete (Mandl, 1999). Ein flaches Schelfmeer mit unterschiedlichen Faziesbereichen entsprechend ihrer Wassertiefen bildete sich.

Die stratigraphische Abfolge beginnt in den Salzburger Kalkalpen (zentrale NKA) im Oberperm mit der Bildung von Evaporiträumen und des Haselgebirges, welches aufgebaut wird von brekziösem Gestein aus Ton, Anhydrit, Gips, Steinsalz und Sandstein (Mandl, 1999). Mit dem Beginn der Trias werden flachmarine Klastika (Werfener Schichten; Alpiner Buntsandstein) abgelagert. Örtlich dauern evaporitische

Entwicklungen bis an die Basis der Mitteltrias an (Reichenhaller Rauwacke). Ab dem Beginn der Mitteltrias im Anis setzten mit den Gutensteiner Kalken Schichtfolgen mit Ausbildung von Karbonatplattformen (Wettersteinkalke) und dazwischenliegender Becken mit Bildung gebankter Kalke ein. An der Basis der Obertrias (Karn) kam es zu einem Meeresspiegel-Tiefstand und einem Erlöschen der Karbonatproduktion und einem vermehrten Eintrag siliziklastischer Sedimente aus dem Hinterland (Sandsteine und Tonschiefer der Raibler Schichten).

Nach der Regressionsphase kam es im Karn, Nor und im Rhät wieder zur Ausbildung von Karbonatplattformen (Dachsteinkalk-Hauptdolomitkomplex) und darüber, beziehungsweise verzahnend kam es zur Ausbildung klastischer Sedimentationsräume (Kössener-Formation und Zlambachschichten).

Hinter den Dachsteinriffen erstreckte sich eine große Lagune, in der es im riffnahen Bereich zur Ablagerung des gebankten Dachsteinkalkes kam, welcher für seine Lofer-Zyklen bekannt ist. Im inneren dieses Riffbereichs wurde der Hauptdolomit abgelagert (Mandl, 1999).

Die Schließung des westlichen Teils der Neotethys begann in dem Mittel-Jura. In Folge dessen kam es zur Einengung und zur Bildung grabenartiger Becken an der Front eines vorrückenden Überschiebungsgürtels (Missoni & Gawlick, 2011).

Die geodynamische Entwicklung für den Zeitraum Jura bis Neogen ist zusammenfassend in Frisch & Gawlick (2003) beschrieben.

Die heutige Anordnung der tektonischen Blöcke und die Zerstörung der triassischen und jurassischen Paläogeographie sind ein Resultat der eozänen Überschiebungstektonik und der miozänen Seitenverschiebungen (Ratschbacher et al., 1991).

Die größtenteils aus Dachsteinkalk aufgebauten Tennen- und Hagengebirge der Tirolischen Decke und des tektonisch höheren Göllmassives im Süden und Südwesten sind stark verkarstete Gebirgsstöcke der Kalkhochalpen. Der Untersberg, der ein Teil der hochjuvavischen Reiteralmdcke (Berchtesgadener Decke) ist, wird überwiegend aufgebaut von Wettersteindolomit, Dachsteinkalk und Plassenkalk. Die Rossfeld- und Schrambachschichten die die westlichen Höhenzüge der Osterhorngruppe aufbauen und die größtenteils aus Jurakalken (überwiegend Oberalmer Schichten) aufgebauten östlichen Hangflanken der Osterhorngruppe, werden ebenfalls dem Tirolikum zugeschrieben. Die nördlichste Erhebung der

Tirolischen Decke bildet der aus Dachsteinkalk, Plattenkalk und Hauptdolomit aufgebaute Gaisberg (Brandecker, 1974).

### 2.3 Quartär und Beckenfüllung

Für die heutige Morphologie und für die quartären Ablagerungen im Salzburger Becken waren die vier Quartären Eiszeiten (Günz, Mindel, Riss, Würm) und deren Interglazialstadien verantwortlich, sie haben das Salzburger Becken und seine Umgebung maßgeblich geprägt (van Husen, 1999). Das Salzburger Becken wurde vom Salzachgletscher bedeckt. Dieser vereinigte sich nördlich vom Untersbergmassiv mit dem Saalachgletscher (Abb. 10). Der Untersberg, an dem sich auch ein lokaler Plateaugletscher entwickelte, wurde von einem Ast der Berchtesgadener Gletschers umschlossen.

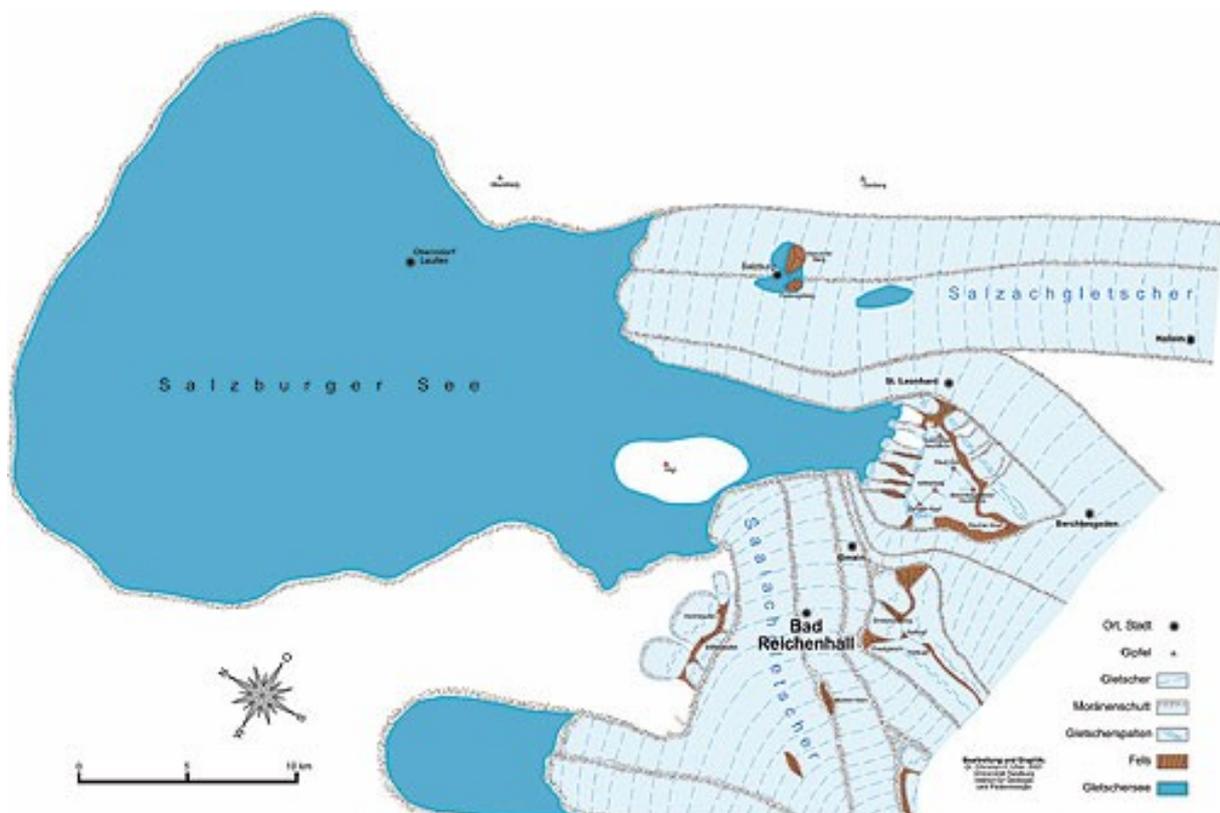


Abb.10: Vergletscherung während der letzten Eiszeiten südlich der Stadt Salzburg (Loidl & Uhlir, 2012).

In den Zeiten des Interglazials kam es im nördlichen Vorland nach dem Abschmelzen der Eismassen zu einem kurzfristigen Aufstau von Eisstauseen, oder Zungenbeckenseen. Nach der Würmvereisung reichte der letzte dieser Stauseen Im

Norden von Raitenhaslach bei Burghausen, ca. 25 Kilometer Nordwestlich von Oberndorf, bis nach Golling (Abb. 7) im Süden (Ibetsberger, 2010). Die Füllung dieser ehemaligen Seen bestehen aus lakustrinen Sedimenten und in den Randbereichen aus Deltaablagerungen, welche rasch verlandeten. Die Füllungen dieser Seen wurden zum größten Teil bei dem wiederholten Gletschervorstoß erodiert und anschließend im nächsten Interglazial wieder durch lakustrine Ablagerungen sedimentiert. Im Mindel-Riss Interglazial erreichten diese Seen Spiegelhöhen von rund 530 m, im Riss-Würm Interglazial von 490 m und im derzeitigen Interglazial ein Maximum von 460 m, sank dann aber auf 450 m ab (Del-Negro, 1963). Der See des Mindel-Riss Interglazials wurde von Penck (1910) als "Salzburger See" und der See des Riss-Würm Interglazials als "Gollinger See" betitelt. Die Stadtberge Mönchsberg, Rainberg und Hellbrunner Berg (Abb. 2) sind Überreste des Mindel-Riss Interglazials. Sie werden aufgebaut von Konglomeraten, dem sogenannten Nagelfluh, welche Teile eines Deltas waren und hauptsächlich aus schräggeschichteten kalkalpinen Kiesen, mit zum Teil auch kristallinen Komponenten, bestehen. Die Zusammensetzung der Sedimente entspricht jener der heutigen Salzachsotter (Del-Negro, 1979). In Luftschutzstollen am Mönchsberg und Rainberg (Del Negro, 1983) sowie in den Stollen der St. Peter Quelle und des Stiftsarms des Almkanals sind an der Basis der Konglomerate Grundmoräne aus der Mindeleiszeit und Bändertone des Mindel-Riss Interglazial aufgeschlossen.

Einen ersten sehr detaillierten Eindruck über die Füllung des Salzburger Beckens ist aus den Tiefbohrungen der Stieglbrauerei bekannt (Abb. 11; Prey, 1959). 20 m mächtige Kiese (Terrassenschotter), welche das gesamte Becken bedecken, bilden die hangenden Ablagerungen, die nach der Seephase von einem verzweigten Flusssystem abgelagert wurden. Der See wurde auf 460 m und bis zur Basis der Kiese (50 m) erodiert. In weiterer Folge gehen mit zunehmender Tiefe die Schotter in graue bis blaugraue Schluffe über (Brandecker, 1974). Diese Schluffe werden durch Feinsandlagen und Gerölle in einer Tiefe von 140 m unterbrochen (Prey, 1959). Zwischen den Schluffen und dem Felsuntergrund folgt dichte Grundmoräne in Verbindung mit Sandlagen und Schluff. Die blaugrauen Schluffe werden Umgangssprachlich als "Salzburger Seeton" bezeichnet. Neueste Lumineszenzdatierungen im Bereich des Salzburger Airports deuten auf ein Alter von etwa 20 ka BP hin (Starnberger et al., 2014a,b). Diese Daten weisen ebenfalls auf eine rasche Sedimentation des "Seetons" hin (Starnberger et al., 2014b).

Wasserspeicherfähige Sande und Kiese bedecken nicht überall gleichmäßig den Seeton. Sie reichen auch als Deltaschüttungen in beckenrandnahen Lagen viele Zehnermeter unter Gelände und können dort mit dem Seeton verzahnen (Brandecker, 1974). Größere Deltas und auch Schwemmkegel treten bei Golling, St. Leonhard und an der Mündung des Rosittenbaches (Abb. 2) auf.

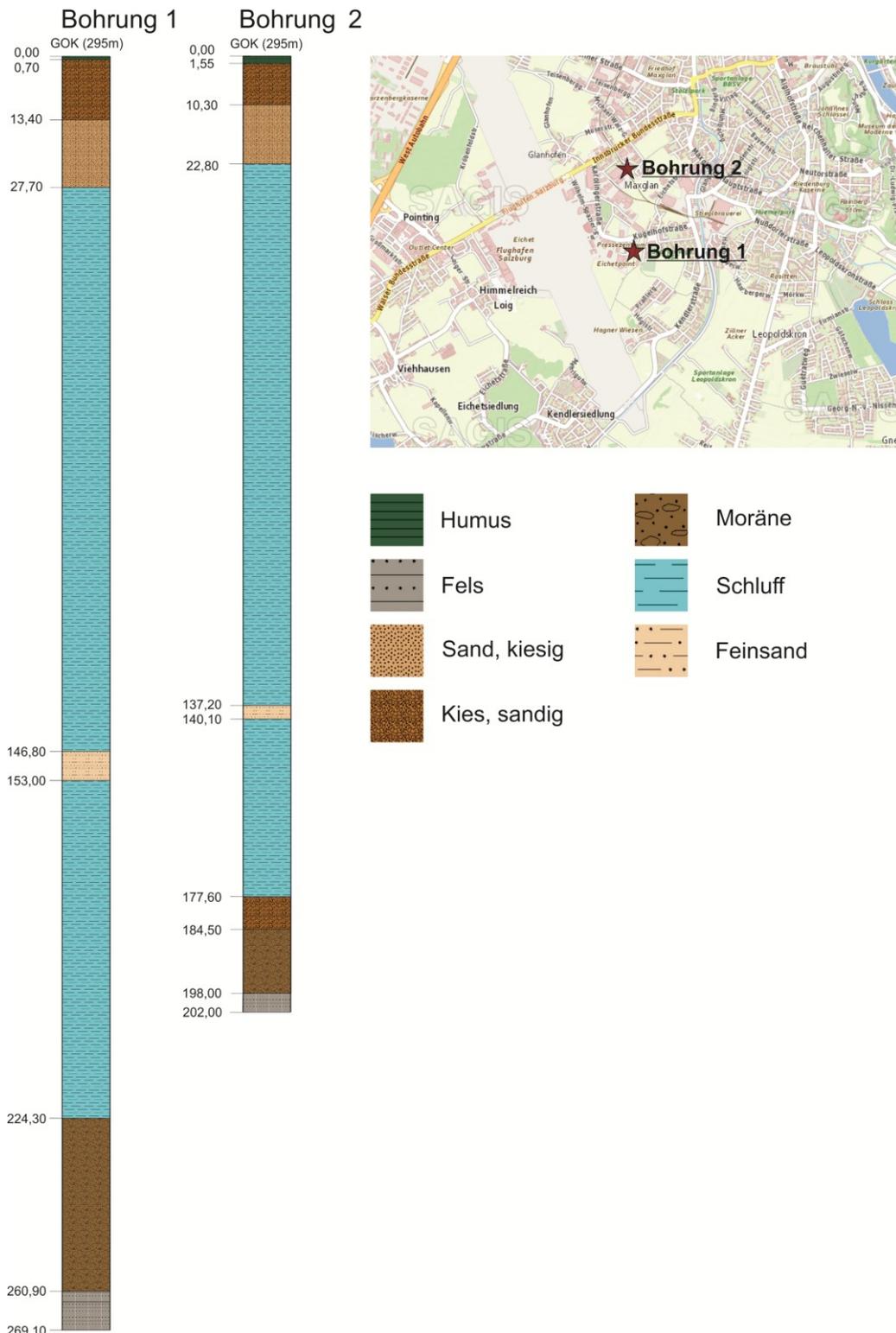


Abb. 11: Bohrprofile der Stieglbrauerei 1959.

Durch die im Mündungsbereich abgelagerten Sedimente und der geologischen Prozesse die bei ihrer Entstehung eine Rolle spielten, unterscheiden sich die Saalach und die Königsseeache stark voneinander.

Im Pleistozän entwickelten sich eine Abfolge von zwei übertieften, durch Kristallingestein voneinander getrennter, Becken (Donadel, 2012).

In den Becken bildeten sich nach dem Rückschreiten der Gletscher am Ende der Eiszeit verschiedene Seen mit unterschiedlicher Spiegelhöhe. Die Ablagerung von klastischen Sedimenten durch die Saalach beschränkte sich auf das Bad Reichenhaller Becken, wo sich ein Deltakegel ausbildete. Das Becken wurde verfüllt und mit zunehmender Verfüllung bildete sich ein verzweigtes Flusssystem mit abgeschnürten Altarmen in denen feinkörniges Material sedimentiert wurde. Am Rand des Beckens bildeten sich Seen. Die Fließgeschwindigkeit der Saalach war infolge so weit reduziert, dass kein grobklastisches Material bis ins Salzburger Becken verlagert wurde (Donadel, 2012).

Durch den schnellen Rückzug der Gletscherzunge im Salzburger Becken, setzte eine feinklastische Beckensedimentation ein. Grobklastische Komponenten wurden ausschließlich durch Hochwasserereignisse der Nebenflüsse aus umliegenden höheren Gebieten eingeschwemmt.

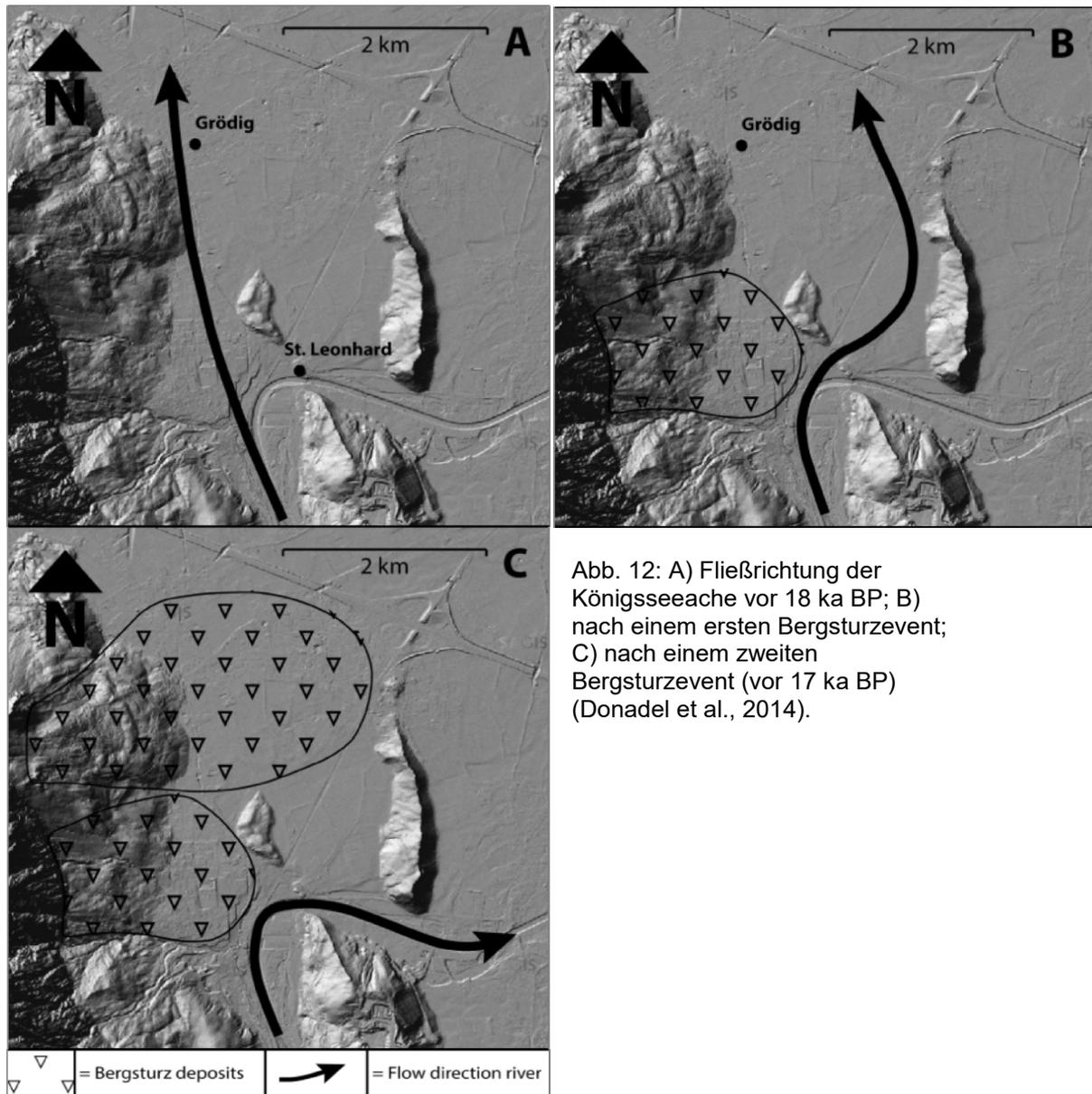
Durch einen Dambruch eines Eisrandsees kam es zu einem starken Hochwasserereignis. Durch die Wassermassen wurde zuvor abgelagertes und grobklastisches Material remobilisiert und bis ins Salzburger Becken verfrachtet. Infolge dieses Hochwasserereignisses bildete sich dort ein breiter Deltakegel, in dem sowohl remobilisierte Kies- aber auch Moränenablagerungen abgelagert wurden. Die Sedimentation von feinklastischem Beckenton setzte nach dem Rückgang des Hochwassers über den Kiesen wieder ein.

Untersuchungen ergaben, dass die Königsseeache nach dem Gletscherrückzug ursprünglich in nördlicher Richtung fließend ins Salzburger Becken mündete (Abb. 12A).

Die Königsseeache wurde durch ein Bergsturzereignis (Abb. 12B) gegen Osten gelenkt. Der Fluss schnitt sich bei St. Leonhard epigenetisch in die Oberen Rossfeldschichten des Tirolikums ein. Der Bergsturz ereignete sich sehr früh nach dem Eisrückzug, da die Kiesablagerungen des Flusses unter den Bergsturzmassen nur von geringer Mächtigkeit sind. Der Fluss knickte im weiteren Verlauf wieder nach

Norden und verlief parallel zu den anstehenden Gesteinseinheiten. Der Fluss lagerte in dieser Rinne mächtige Kiesablagerungen ab.

Durch einen weiteren Bergsturz (Abb. 12C) bei Grödig wurde der Verlauf der Königsseeache nochmals verändert und nahm schließlich den heutigen Verlauf an. Durch den Bergsturz wurde die Fließrichtung nach Norden blockiert. Der zweite Bergsturz ereignete sich erst einige Zeit später nach dem ersten Bergsturz, zu einem Zeitpunkt, als der Seespiegel schon gesunken war (Donadel, 2012).



Durch das Einschneiden der Salzach entwickelten sich drei markanten Terrassenkanten (Abb. 13), welche sehr unterschiedliche Mächtigkeiten von wenigen Metern bis 20 m aufweisen. Die Terrassen sind dem Postglazial zuzuordnen. Die

Friedhofsterrasse ist die höchste und älteste Terrasse, die niedrigste und jüngste ist die Aufstufe. Die Hammerauterrasse liegt reliktsch dazwischen.

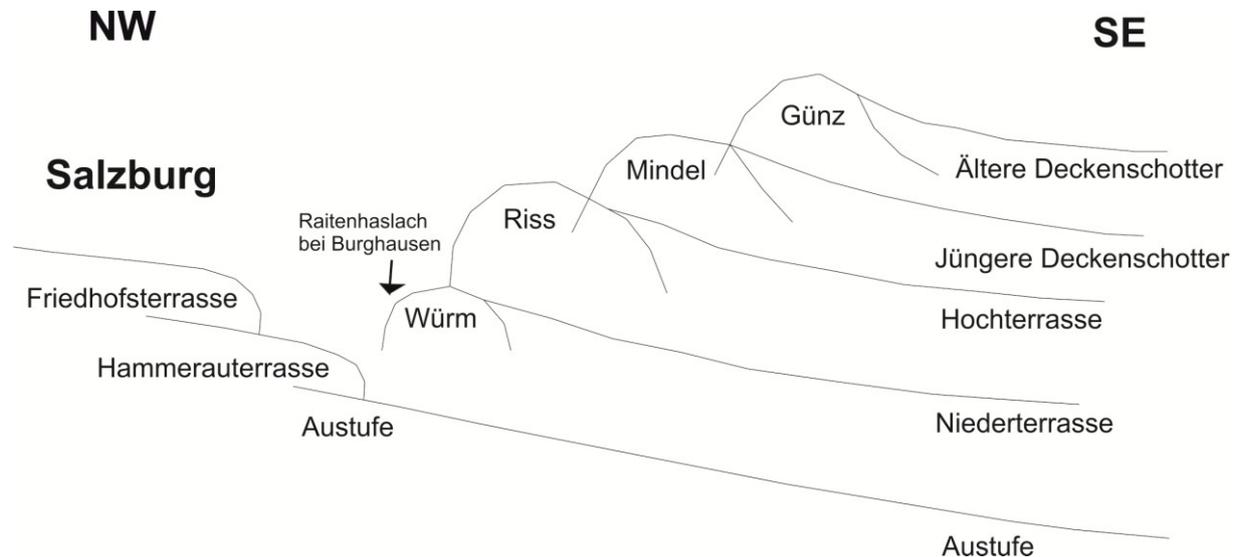


Abb. 13: Allgemeine Darstellung der Deckenschotter und der Terrassen mit speziellem Fokus auf das Gebiet um Salzburg.

Auf der Friedhofsterrasse entwickelte sich das Leopoldskroner Moor. Das Moor wird unterlagert durch "Letten", die nach unten hin in Sande und Kiese übergehen (Seefeldner, 1954). Die Bildung des Leopoldskroner Moores begann nach Firbas (1923) etwa um 11 ka BP. Dieses Alter wird durch Rhizopodenanalytische Untersuchungen von Seis (1968) bestätigt.

Das Leopoldskroner Moor entwickelte sich ausgehend von einem Niedermoor mit Schilf und Seggen über eine an Gehölzen reiche Phase zu einem Hochmoor, welches überwiegend aus Scheidenwollgras und Torfmoosen aufgebaut waren. In jüngeren Abschnitten war eine gehölzreiche Phase eingeschaltet. Schließlich breitete sich die Latsche (*Pinus mugo*) auf dem Moor aus.

## 2.4 Hydrogeologie

Die Speicherung des Grundwassers erfolgt in Sanden und Kiesen, der zur Mitte hin wannenartig eingetieften Friedhofsterrasse, welche über dem Seeton zum liegen kommt. Der "Salzburger Seeton", sowie auch der anstehende Fels, Sandsteine und Mergel des Flyschs, als auch Moränen bilden hier die Stauer.

Das Grundwasser strömt im Wesentlichen von Süden nach Norden unter dem Moor hindurch (Abb. 14). Die Grundwasserverhältnisse sind stark durch anthropogene Einflüsse verändert. Die Pumpwerke zur Wasserversorgung beeinflussen nachhaltig die Strömungsrichtung (Abb 15).

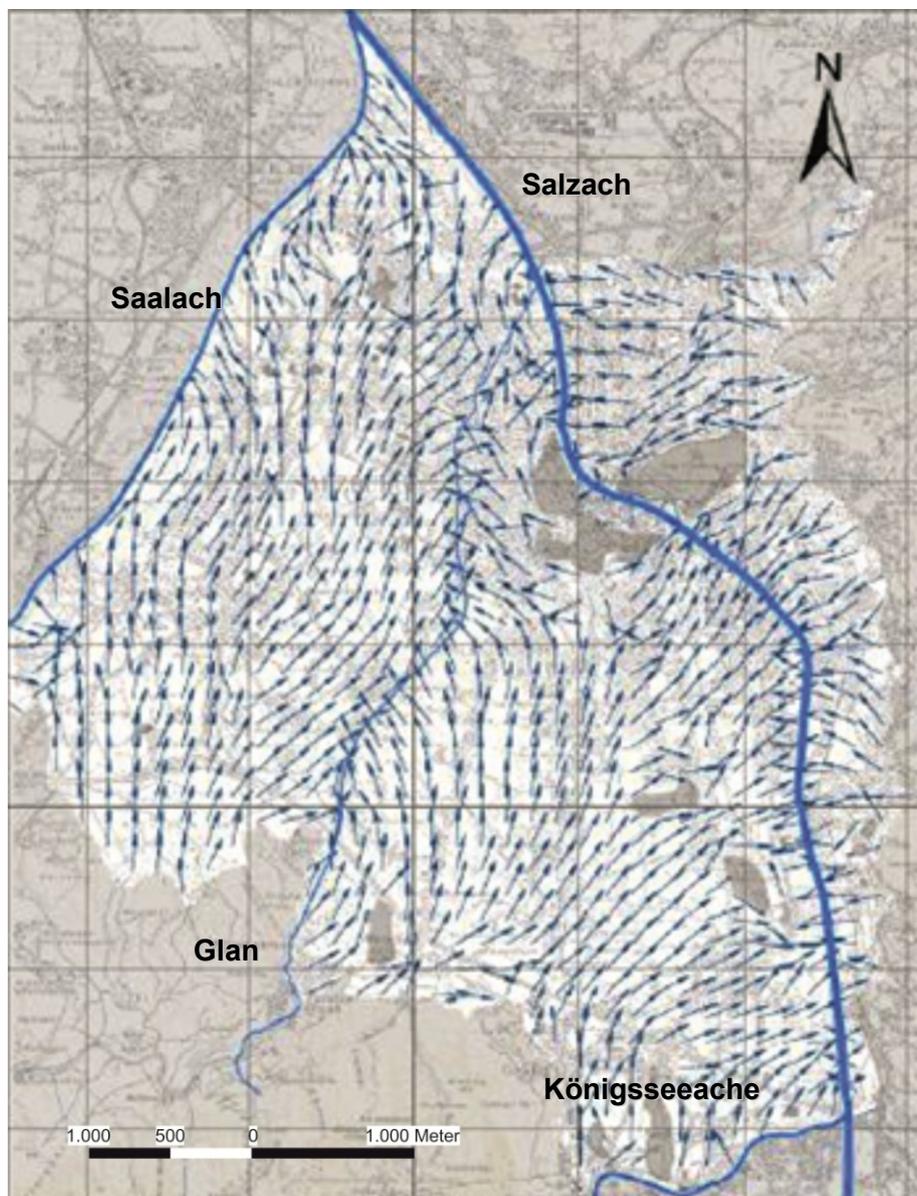


Abb. 14: Grundwasserströmung zu einem Zeitpunkt (09/2006) mit mittlerem Grundwasserabstand zwischen der Stadt Salzburg und dem Untersberg (Müggenburg, 2008b).

In Zusammenhang mit den Großteils geringen Grundwassermächtigkeiten prägt das Relief des "Salzburger Seetons" den Grundwasserfluss und das Gefälle des Grundwassers maßgeblich mit (Müggenburg, 2008b). Die Grundwasserströme können sehr komplex sein. Die Modellierung von Müggenburg (2008b) hat einen Partikelpfad zwischen St. Leonhard und dem Trinkwasserfeld Glanegg entlang des Untersberges hervorgebracht (Abb. 15).

Auch wurde durch Tracerversuche ein komplexer Fließweg im Bereich des Trinkwasserfeldes Glanegg bekannt. So strömt das Wasser des Rosittenbaches zuerst direkt in Richtung Rosittenversickerung, dann biegt es ab in Richtung Berg und fließt dem Berg entlang weiter Richtung Osten bevor es zuletzt dem Pumpwerk zufließt (G. Völkl, mündl. Mitt.).

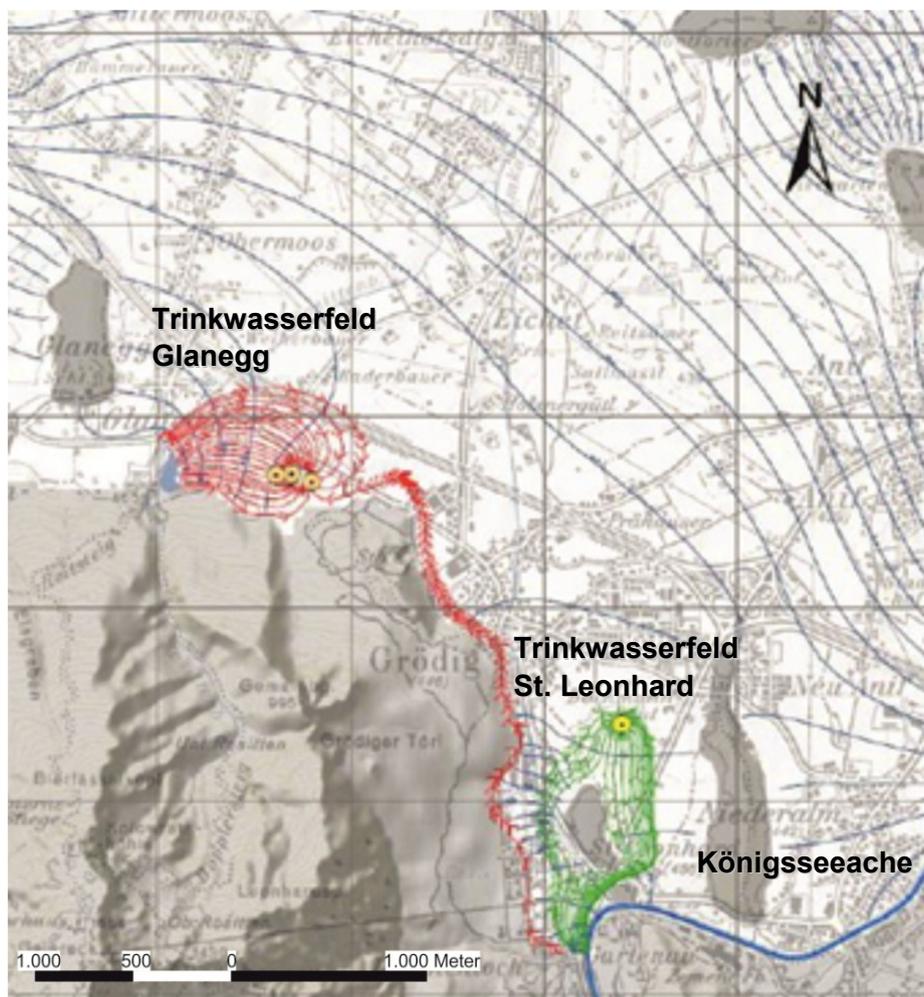


Abb. 15: Partikelsimulation bei durchschnittlicher Trinkwasserförderung an den Brunnen in St. Leonhard und Glanegg bei Grundwasserniederstand. Der Rote Partikelpfad zeigt die Anströmung des Trinkwasserfeldes Glanegg. Ein Pfad führt dabei sogar von St. Leonhard bis zum Trinkwasserfeld Glanegg. Grün verdeutlicht die Anströmung des Trinkwasserfeldes St. Leonhard (Müggenburg, 2008b).

Im mittleren und nördlichen Teil des Leopoldskroner Moores bildet sich oberhalb einer dichtenden Tonschicht ein neuer, geringmächtiger, durch gestaute Niederschlagswässer gebildeter und fast stagnierender Grundwasserkörper direkt im Torf aus. Laut Hitsch (1978) handelt es sich hierbei um braunes, eisenhaltiges, saures, sehr weiches Moorwasser. Die Entwässerung dieses flachen Grundwassersees wird zum größten Teil durch Moorgräben, welche zur Glan hin verlaufen, bewerkstelligt. Aufgrund der Tatsache, dass in einem Beobachtungsbrunnen zeitweilig ein weiches Wasser (8°dH) angetroffen wird, ist es als sehr wahrscheinlich anzunehmen, dass Interaktionen des „Moorwassers“ mit dem darunter fließenden, härteren Grundwassers stattfinden (Hitsch in Kirchner et al., 1978).

Die Grundwassermächtigkeiten schwanken innerhalb des Salzburger Beckens zwischen wenigen Metern und Zehnermetern (Abb. 16).

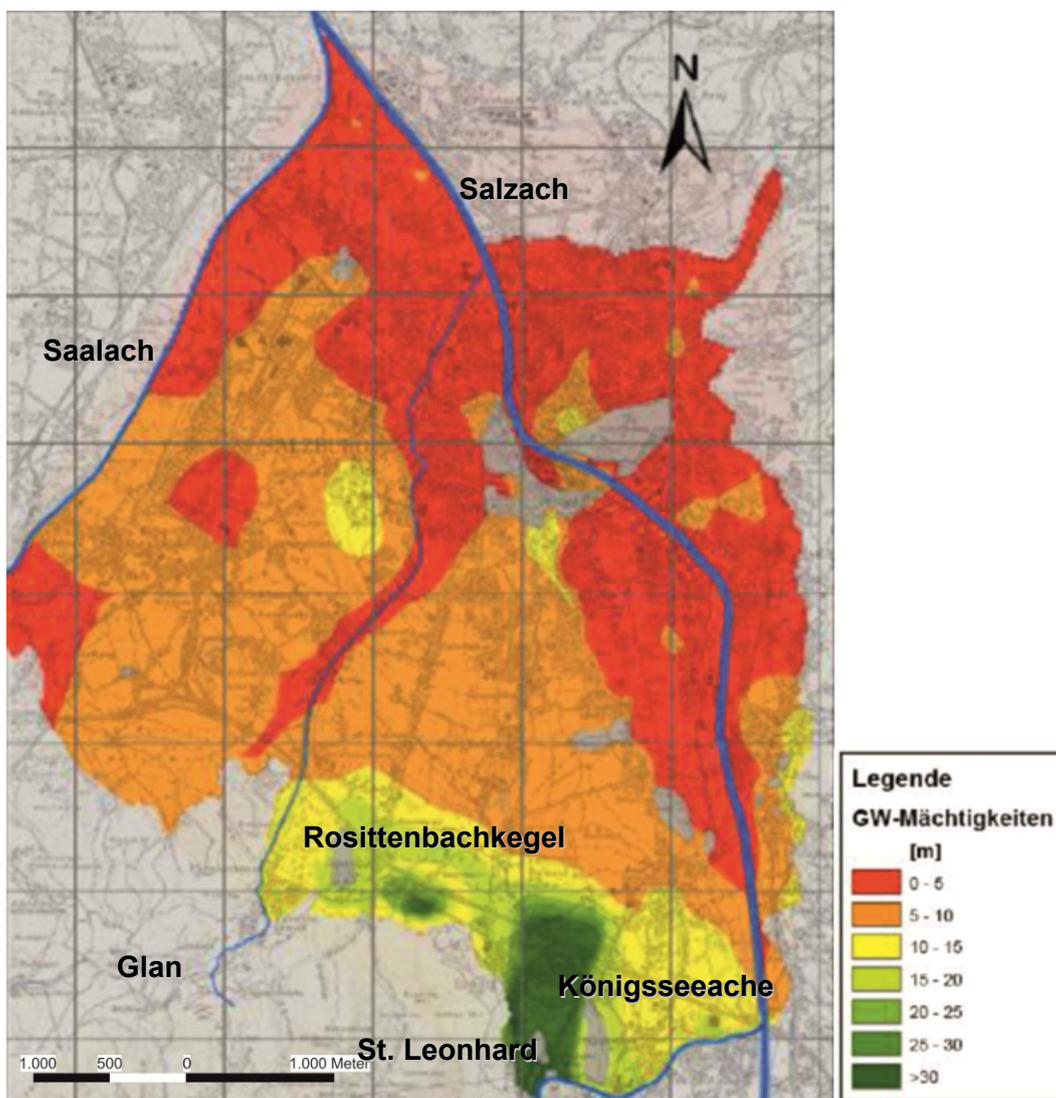


Abb. 16: Grundwassermächtigkeit im September 2006 mit mittlerem Grundwasserstand zwischen der Stadt Salzburg und dem Untersberg (Müggenburg, 2008b).

Eine mit Deltaschottern gefüllte Rinne, die in eine Tiefe von mindestens 70 m (grüner Bereich in Abb. 16) reicht ist verantwortlich für die höchsten Grundwassermächtigkeiten bei St. Leonhard (Brandecker, 1974; Müggenburg, 2008b). Der Rosittenbach schüttete am Trinkwasserfeld Glanegg einen mächtigen Schwemmkegel (Knapczyk, 1981). Der Flurabstand ist wie die Grundwassermächtigkeit stark variabel.

Der Grundwasserkörper wird hauptsächlich aus zwei Quellen gespeist (Abb. 17). Im mittleren und westlichen Bereich wird er einerseits durch die Abflüsse des Untersberges aus dem Rosittental und aus dem Raum Fürstenbrunn gespeist. Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes wird der Grundwasserkörper vom Grundwasserbegleitstrom der Königsseeache infiltriert. Im Raum St. Leonhard trennt sich der Grundwasserbegleitstrom vom heutigen Bett der Königsseeache und strömt fächerartig verbreiternd nach Norden.

Ein ausschlaggebendes Argument für den Karstwasserzutritt waren bisher die hohen Grundwasserfördermengen von 460 l/s in Glanegg, obwohl hier nur geringe oberflächliche Zuflüsse zum Trinkwasserfeld bestehen (Zötl, 1974). Die großen Grundwasserschwankungen von mehreren Metern bei Gartenau, südlich von St. Leonhard (Abb. 3), schließen auch eine primäre Vorfluter-Aquifer-Kommunikation aus. Der Talparallele Beistrom der Königsseeache erhält hier wahrscheinlich zusätzlich einen Eintrag von Karstwasser des Untersberges (Müggenburg, 2008b). Durch künstliche Versickerung der Fürstenbrunn- und Rosittenquellen erfolgt zusätzliche Grundwasserneubildung (Müggenburg, 2008b).

Ein unterirdischer Karstwasserzutritt ist theoretisch nur im Bereich des Trinkwasserfeldes Glanegg möglich (Bichler & Reischer, 2013).

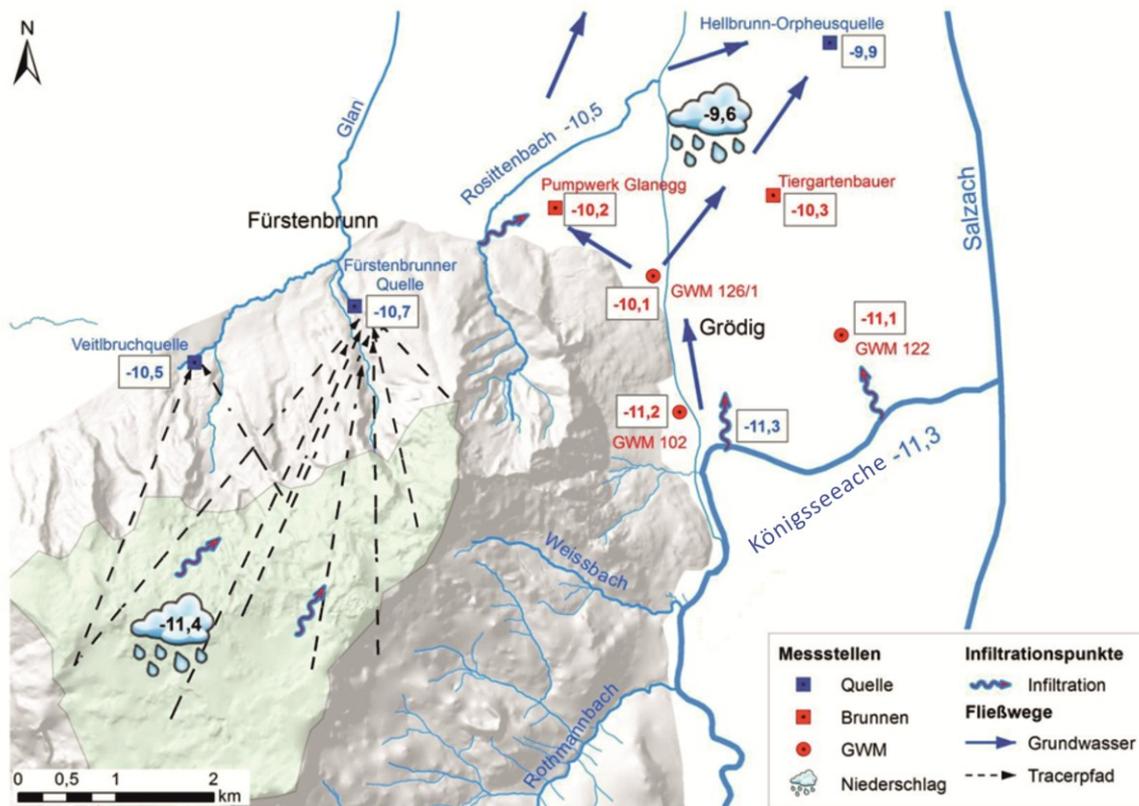


Abb. 17: Hydrogeologisches Modell des Untersuchungsgebietes, basierend auf Literatur. Verdeutlicht werden die Verhältnisse anhand der mittleren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ([‰ V“MOW]. (Bichler & Reischer, 2013; Tracerpfade nach Völkl, 1983).

## 2.4.1 Ökonomische Bedeutung

Rund 90% des Wassers für die Versorgung der Stadt Salzburg (rund 150.000 Einwohner) kommen aus den Grundwasserwerken Glanegg und St. Leonhard (Abb. 18; 529 l/sec Konsensmenge). Dieses Wasser ist so rein, dass es nicht aufbereitet oder desinfiziert werden muss. In dem am Fuße des Untersberges gelegenen Grundwasserwerk Glanegg werden drei Vertikalfilterbrunnen und ein Horizontalfilterbrunnen betrieben. Seit 1998 versickert das Wasser der Fürstenbrunnquelle in einer eigenen Versickerungsanlage zur Anreicherung des Grundwasserwerkes Glanegg. Beim Grundwasserwerk St. Leonhard wird ein Horizontalfilterbrunnen betrieben, welcher vom Grundwasser-Begleitstrom der Königsseeache gespeist wird. Das Wasser der Grundwasserwerke wird in große Speicher (Hochbehälter) gepumpt und gelangt von dort in das Verteilernetz. Die übrigen 10% der Wasserversorgung (für die den Quellen nächstgelegenen Stadtrandgebiete) kommen aus kleinen Quellen und Quellgruppen (95 l/sec Konsensmenge). Dieses Wasser wird UV-Licht desinfiziert.

In den dicht besiedelten Becken- und Tallandschaften unterliegen Boden und Wasser einem großen Nutzungsdruck. Siedlungen, Verkehrswege, Gewerbe, Landwirtschaft beanspruchen Raum und Ressourcen. Die Gefährdungspotenziale für das Grundwasser sind vielfältig: 1) Landwirtschaft – Düngung 2) Pflanzenschutzmittel 3) Verkehrswege 4) Chlorid 5) Verdachtsflächen und Altlasten 6) Altlastenstandorte

Dem Grundwasserschutz wird aus diesem Grund besondere Rechnung getragen, nicht zuletzt durch das Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959). Das Maßnahmenprogramm zur Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie sorgt z.B. durch die Ausweisung von Schutz- und Schongebieten für den erforderlichen Schutz der Wasserkörper, die für die Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch genutzt werden, um eine Verschlechterung ihrer Qualität zu verhindern und so den für die Gewinnung von Trinkwasser erforderlichen Umfang der Aufbereitung zu verringern.

Zum Schutz der Wasserversorgung der Stadt Salzburg und seiner Umgebung, hinsichtlich Qualität und Quantität, wurden Schutzgebiete zum Schutz von Wasserversorgungsanlagen (hellgrün Zonen in Abb. 18) und Schongebiete zum Schutz der allgemeinen Wasserversorgung (dunkelgrüne Umrandung in Abb. 18), sowie Schutz und Schongebiete zur Sicherung der künftigen Wasserversorgung und Schutz von Heilquellen und Heilmooren ausgewiesen.

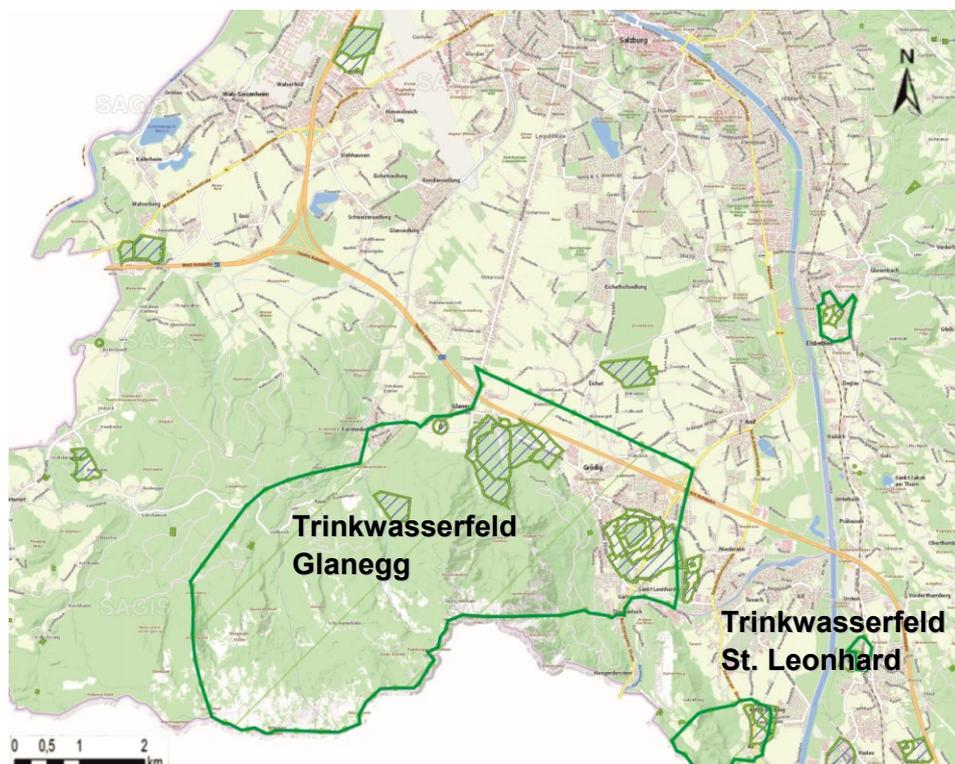


Abb. 18: Übersicht der Schutzgebiete (hellgrün) und der Schongebiete (dunkelgrün) für die Wasserversorgung.

### 3. Methodik und Grundlagen der hydrogeologischen Untersuchungen

#### 3.1 Bohrprofile

Im Sommer 2011 wurden am Amt der Salzburger Landesregierung am Landesgeologischen Dienst 436 Bohrungen mitsamt den dazugehörigen Bohrprofilen erhoben (Abb. 19) und in das Programm ArcGIS der Firma ESRI Inc. überführt. Es wurden sämtliche relevante Daten (Lage, Datum, Schichtenverzeichnis, etc.) manuell eingegeben, um später hydrogeologische Aussagen treffen zu können.



Abb. 19: Verteilungen der Bohrungen im Untersuchungsgebiet.

### 3.2 Hydrogeologische Messungen

Im Zeitraum vom 17.08.2011 bis 03.09.2012 wurden von mir monatlich an 33 Grundwasseresststellen im Leopoldskroner Moor Messungen durchgeführt (Abb. 20) (Anhang 1). Beprobte Parameter sind Abtich, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit.

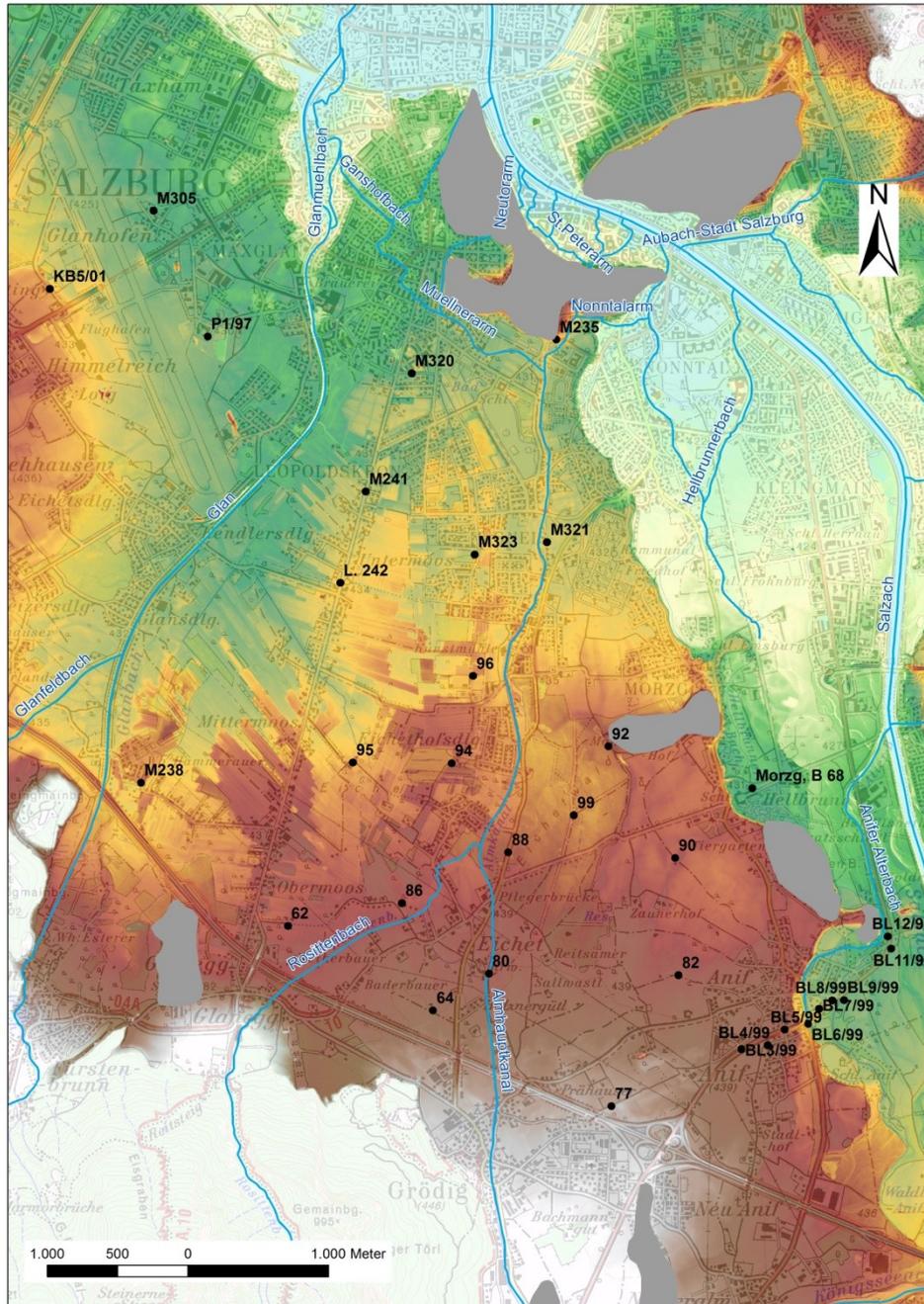


Abb. 20: Verteilung der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet.

Die Oberflächenabflüsse sämtlicher im Untersuchungszeitpunkt wasserführender Moor-Drainagen, sowie die Glan und der Glanfeldbach wurden auf pH-Wert, Temperatur und Leitfähigkeit gemessen (Abb. 21).

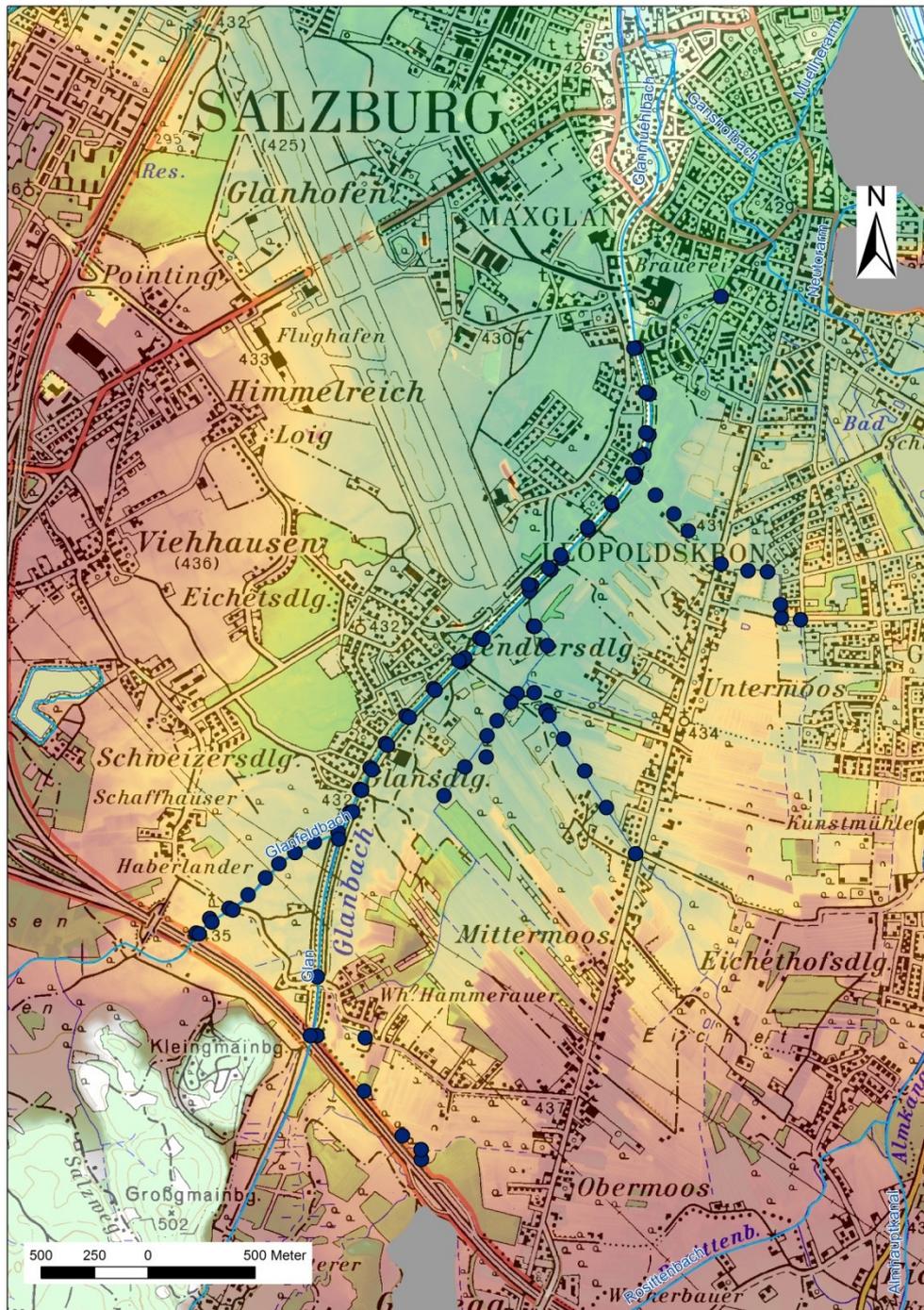


Abb. 21: Messungspunkte der Oberflächengewässer.

### 3.2.1 Abstichmessung

Als Abstich bezeichnet man die Höhendifferenz zwischen der Messoberkante einer Grundwassermessstelle und dem Grundwasserspiegel. Über die Messung des Abstiches werden die Schwankungen des Grundwasserspiegels aufgezeichnet. Die Abstich-Werte werden anschließend umgerechnet in den Grundwasserstand (Höhe des Grundwasserspiegels über Normal-Null).

Die Messung des Abstichs erfolgt mit einem Kabellichtlot der Firma Seba Hydrometrie. Das Messprinzip beruht auf der elektrischen Leitfähigkeit von Wasser.

### 3.2.2 Grundwassertemperatur

Die Wassertemperatur wird beeinflusst vom Wärmeumsatz an der Erdoberfläche, der Wärmeleitung von der Erdoberfläche und teilweise auch durch chemische und thermonukleare Prozesse (Matthess (1990) in Wisotzky, 2011).

Die Temperatur des Grundwassers unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen. Diese setzen sich gedämpft und zeitlich verzögert in die Tiefe fort (Abb. 22). Temperaturschwankungen lassen sich bis in eine ungefähre Tiefe von 25 m nachweisen (Wisotzky, 2011). Darunter wird die Temperatur ausschließlich vom geothermischen Gradienten beeinflusst. Da junge oberflächennahe Wässer den größten Temperaturschwankungen unterliegen, kann der Jahresgang der Wassertemperatur einer Messstelle Aufschluss über die Beteiligung junger, oberflächennaher Wässer geben.

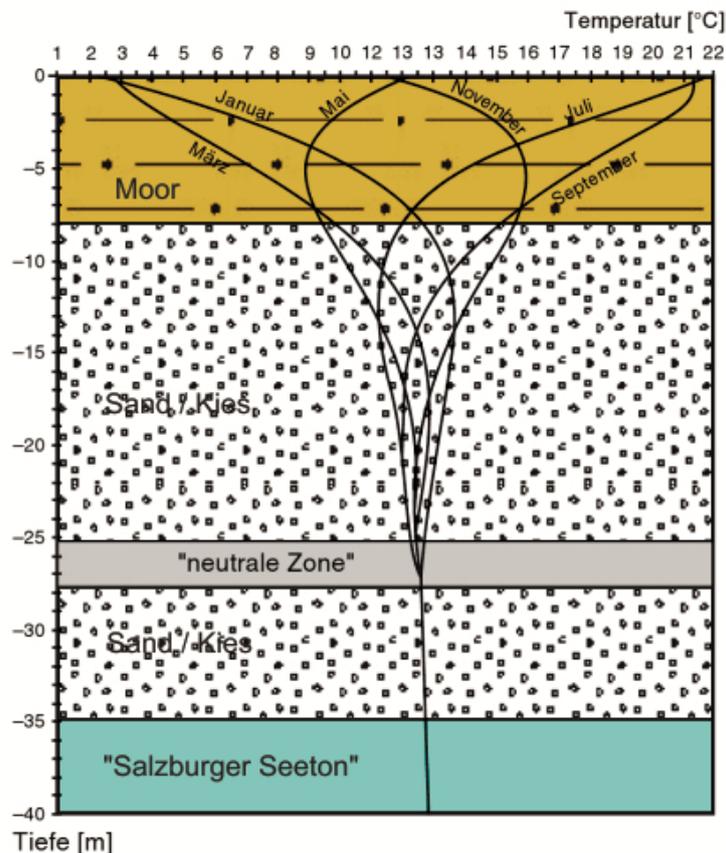


Abb. 22: Temperaturprofile im Untergrund zu verschiedenen Jahreszeiten (nach Lawa (1987) in Wisotzky F., 2011).

In urbanen Gebieten kann ein Anstieg der mittleren Temperatur des oberflächennahen Grundwassers beobachtet werden (Wisotzky, 2011).

### 3.2.3 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist eine Fähigkeit des Wassers elektrischen Strom zu leiten. Für den Stromtransport müssen Ladungsträger in Form von Ionen vorhanden sein. Es tragen hierbei Kationen und Anionen zur Leitfähigkeit in einer wässrigen Lösung bei. Bei einer gleichbleibenden Temperatur ist die Leitfähigkeit der Ionen eine Funktion ihrer Konzentration. Es können dadurch Aussagen über die Gesamtmineralisation getroffen werden, oder überprüft werden, ob Veränderungen stattfinden. Sie ist von der geologischen Beschaffenheit des Aquifers und vor allem auch von der Verweilzeit des Wassers im Aquifer abhängig. Die elektrische Leitfähigkeit ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes. Die elektrische Leitfähigkeit ist temperaturabhängig. Aus Vergleichsgründen werden alle Messwerte auf eine Referenztemperatur von 25° C umgerechnet (Nießner, 2010). Das bei den Untersuchungen verwendete Gerät (Typ: LF 330i der Fima WTW) führte diese Umrechnungen automatisch durch. Die elektrische Leitfähigkeit wird in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemessen.

### 3.2.4 pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration an freien Wasserstoffionen im Wasser in Form von Hydroniumionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) und Hydroxylionen ( $\text{OH}^-$ ). Er ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der in mol/l gemessenen Aktivität der Hydronium-Ionen im Wasser (Formel 1) und ist Anzeiger für die Azidität des Wassers.

$$pH = -\lg \left\{ \frac{a(\text{H}_3\text{O}^+)}{\frac{\text{mol}}{\text{l}}} \right\}$$

Formel 1: Definition des pH Wertes.

Bei der Messung des pH-Wertes durch eine Glaselektrode wird nicht die Konzentration gemessen, sondern die Aktivität. Der Aktivitätskoeffizient stellt den Unterschied zwischen Konzentration und Aktivität dar (Nießner, 2010).

### **3.3 Isotopen Hydrogeologie**

Zusätzlich zu dem monatlichen Messprogramm wurde an drei Pegeln am 15.09.2011 und 16.09.2011 von mir eine Pumpprobennahme durchgeführt. Es wurde mindestens das doppelte Wasservolumen der jeweiligen Filterstrecke umgesetzt und bis zur Konstanz der Wassertemperatur und Leitfähigkeit gepumpt. Mit den gewonnenen Grundwasserproben wurde eine Grundwasserisotopenanalyse im Hinblick auf ihr  $\delta^{18}\text{O}$  Verhältnis gemacht. Die Grundwasserproben wurden vom Isotopenlabor des Instituts für Geologie der Universität Innsbruck ausgewertet. Ziel dieser Untersuchung war es das Einzugsgebiet des Grundwassers, bezogen auf die absolute Höhe im Überblick zu charakterisieren.

#### **3.3.1 Grundlagen**

Das Verhältnis von schweren zu leichten Wasserisotopen zwischen den verschiedenen Phasen des Wassers kann sich beim Phasenübergang, etwa bei der Kondensation bei Wolkenbildung oder der Wasserverdunstung auf der Meeresoberfläche ändern. Die leichteren und reaktiveren Isotope reichern sich bevorzugt in der Phase mit geringer Dichte an und umgekehrt verhält es sich mit den schwereren Isotopen (dichtere Phase). Dieses Phänomen wird Isotopenfraktionierung genannt. Die Temperatur beeinflusst die isotopische Zusammensetzung von Niederschlägen am größten. Vor allem die Lufttemperatur der Atmosphäre hat während der Kondensation eine entscheidende Bedeutung (Etcheverry & Vennemann, 2009).

Aufgrund der Komplexität der Bestimmung absoluter Isotopenkonzentrationen wird stattdessen ein Verhältnis der zu bestimmenden Isotopen einer Probe relativ zu einem Standard bestimmt. Die Abweichung der Verhältnisse eines bestimmten Isotopenpaares aus einer Probe zum Standard wird als  $\delta$ -Wert bezeichnet. In dieser Arbeit wird das Verhältnis Sauerstoff  $^{18}\text{O}$  zu  $^{16}\text{O}$  verwendet (Formel 2).

$$\delta^{18}O = \left[ \frac{\left(\frac{O^{18}}{O^{16}}\right)_{Probe}}{\left(\frac{O^{18}}{O^{16}}\right)_{Standard}} - 1 \right] * 1000$$

Formel 2: Definition des Delta Wertes für die Sauerstoffisotope  $^{16}O$  und  $^{18}O$ .

Es können auch negative Werte auftreten. Sie weisen lediglich darauf hin, dass die schweren Isotope gegenüber dem Standard abgereichert sind. Ein positiver  $\delta$ -Wert weist auf eine Anreicherung des schweren Isotopes hin.

Als Standard wird der V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) verwendet.

Für die Auswertung der Isotopendaten spielen verschiedene Effekte wie der Breiteneffekt, Temperatureffekt, Kontinentaleffekt und der Höheneffekt eine Rolle.

Aufgrund der sehr spärlichen Datenlage ist es lediglich sinnvoll und zielführend den Höheneffekt in dieser Arbeit kurz zu erläutern.

### 3.3.2 Höheneffekt

Wenn Luftmassen aufsteigen, etwa an einem Gebirge, kühlen sie ab. Wenn es zu Kondensation und damit zu Niederschlag kommt, werden die verbleibenden Luftmassen an schweren Isotopen abgereichert, da diese bereits in Form von Niederschlag ausgegnet wurden. Mit zunehmender Höhe wird der Niederschlag isotopisch leichter. Die Höhenbeziehung ist näherungsweise linear. Durch diesen Effekt kann auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes der Wasserprobe geschlossen werden (Etcheverry & Vennemann, 2009). In den nördlichen Ostalpen werden Gradienten von -0,18 ‰ für  $^{18}O$  pro 100 Höhenmeter angenommen (Humer, 1995).

### 3.4 Hydrochemie

Im September 2011 wurden neun Vier-Zoll-Grundwassermessstellen Pumpprobennahme durchgeführt und auf ihre Hydrochemie untersucht (Abb. 23). Die Probennahme fand im Wesentlichen unter denselben Bedingungen wie die Isotopenprobennahme statt (vgl. 3.3). Die chemische Analyse der Proben wurde durch das Wasserlabor der Salzburg AG durchgeführt.

Die chemische Zusammensetzung liefert Hinweis über die Genese des Grundwassers. So werden einzelne Lithologien mit typischen Wasserzusammensetzungen in Verbindung gebracht.

Das Hauptaugenmerk bei der Analyse der Grundwasserchemie sollte dahin gehen, dass die bei Hirsch (in Kirchner, 1978) beschriebenen chemischen Besonderheiten im Grundwasserspiegel unterhalb des Leopoldskroner Moor besser verstanden und verifiziert werden können.

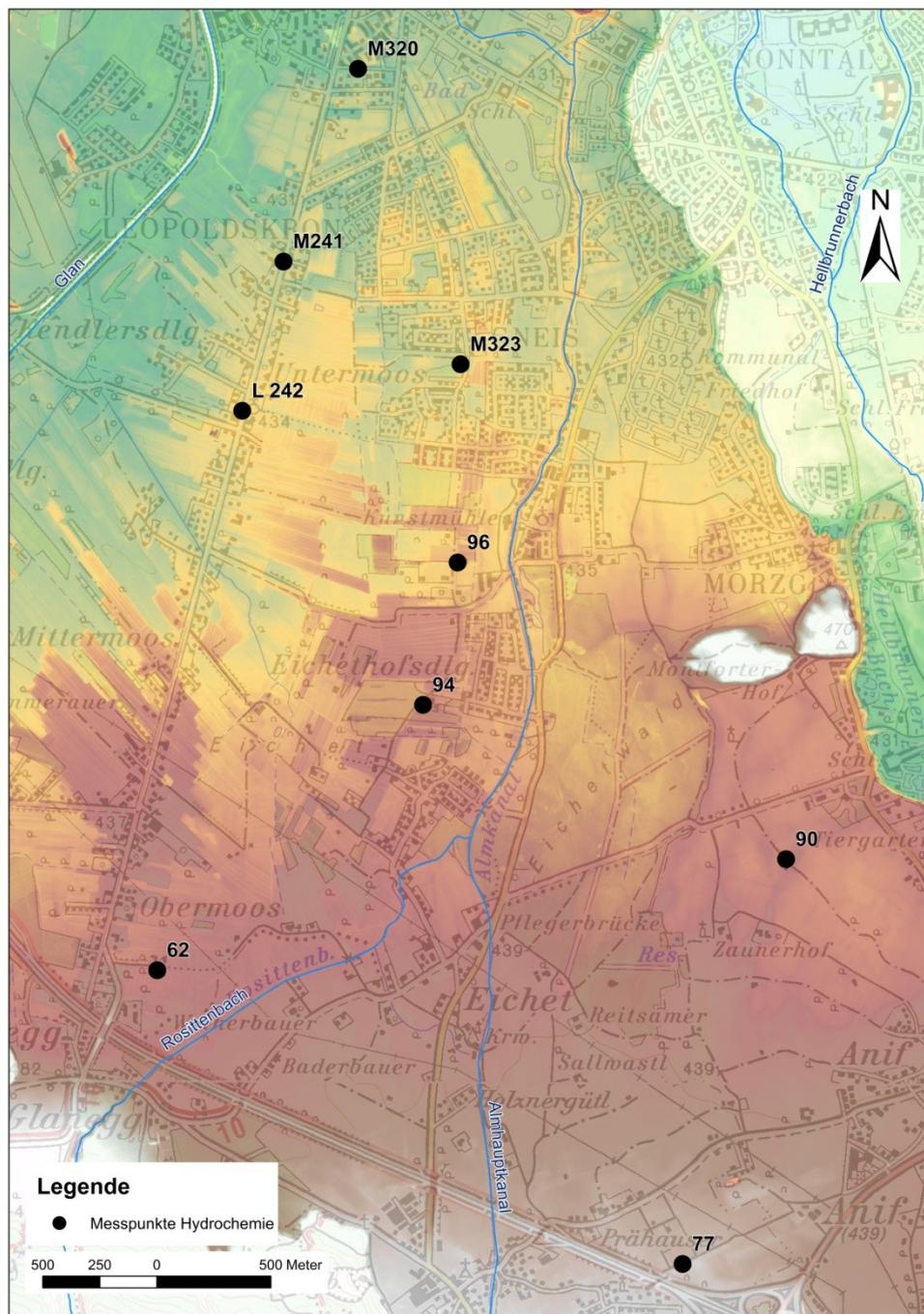


Abb. 23: Position der Pegel für die Probenahme und Analyse der Hydrochemie des Grundwassers.

### 3.4.1 Chemisch-physikalische Werte

#### Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium. Hydrogencarbonat, Sulfat und Chlorid

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , und  $\text{Na}^+$  sind in den Nördlichen Kalkalpen die typischen Kationen in Grund- und Quellwässern (Hilberg & Kreuzer, 2013). Calcium und Magnesium sind die so genannten Härtebildner und sind in allen natürlichen Wässern enthalten. Beide Elemente werden bei der Grundwasserbildung aus dem Boden gelöst. Anthropogene Magnesiumgehalte im Wasser können von Überdüngung und von fäkalen oder industriellen Abwasser stammen. Wässer mit hohem Calcium-, Magnesiumgehalten können abführende Wirkung haben. Der Kaliumgehalt in natürlichen Wässern ist durchwegs gering. Erhöhte Kaliumgehalte sind im Allgemeinen ein Hinweis für eine Verschmutzung durch Abwasser oder durch intensive Düngung.  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  sind Indikatoren für Steinsalz. Dieses stammt aus dem Haselgebirge. Sie können aber auch durch das aufgelöste Streusalz im Winter in das Grundwasser gelangen.

$\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  sind die typischen Anionen in Grund- und Quellwässern aus den Nördlichen Kalkalpen. Hydrogencarbonat ist das typische Anion in Wässern aus Karbonateinzugsgebieten. Bei Wässern aus reinen Karbonaten entspricht die  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration der Konzentration von  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ . Erhöhte Gehalte an  $\text{SO}_4^{2-}$  sind ein Zeichen für Gips- oder Anhydritvorkommen im Aquifer. Gipse weisen auf Vorkommen von Haselgebirge oder auch Raibler Schichten hin. Sulfate gelangen aber auch durch Auswaschungen von Handelsdünger und durch Rauchgase oder durch industrielle Abwässer sowie über Deponiesickerwässer in die Umwelt. Beim Menschen kann sulfathaltiges Wasser zu Magen- und Darmstörungen führen.

#### Ammonium, Nitrat und Nitrit

Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ist die erste Stickstoffverbindung, die im Boden durch den Protein-Harnstoff-Abbau entsteht. Ammonium entsteht durch mikrobiellen Abbau der aus landwirtschaftlicher Düngung eingetragenen Exkrementen und Gülle und mikrobieller Nitratreduktion und sollte im Trinkwasser nicht vorhanden sein. Nur in reduzierenden Wässern kann Ammonium auf natürliche Weise vorkommen. Ammonium steht eng mit Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) im Stickstoffkreislauf in Verbindung. Durch fortschreitende Nitrifikation entstehen aus Ammonium zuerst Nitrit und als Endprodukt Nitrat (Straka, 2008). In Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung

und unsachgemäßer Düngung, stellt Nitrat einen häufigen Verunreinigungsparameter dar. Allerdings können in besonderen Fällen, wie etwa in Mooren, auch nicht verschmutzte Gewässer relativ hohe Nitratgehalte aufweisen. Nitrit im Wasser deutet mit großer Wahrscheinlichkeit auf fäkale Verunreinigungen hin.

### Eisen und Mangan

Eisen- und Manganverbindungen sind im Allgemeinen nur in Spuren enthalten. Erhöhte Konzentrationen können nur unter reduzierenden Bedingungen erwartet werden.

### Fluorid

Ähnlich wie  $\text{Cl}^-$  treten auch höhere Gehalte an  $\text{F}^-$  im Zusammenhang mit Salzbildungen auf. Fluoride können aber auch aus der Metallverhüttung stammen oder über Abgase und Abwässer in die Umwelt gelangen. Für den Menschen ist Fluor lebenswichtig, vor allem für den Zahnschmelz, doch liegen notwendige und schädliche Dosis sehr nahe beieinander. Für die Fluoridprophylaxe wird dem Trinkwasser Fluortabletten hinzugegeben.

### Phosphat

Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ist wie Nitrat ein Anzeiger von anthropogenen Einflüssen. Phosphat ist etwa in Waschmitteln enthalten.

### TOC

Der TOC (Total Organic Carbon) Gehalt ist die Menge an Kohlenstoff der in organisch gebundener Form in der Probe in mg/l vorliegt. Der TOC Gehalt dient neben anderen Summenparametern zur Abschätzung der Wassergüte und spiegelt die Belastung des Wassers mit organischen Stoffen wider. Saubere Wässer weisen einen TOC-Gehalt von 1–2 mg/l auf.

### Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt der Oberflächenwässer und Grundwässer ist stark von den biochemischen Umsetzungsprozessen abhängig. Im Grundwasser kommt es in Folge von chemischen und physikalischen Prozessen zu einem aufzehren des Sauerstoffes. In Gewässern mit organischen Abwässern oder Abfallstoffen

verbrauchen Mikroorganismen bei der Zersetzung von Abfallstoffen viel Sauerstoff. Dies kann unter Umständen zum vollständigen Rückgang des Sauerstoffs führen. Bei starken Kontaminationen sind im Grundwasser häufig Sauerstoffarmut oder Sauerstofffreiheit zu beobachten.

### Gesamthärte

Die Härte des Wassers ist nach DIN 38409-6 die Bezeichnung für die Konzentration an bestimmten, durch Härtebezeichnung festgelegten Ionen im Wasser. Die Wasserhärte wird angegeben in Grad deutscher Härte (°dH) und ist definiert als der Summenparameter von  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ , wobei die zwei letztgenannten Parameter nach DIN 38409-6 zu vernachlässigen sind (Formel 3).

$$GH (\text{°dH}) = Ca^{2+} + Mg^{2+}$$

Formel 3: Definition der Gesamthärte

Die Härtestufen (Abb. 24): der Wässer lassen sich wie folgt unterteilen:

Gesamthärte °dH	Beurteilung
< 4	sehr weich
4 – 8	weich
8 – 12	mittelhart
12 – 18	etwas (oder ziemlich) hart
18 – 30	hart
> 30	sehr hart

Abb. 24: Härtestufen nach Klut & Olszewski (1945) in Hölting & Coldewey, 2013.

### 3.4.2 Klassifikation

Eine international übliche Form den Hauptchemismus darzustellen ist, die Kationen ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) und die Anionen ( $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ) in einem Piper Diagramm mit ihren Äquivalentkonzentrationen einzutragen. Basierend auf Furtak & Langguth (1967) schuf Kralik et al. (2005) eine Unterteilung der Österreichischen (Abb. 25; Kralik, 2005).

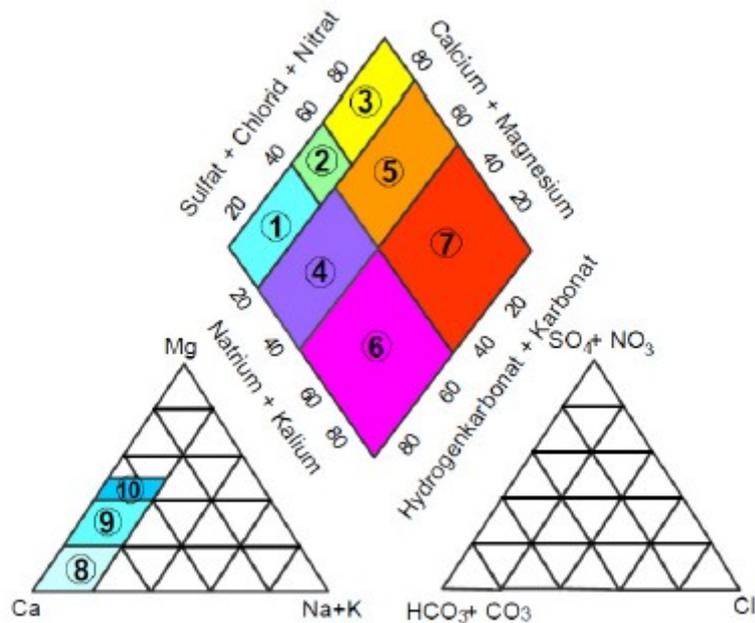


Abb. 25: Nach Furtak & Langguth modifiziertes Piper-Diagramm der unterschiedlichen Wassertypen nach Kralik (2005).

Die Klassifikation in unterschiedliche Wassertypen gliedert sich wie folgt (Kralik, 2005):

Erdalkalische Wässer ( $Ca+Mg > 80\%$ ;  $Na+K < 20\%$ )

1) Erdalkalisch-karbonatisch ( $HCO_3+CO_3 > 60\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 < 40\%$ ) (unterteilt in Untertypen 8, 9, 10)

2) Erdalkalisch-karbonatisch-sulfatisch ( $HCO_3+CO_3 = 40-60\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 = 40-60\%$ )

3) Erdalkalisch-sulfatisch ( $SO_4 > Cl, NO_3$ ;  $HCO_3+CO_3 < 40\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 > 60\%$ )

chloridisch ( $Cl > SO_4, NO_3$ ;  $HCO_3+CO_3 < 40\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 > 60\%$ )

nitratisch ( $NO_3 > SO_4, Cl$ ;  $HCO_3+CO_3 < 40\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 > 60\%$ )

Erdalkalisch-Alkalische Wässer ( $Ca+Mg 50-80\%$ ;  $Na+K = 20-50\%$ )

4) Erdalkalisch-alkalisch-karbonatisch ( $HCO_3+CO_3 > 50\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 < 50\%$ )  
Kalium dominiert ( $K > Na$ ;  $HCO_3+CO_3 > 50\%$ ;  $SO_4+Cl+NO_3 < 50\%$ )

5) Erdalkalisch–alkalisch-sulfatisch ( $\text{SO}_4 > \text{Cl}, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ ) chloridisch ( $\text{Cl} > \text{SO}_4, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ ) nitratistisch ( $\text{NO}_3 > \text{SO}_4, \text{Cl}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

Alkalische Wässer ( $\text{Ca} + \text{Mg} < 50\%$ ;  $\text{Na} + \text{K} > 50\%$ )

6) Alkalisch-karbonatisch ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 50\%$ ) Kalium dominiert ( $\text{K} > \text{Na}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 50\%$ )

7) Alkalisch-sulfatisch ( $\text{SO}_4 > \text{Cl}, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ ) chloridisch ( $\text{Cl} > \text{SO}_4, \text{NO}_3$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ ) nitratistisch ( $\text{NO}_3 > \text{SO}_4, \text{Cl}$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 < 50\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 > 50\%$ )

Unterteilung erdalkalisch-karbonatischer Wässer ( $\text{Ca} + \text{Mg} > 80\%$ ;  $\text{Na} + \text{K} < 20\%$ ) in Untertypen.

8) Überwiegend Ca-Karbonat ( $\text{Mg} < 20\%$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ )

9) Überwiegend Ca-Mg-Karbonat ( $\text{Mg} = 20\text{-}40\%$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ ) oder Mischungen von Subtypen 8) und 10)

10) Überwiegend Dolomit ( $\text{Mg} > 40\%$ ;  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > 60\%$ ;  $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 < 40\%$ )

Die Wassertypen spiegeln die im Hintergrund vorhandenen Gesteinstypen wider (Kralik et al., 2005).

## 4. Ergebnisse und Interpretation

### 4.1 Grundwasser

#### 4.1.1 Resultate

##### Abstich

Das Untersuchungsgebiet lässt sich in 6 Bereiche unterschiedlicher Grundwasserschwankungen unterteilen (Abb. 26, Abb. 27):

- 1) Roter Bereich im Süden
- 2) Oranger Bereich
- 3) Violetter Bereich im Osten
- 4) Schwarzer Bereich im Nordwesten (Flughafen)
- 5) Blauer Bereich bei Pegel L 242 an der Moosstraße
- Restlicher Bereich

Die maximalen jährlichen Grundwasserschwankungen betragen im südlichen untersbergnahen Gebiet (Roter Bereich) etwa zwei Meter. Die Grundwassermessstellen 64 und 77 schwanken nach oben und unten, bezogen auf den Mittelwert, im gleichen Verhältnis. Bei den Grundwassermessstellen 80, 86 und 82 ist ersichtlich dass sie nach unten wie die Messstellen 64 und 77 schwanken, jedoch ist die Schwankung nach oben hin um etwa 20 Zentimeter geringer.

Die etwas nordöstlicher gelegenen Grundwassermessstellen des orangen Bereiches weisen in etwa Grundwasserschwankungen von 1 Meter bis 1,5 Meter auf. Die an den Randbereich gelegenen Messstellen 96, 92 und 90 weisen etwas geringere Schwankungen nach unten hin auf, was schon auf den Einfluss der nächsten Bereiche hindeutet.

Der Violette Bereich kennzeichnet die Grundwassermessstellen kurz vor, auf und kurz nach der Kante der Friedhofsterrasse. Bei den Messstellen BL3 bis BL 12 ist ersichtlich, dass direkt an der Terrassenkante die Grundwasserschwankungen ein Minimum von 14 Zentimetern aufweisen. Vor und nach der Terrassenkante schwankt das Grundwasser deutlich stärker.

Im Gebiet des Salzburger Flughafens (Schwarzer Bereich) hat das Grundwasser wieder eine erhöhte Schwankungsbreite von etwa 1,5 Metern.

Der Pegel L. 242 an der Moosstraße (Blauer Bereich) stellt einen besonderen Bereich dar. Das Grundwasser schwankt in diesem Pegel besonders stark nach unten und weist deutliche Unterschiede zu seinen Nachbar-Pegeln auf.

Die restlichen Grundwassermessstellen, verteilt im und um das Leopoldskroner Moor, zeigen alle ähnliche, unauffällige Schwankungen.

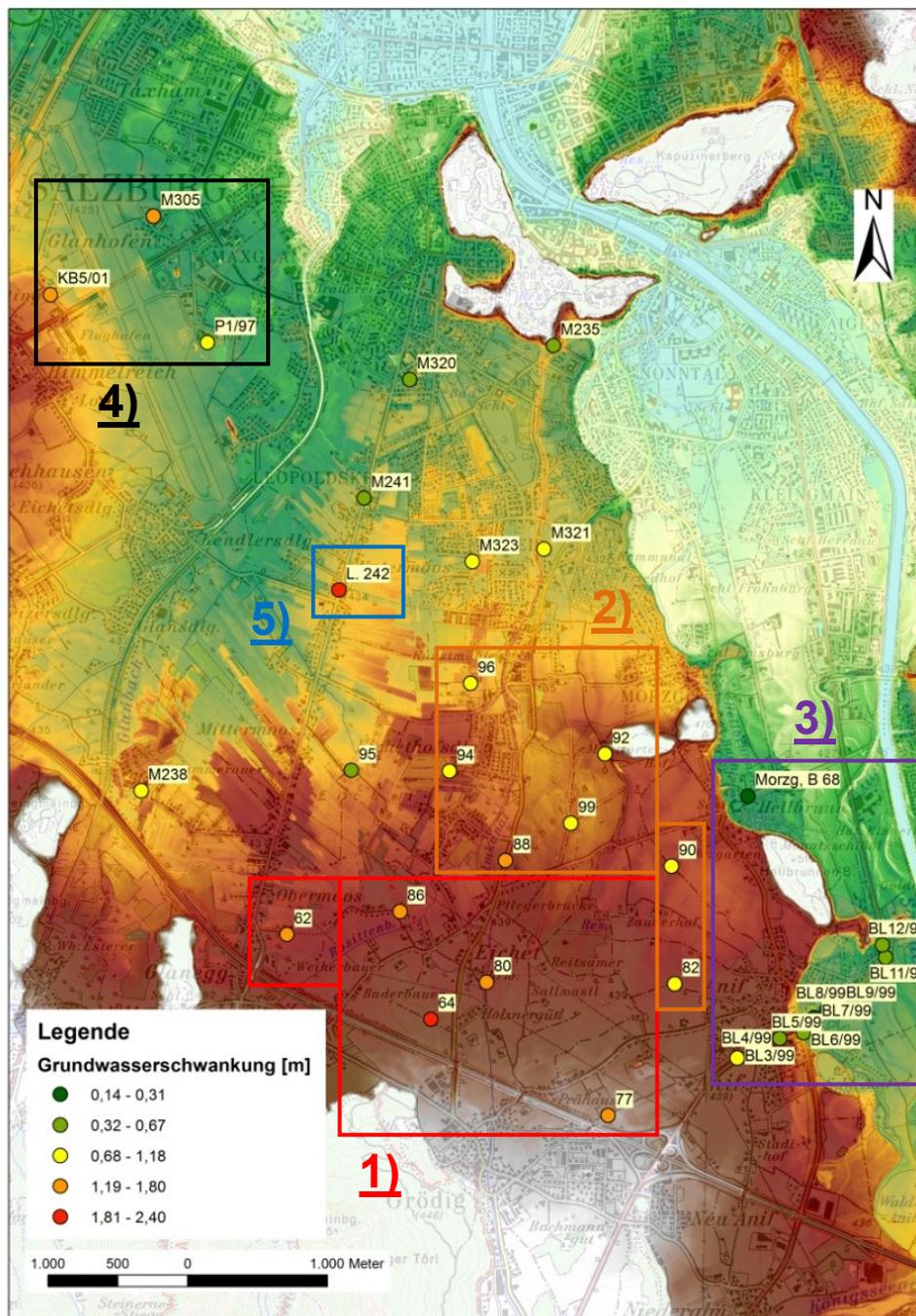


Abb. 26: Lage der beprobteten Grundwassermessstellen und Schwankungsbreite des Abstichs im Untersuchungszeitraum.

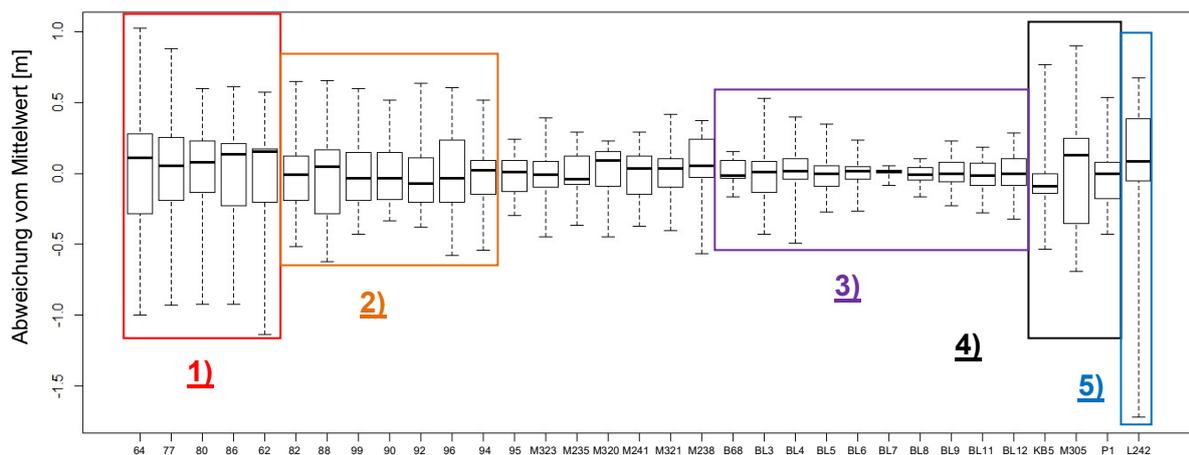


Abb. 27: Schwankungsbreite des Grundwasserabstiches um den Mittelwert über 13 Monate im Untersuchungszeitraum. Der Pegel L.242 ist möglicherweise durch eine Grundwasserentnahme durch einen Brunnen oder ähnliches beeinflusst.

In Abb. 28 und Abb. 29 sind die höchsten und geringsten Flurabstände im Untersuchungszeitraum, mit Hilfe des Programmpaketes ArcGIS Spatial Analyst, über die Fläche interpoliert.

Sowohl der maximale (Abb. 28), als auch der minimale Flurabstand (Abb. 29) zeigen eine eindeutige und ähnliche Tendenz mit dem höchsten Flurabstand im untersbergnahen Süden. In Richtung Norden, Stadtbereich, nimmt der Flurabstand weiter ab. Die Pegel im Nordwestlichen Ende des Untersuchungsgebietes zeigen wieder ansteigende Flurabstände. Eine Unterirdische Wasserscheide wie sie in Kirchner et al. [1978] für Höchst- und Niedriegswasser zu finden ist, kann hier in geringem Maße beobachtet werden.

Im Kapitel Grundwasserisohypsenkarte wird näher auf die Grundwasserströmungsrichtungen eingegangen.

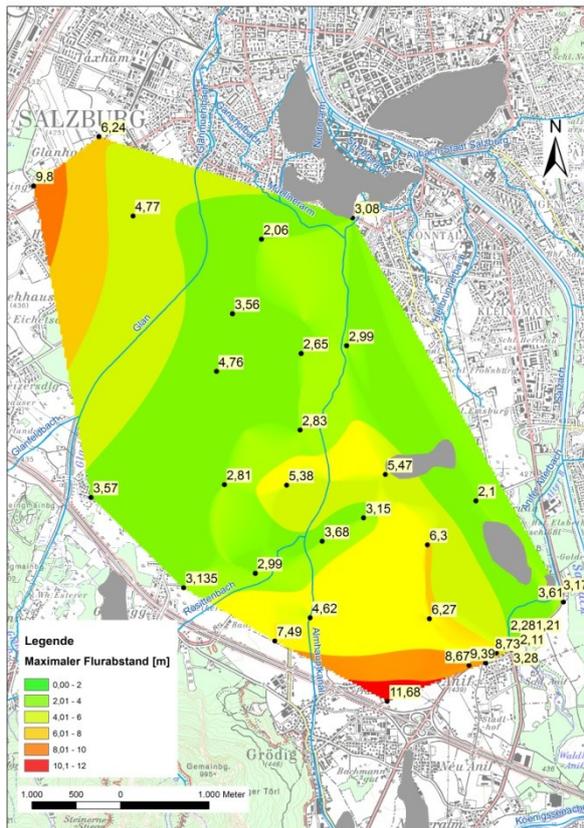


Abb. 28: Höchster Flurabstand des Grundwassers am 31.11.2011 (ArcGIS Spatial Analyst, Natural Neighbor).

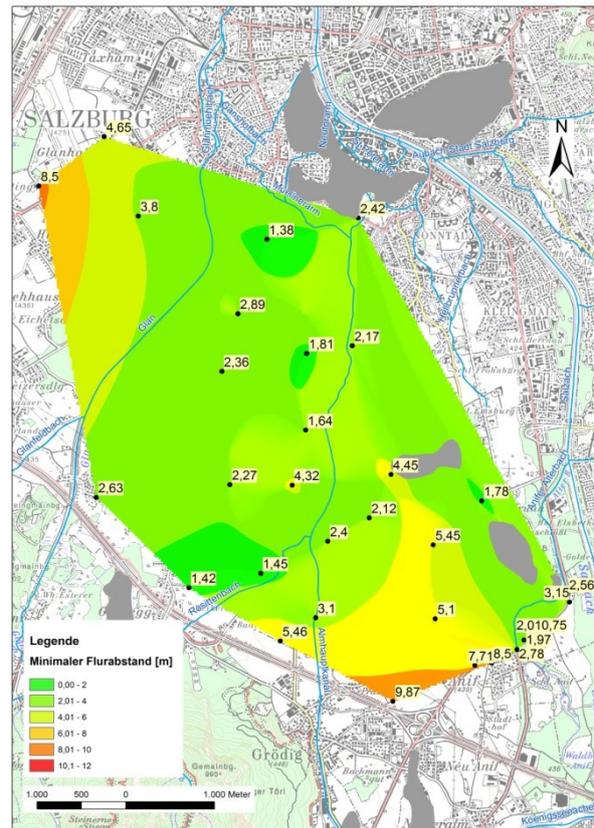


Abb. 29: Geringster Flurabstand des Grundwassers am 02.07.2012 (ArcGIS Spatial Analyst, Natural Neighbor).

Die Grundwasserstände (Abb. 30) zeigen ähnliche Verläufe mit zwei Maxima Anfang bis Mitte Februar 2012 und im Mitte Juli bis Anfang August 2012 (schwarze Umrandung Abb. 31) und ein weiteres kleineres Maximum Anfang November 2011. Bei den meisten Pegeln folgt auf dieses kleine Maximum das absolute Minimum im Dezember (Rote Umrandung). Dieses Minimum lässt sich Anhand des Niederschlages (Abb. 32) erklären, da auch der Niederschlag hier sein absolutes Minimum aufweist. Die Abflüsse der Glan und der Königsseeache sind in den Grundwassermessstellen mit einer Verzögerung von einigen Wochen zu erkennen (Abb. 32, Abb. 33), während die Messkurven des Niederschlages und der Pegel ohne, oder mit geringer (einige Tage) Verzögerung stattfinden.

Dieser Umstand legt nahe, dass die Versickerung von Niederschlägen im Untersuchungsgebiet sehr schnell von statten geht.

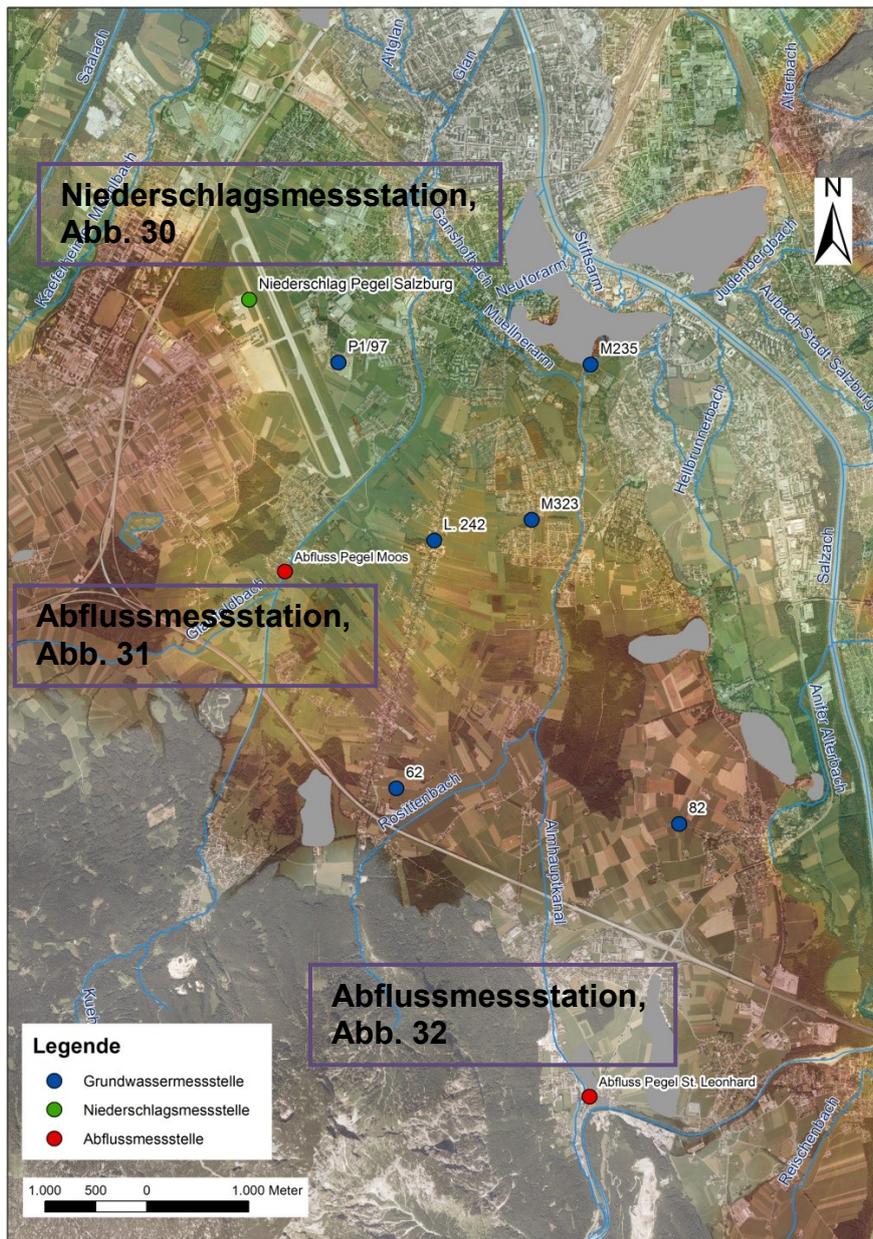


Abb. 30: Übersicht der verwendeten Messstationen für die Jahregänge.

Nur der bereits erwähnte Pegel L. 242 entlang der Moosstraße zeigt ein deutliches Minimum Anfang März 2013. Wie in Abb. 31 ersichtlich, ist dieser Pegel sehr stark beeinflusst durch Niederschlagswässer, da sich die Kurven weitestgehend ähneln. Da jedoch der Niederschlag hier nicht sein absolutes Minimum besitzt, kann ein zusätzlicher anthropogener Einfluss, wie die Entnahme von Grundwasser zur Bewässerung der umliegenden Landwirtschaftlichen Flächen, nicht ausgeschlossen werden.

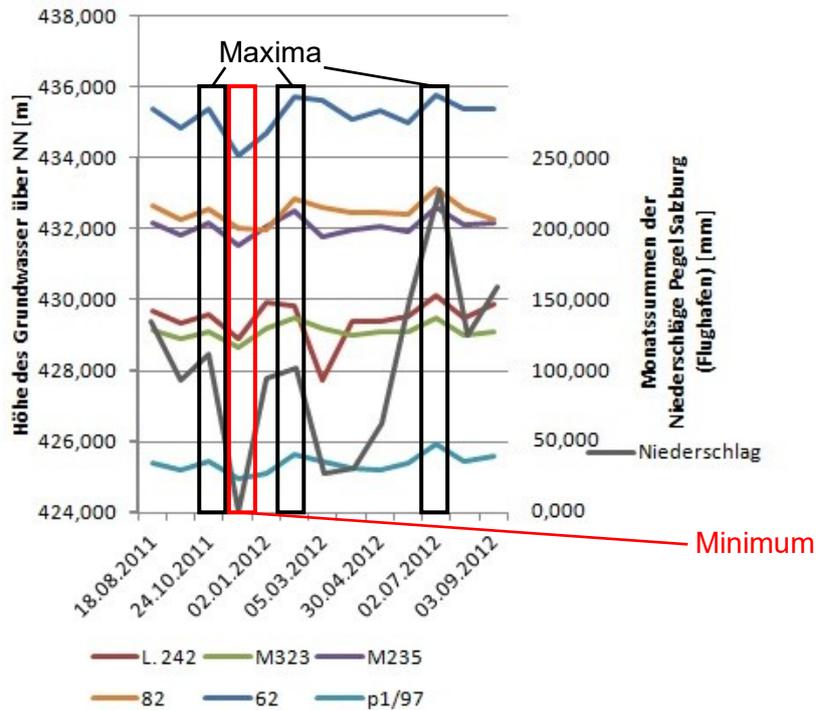


Abb. 31: Vergleich des Grundwasserstandes (13 Abstichmessungen /13 Monate) im Untersuchungsgebiet und der Monatssummen der Niederschläge im Pegel Salzburg (Flughafen) (Datengrundlage Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2011 und 2012).

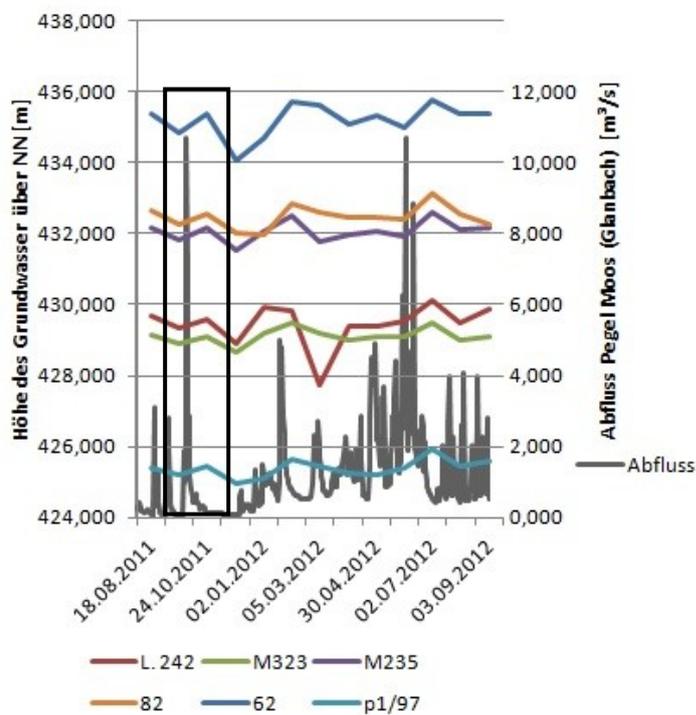


Abb. 32: Vergleich des Grundwasserstandes (13 Abstichmessungen /13 Monate) im Untersuchungsgebiet und des Abflusses des Pegels Moos (Glanbach) (Datengrundlage Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2011 und 2012).

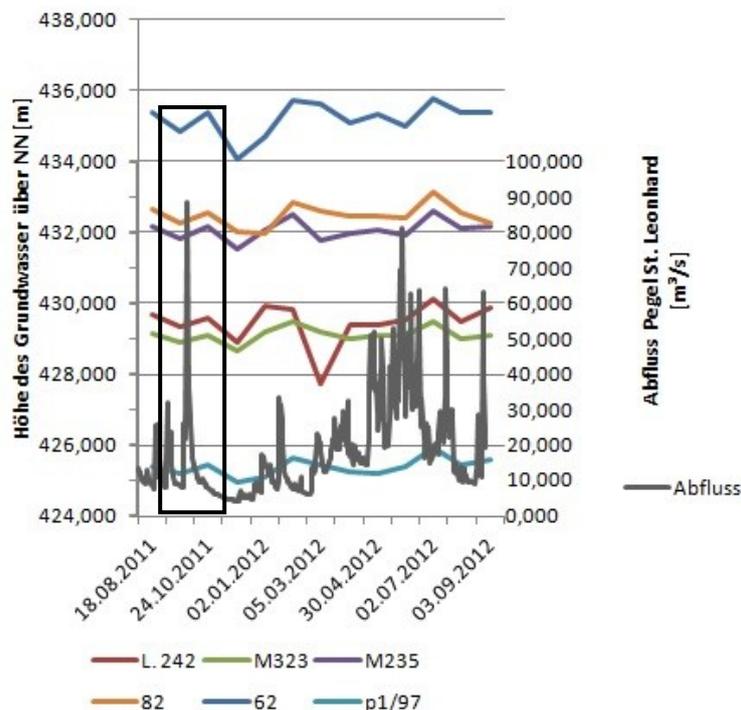


Abb. 33: Vergleich des Grundwasserstandes (13 Abstichmessungen /13 Monate) im Untersuchungsgebiet und des Abflusses des Pegels St. Leonhard (Königsseeache mit Almkanal) (Datengrundlage Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2011 und 2012).

### Grundwasserisohypsenkarte

In Abb. 34 und 35 sind die tiefsten und höchsten Absoluten Wasserstände im Untersuchungszeitraum dargestellt. Die tiefsten Grundwasserstände über Normal Null wurden am 31.11.2011 (Abb. 34) und die höchsten am 07.07.2012 (Abb. 35) gemessen. Diese Daten bildeten die Grundlage für die Anfertigung zweier Grundwasserisohypsenkarten, des Maximums und des Minimums (Abb. 36, Abb. 37).

Bei den niedrigsten und höchsten Grundwasserflurabständen (Abb. 36, Abb. 37) ist zu erkennen dass das Grundwasser vom Untersberg kommend tendenziell gegen Norden fließt. Der Grundwasserstrom trennt sich. Ein Teil des Grundwassers fließt weiter Richtung Norden und Nordosten und der andere Grundwasserstrom fließt nach Nordwesten und strömt in die Glan.

Das nach Norden bzw. Nordosten fließende Grundwasser strömt über die Terrassenkanten im Osten und Nordosten und fließt in Richtung Salzach.

Über die Terrassenkanten im Osten verringern sich die Grundwasserisohypsen, das ist darauf zurückzuführen, dass hier auf relativ kurzer Zeit ein vermeintlich hohes Gefälle überwunden wird.

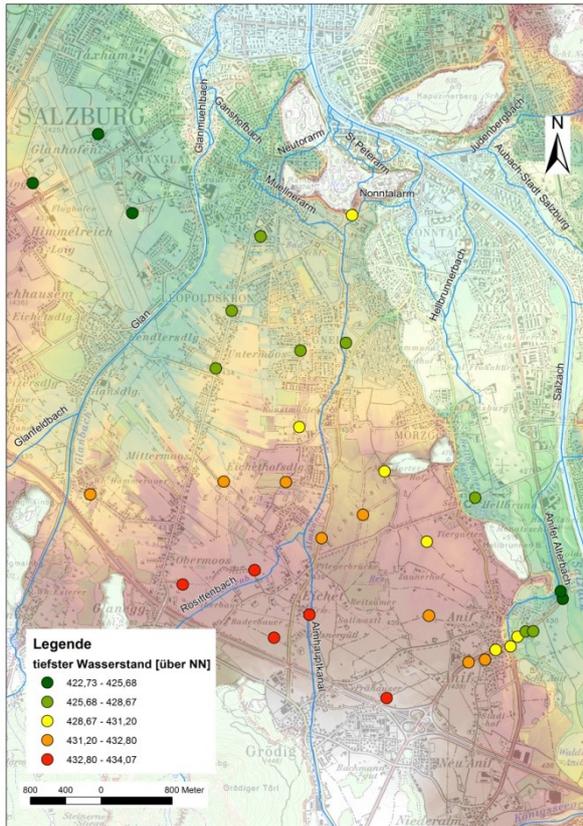


Abb. 34: Niedrigster Grundwasserstand über Normal Null am 31.11.2011.

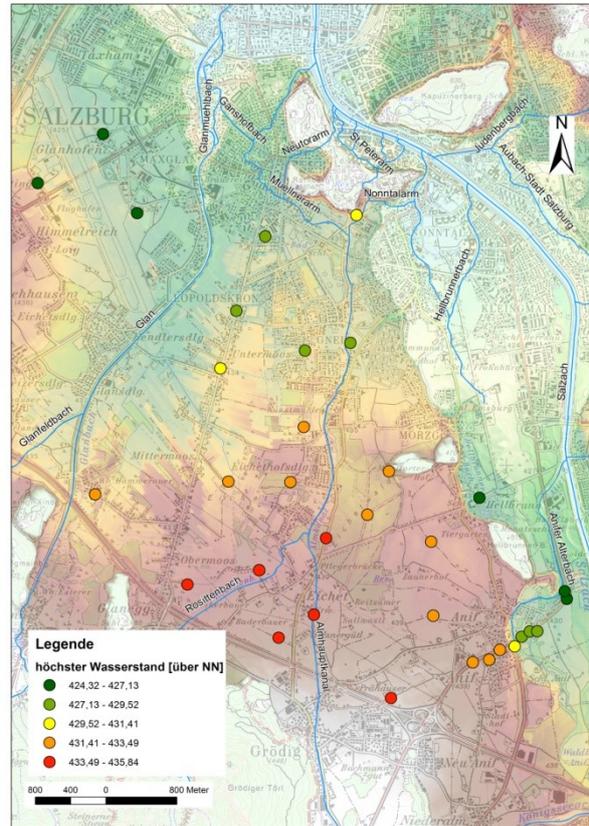


Abb. 35: Höchster Grundwasserstand über Normal Null am 07.07.2012.

Im Vergleich zeigen die Grundwasserisohypsenkarten in Abb. 36 und Abb. 37 Unterschiede. Die Grundwasserisohypsen verlaufen beim niedrigsten Grundwasserstand nicht so einheitlich wie sie das beim höchsten Flurabstand machen, jedoch verlaufen sie alle grundsätzlich in dieselbe Richtung. Dieses Phänomen ist auf die vermutlich nicht ebene Fläche der grundwasserleitenden Schichten zurückzuführen sein. Da der Grundwasserspiegel unter dem Moor hindurch läuft und die Königsseeache diese Komponenten aufgeschüttet hat, könnte eine Erosionsrinne der Königsseeache dieses raue Relief verursacht haben.

Der einzelne südlich des Mönchsberg-Rainberg gelegene Pegel (Abb. 36, Abb. 37) konnte keiner Isohype zugeordnet werden.

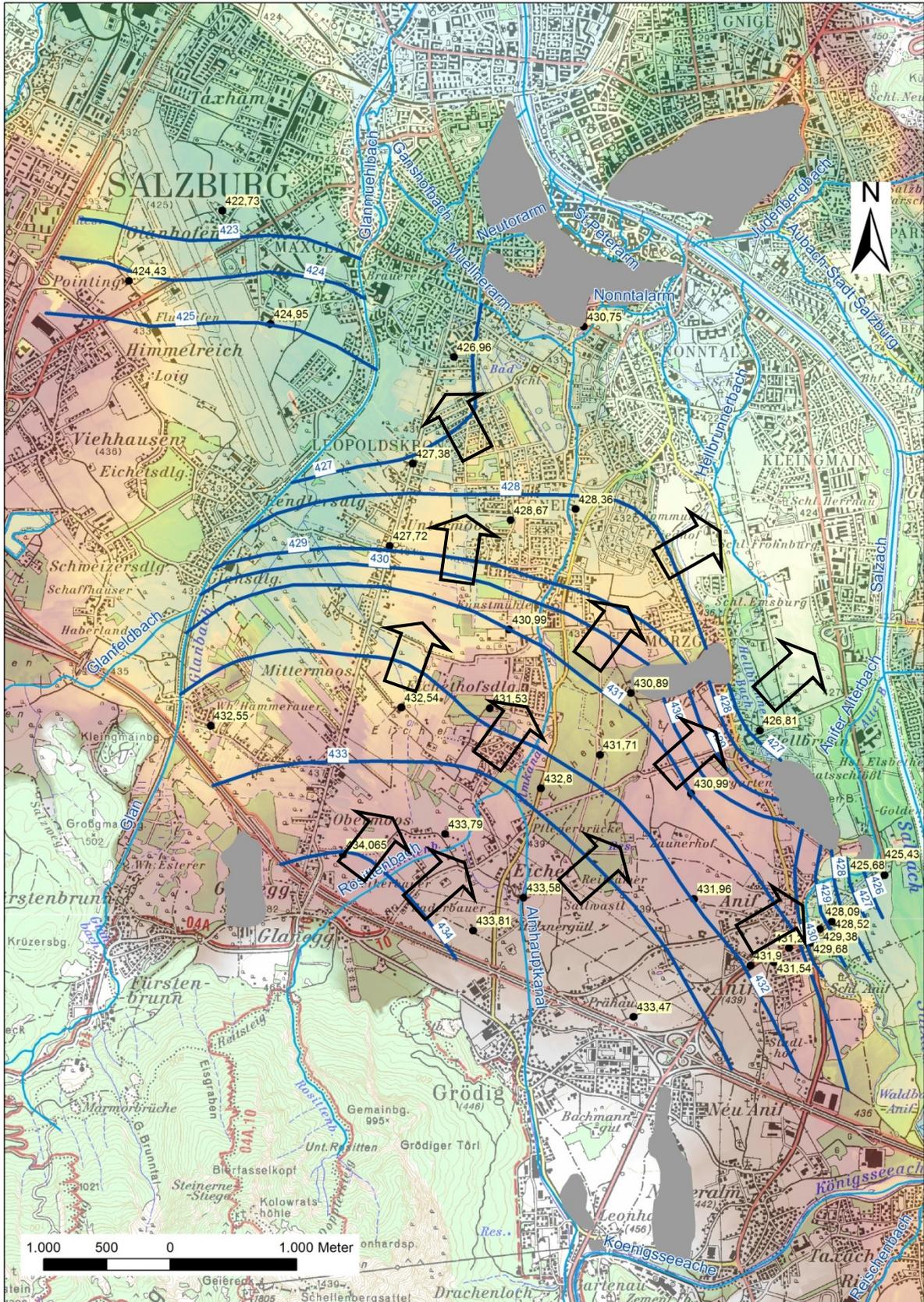


Abb. 36: Niedrigster Grundwassergleichenkarte Pegelstand 31.11.2011. Schwarze Pfeile deuten die Strömungsrichtung des Grundwassers an.

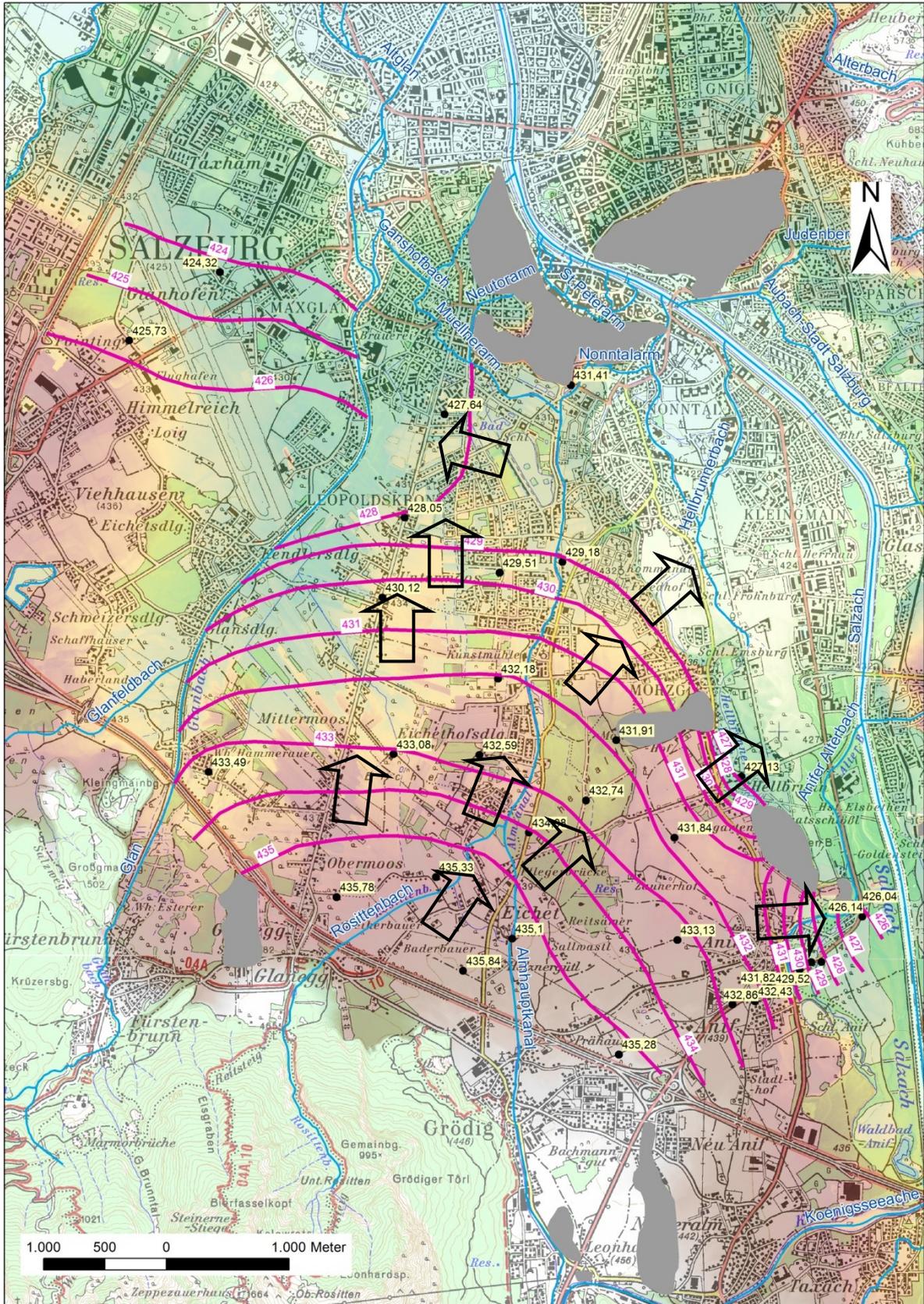


Abb. 37: Höchster Grundwassergleichenkarte Pegelstand 07.07.2012. Schwarze Pfeile deuten die Strömungsrichtung des Grundwassers an.

## Grundwassertemperatur

Die Temperatur des Grundwassers schwankt zwischen 6,7 und 15,5 °C. Auffällig ist das der Messpegel BL8/99 sowohl das absolute Maximum, als auch beinahe mit 6,8 °C das absolute Minimum besitzt. Dieser Messpunkt befindet sich an einer Terrassenkante, wo der Flurabstand sehr gering ist und die Wässer teilweise am Terrassenübergang frei ausfließen können. In den Pegeln BL3 bis BL 12 (Abb. 38, Abb. 39B) sieht ein Profil der Flurabstände und der Temperaturen über die Kante der Friedhofsterrasse folgendermaßen aus:

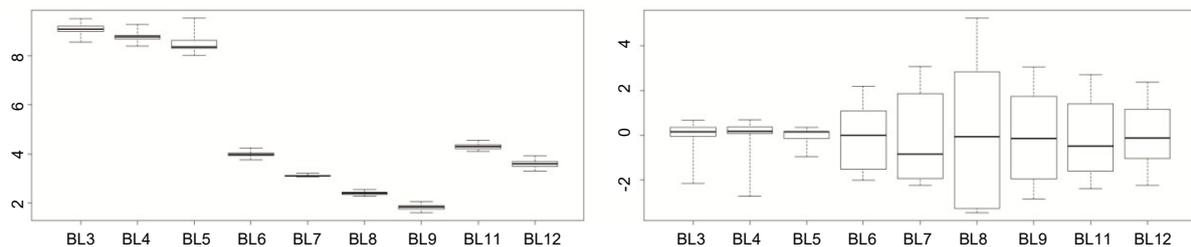


Abb. 38: Profil der Flurabstände (links; in Meter) und der Abweichungen der Temperaturen (rechts; in °C) über die Terrassenkante der Friedhofsterrasse.

Es ist hier zu erkennen, dass auf der Friedhofsterrasse der Flurabstand des Grundwassers höher ist und die Schwankungen der Temperatur geringer sind. Desto näher man der Terrassenkante kommt, desto geringer wird der Flurabstand und die Schwankungen der Grundwassertemperatur nehmen ebenfalls zu. Nach der Terrassenkante, bereits auf topographisch tieferem Niveau, gleichen sich die Flurabstände wieder den erstgenannten Abständen an und die Schwankungen der Temperatur nehmen wieder ab.

In Abb. 39C wurden die Schwankungen der Grundwassertemperatur in Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich beträgt die Schwankung oberen zum unteren Quantil des Box und Whisker Plots des Grundwassers maximal 1°C. Bei dem blauen Bereich beträgt dieser Abstand 2°C und im roten Bereich liegen die restlichen Messstellen.

Diese drei Bereiche werden in Abb. 40 dargestellt. Im südlichen sowie südöstlichen Bereich sind die Schwankungen der Grundwassertemperatur am geringste. Ebenfalls sehr geringe Schwankungen weisen die Grundwässer am Flughafen, sowie die Pegel M323 und M321 im und kurz außerhalb des Leopoldskroner Moores auf. Im Zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes und nördlichsten Teil weisen die Temperaturen die größte Variabilität auf.

Die geringsten Schwankungen der Grundwassertemperatur treten zum Großteil an Stellen des höchsten Flurabstandes auf (Abb. 39A, Abb. 39C). Es ist jedoch zu beobachten, dass bei den Messstellen in der Nähe des Almhauptkanals und des Rosittenbaches erhöhte Schwankungen der Temperatur ersichtlich sind.

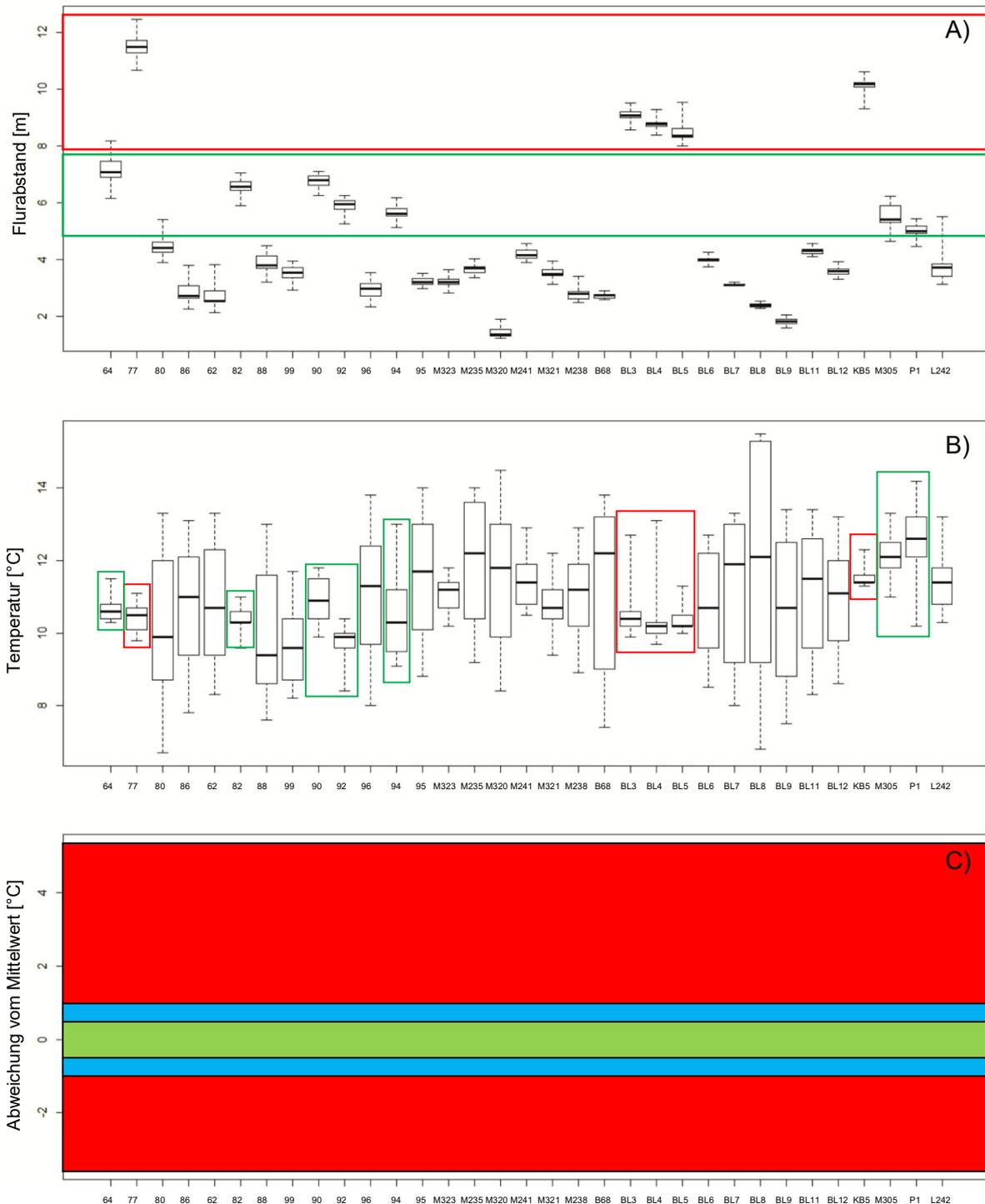


Abb. 39: A) Variation des Flurabstandes der Grundwassermessstellen B) Verteilung der Grundwassertemperatur im Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum. C) Schwankungsbreite der Grundwassertemperatur um den Mittelwert; Grüner Bereich: Schwankungsbreite oberes zu unteres Quantil 1°C; Blauer Bereich: Schwankungsbreite oberes zu unteres Quantil 2°C; Roter Bereich: große Schwankungsbreite der Grundwassertemperatur.

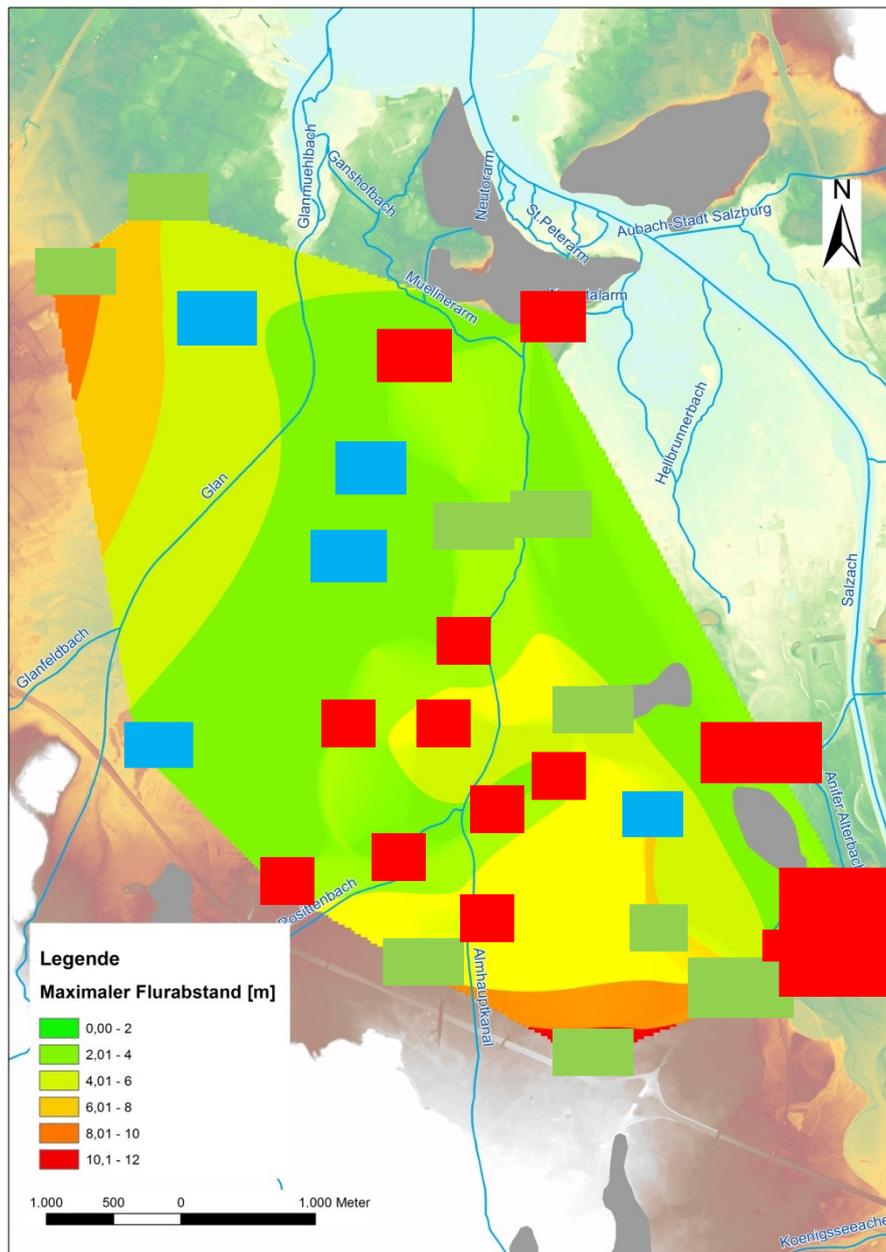


Abb. 40: Lage der beprobteten Grundwassermessstellen und Schwankungsbreite des Abstichs im Untersuchungszeitraum. Zusätzlich dargestellt ist der Maximale Flurabstand (vgl. Abb. 26).

Abb. 41 zeigt die Grundwassertemperatur der Beobachtungsmesspegel für den Juli 2012. Diese einzelnen Punktdaten wurden mit Hilfe des ArcGis Spatial Analyst Tool (Natural Neighbor) über die Fläche interpoliert. Zusätzlich sind noch die Isohypsen des Messzeitpunktes eingezeichnet. Es ist erkennbar, dass kaltes Wasser aus Richtung Untersberg kommend nach Norden fließt. Desto weiter nach Norden es kommt, desto mehr wird es von wärmeren Niederschlagswässern und Oberflächenwässern vermischt. Die Temperatur ist an den Terrassenkanten und im

nördlichen Bereich am höchsten. Es kann angenommen werden, dass das kalte Grundwasser im Süden direkt aus dem Trinkwasserfeld Glanegg kommt.

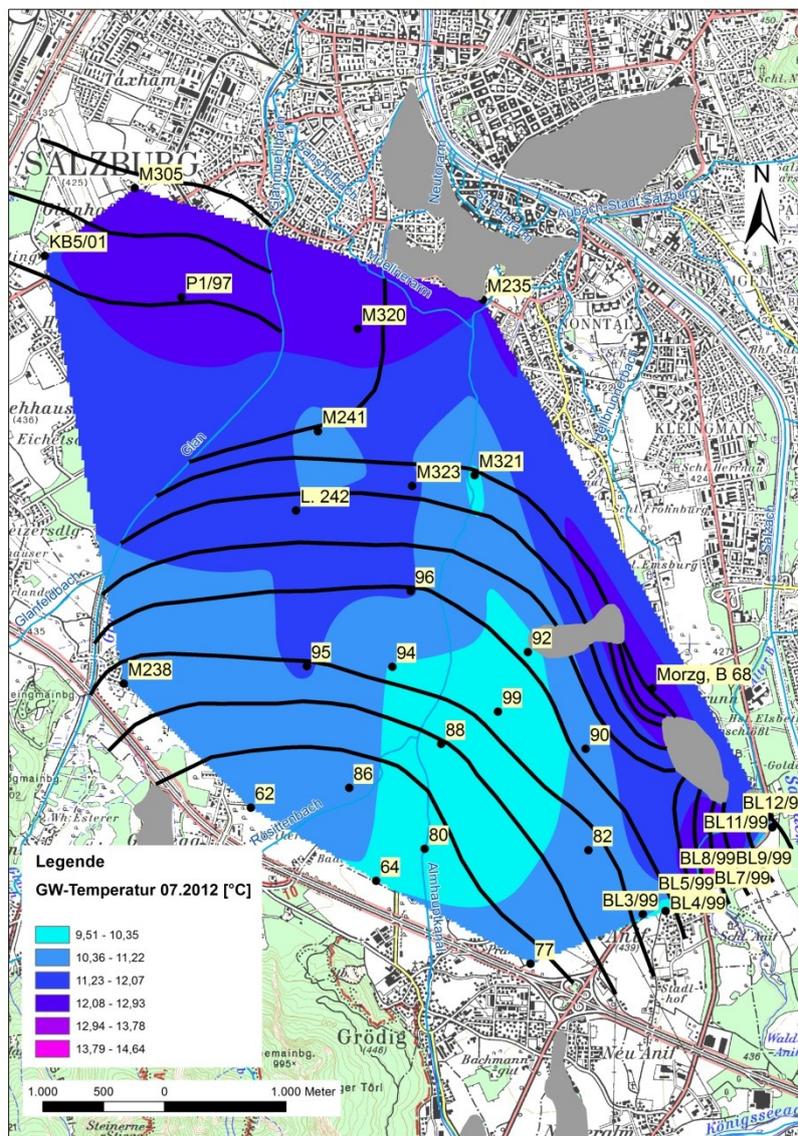


Abb. 41: Verteilung der Grundwassertemperatur mit den Isohypsen für den Juli 2012 (ArcGIS Spatial Analyst, Natural Neighbor).

Abb. 42 stellt als Ergänzung zusätzlich zu den Temperaturverläufen der Grundwassermessstellen noch die Lufttemperaturen der Beobachtungsmessstation Salzburg (Flughafen) dar. Es kann eine leichte Verzögerung des Minimums hin zum Jänner beobachtet werden, jedoch spiegelt diese Abb. die bereits bekannten und beschriebenen Tatsachen dar.

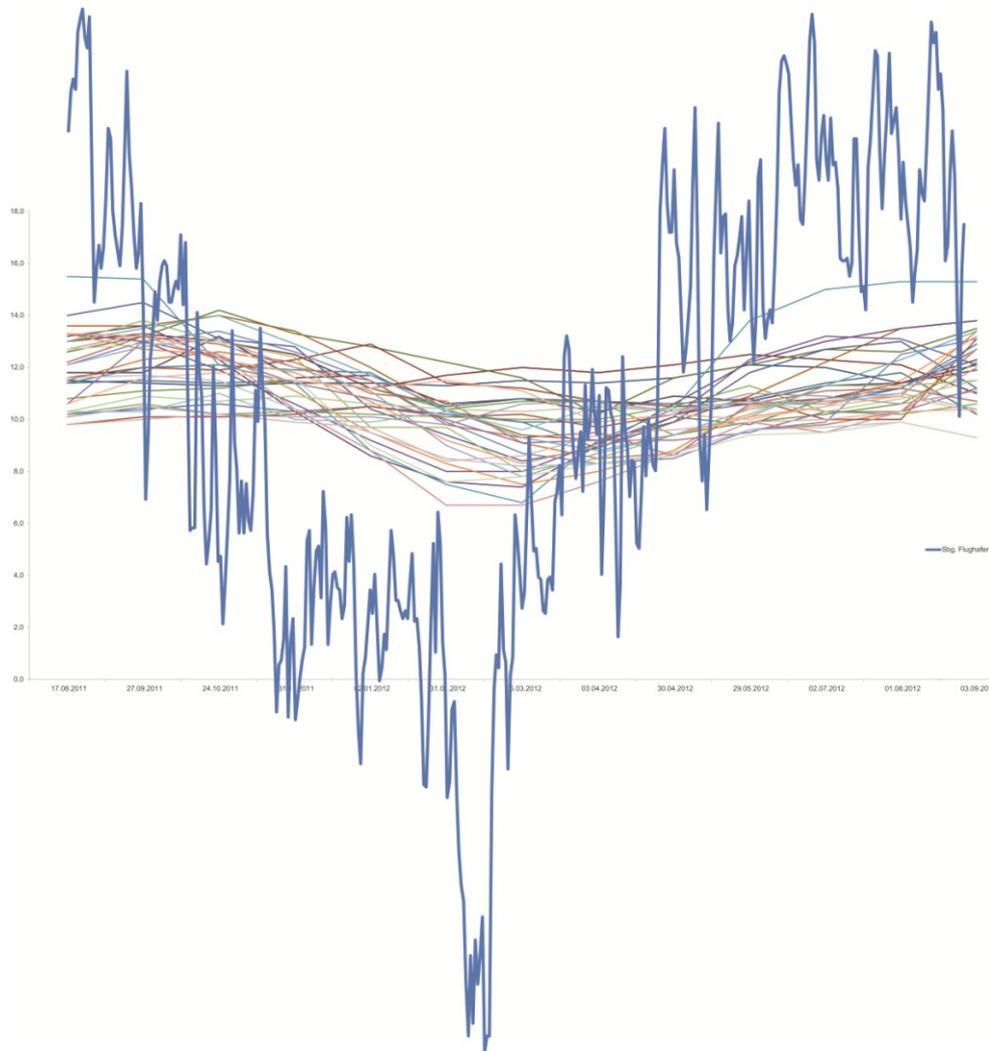


Abb. 42: Gegenüberstellung des Jahresgangs der Lufttemperatur an der Messstation Salzburg Flughafen) und der Grundwassertemperatur (Quelle: ZAMG).

Abb. 43 zeigt die Temperaturverläufe sämtlicher gemessener Grundwassermessstellen. Was auffällig ist, ist dass sämtliche Messdaten ein extremes Minimum im Februar 2012 aufweisen. Links und rechts dieses Minimums steigen, beziehungsweise fallen die Werte unterschiedlich stark. Es ist ebenfalls ersichtlich dass die Grundwassertemperaturen unterschiedliche Schwankungen aufweisen, jedoch ist ein guter genereller Trend ohne starke Abweichungen erkennbar. In dieser Abbildung sticht wiederum der Pegel BL 8 an der Friedhofsterrassenkante heraus. Wie bereits erwähnt sind am diesem Pegel sowohl die maximalen gemessenen Temperaturen und die beinahe minimalen Temperaturen im Untersuchungszeitraum gemessen worden. Dieser Pegel ist aufgrund des geringen Abstichmaßes, am stärksten Temperaturbeeinflusst (Sommer/Winter). Auch die anderen bereits beschriebenen Phänomene können in dieser Abbildung erkannt werden.

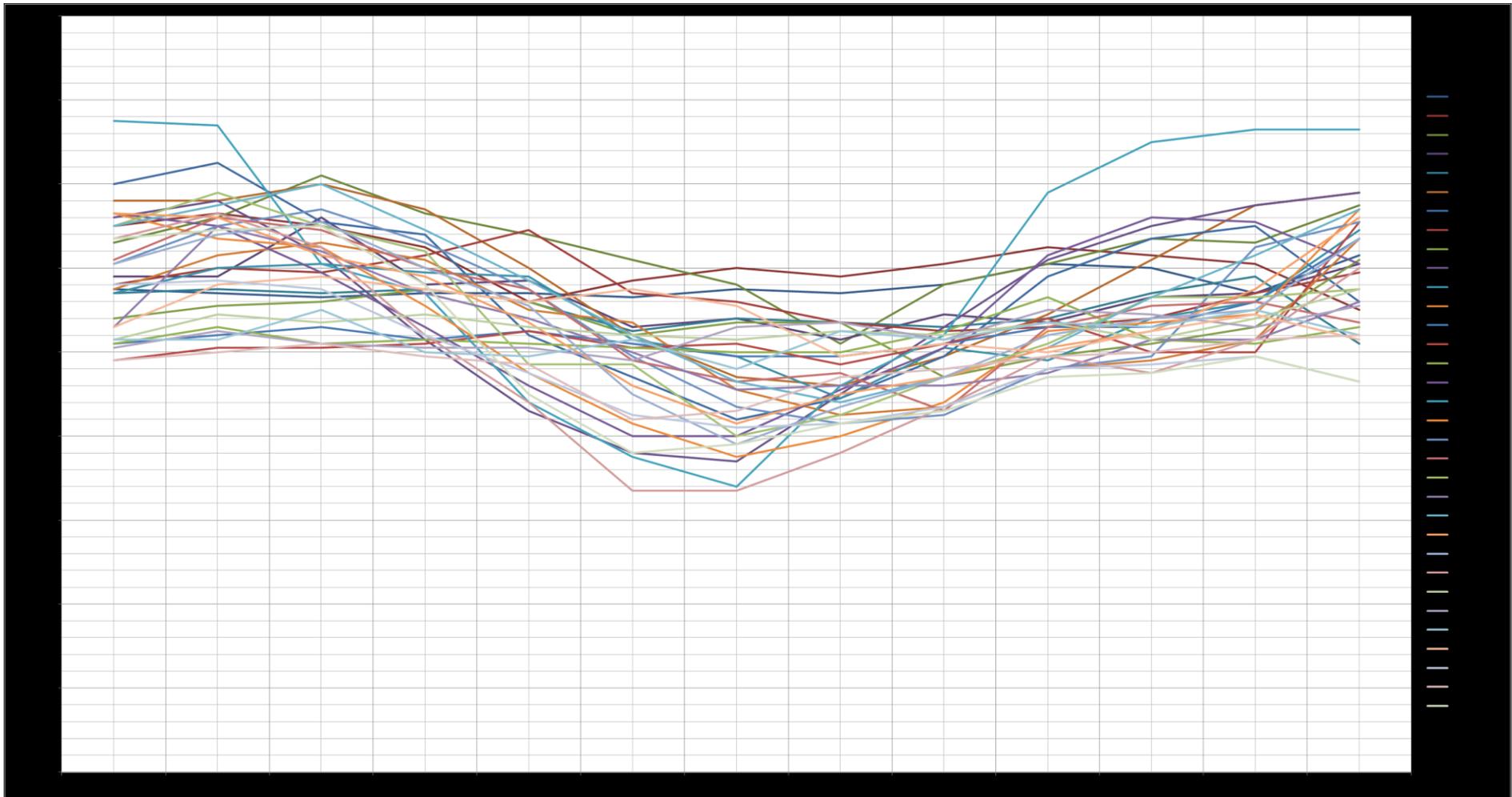


Abb. 43: Temperaturverläufe aller Grundwassermesspegel im Untersuchungszeitraum.

## Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrischen Leitfähigkeiten im Untersuchungsgebiet zeigen sehr heterogene Werte (Abb. 44C). Die Werte schwanken zwischen  $< 200$  und  $> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Diese Heterogenität ist auf den sehr unterschiedlichen Landschaftsraum im Untersuchungsgebiet zurückzuführen. Einerseits befinden sich die Grundwassermessstellen im oder um das Leopoldskroner Moor, andererseits sind sie von anderen anthropogenen Einflüssen wie Landwirtschaft und Auftausalz (ca. 98% Natriumchlorid plus geringe Anteile an Anhydrit, Magnesiumsulfat, Ton, Calciumchlorid, Magnesiumchlorid, Kaliumchlorid und Kainit) im Winter beeinflusst. Zudem befindet sich das Flughafengelände im Untersuchungsgebiet.

Es ist nicht möglich die Leitfähigkeiten, ähnlich wie in den vorherigen Kapitel, in Bereiche zu unterteilen (Abb. 44 A,B,C).

Grundwasser mit niedriger Leitfähigkeit strömt aus Richtung Untersberg nach Norden (Abb. 45). Die Kältefahnen des Grundwassers korrelieren hier mit Bereichen geringerer Leitfähigkeit.

Im weiteren Verlauf Richtung Norden werden die Leitfähigkeiten höher. Im Bereich des Flughafens und südlich davon steigern sich die Messwerte hin zu Extremwerten.

Im Bereich Zusammenfluss Rosittenbach und Almhauptkanal (Pegel 88, Pegel 86) sind ebenfalls sehr hohe Leitfähigkeiten von teilweise über  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  zu beobachten. Erstaunlicherweise verringert sich die Leitfähigkeit des Grundwassers hin zum Pegel 99 (Abb. 45) wieder um ca.  $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

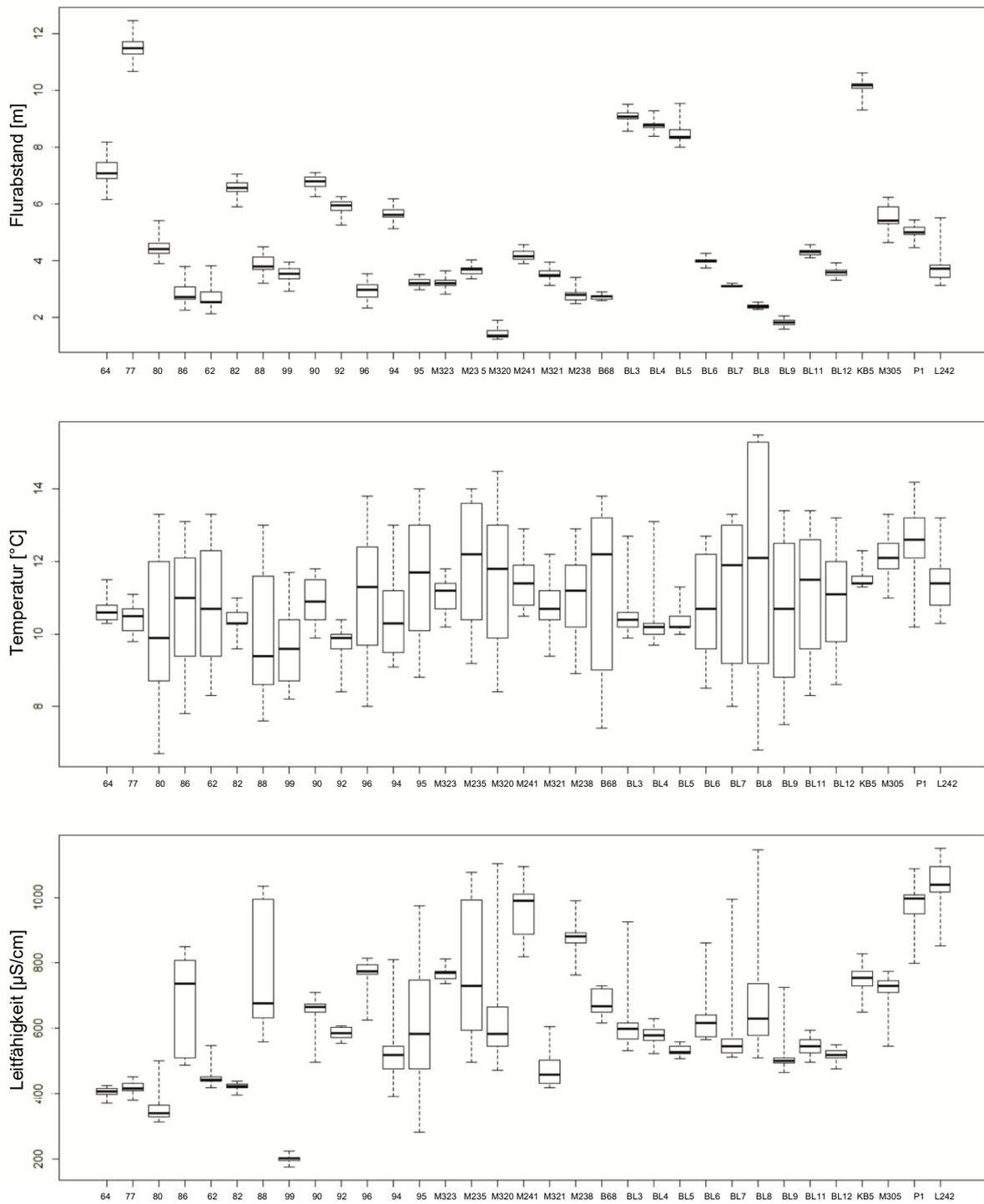


Abb. 44: A) Variation des Flurabstandes der Grundwassermessstellen B) Verteilung der Grundwassertemperatur im Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum C) Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit des Grundwassers im Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum.

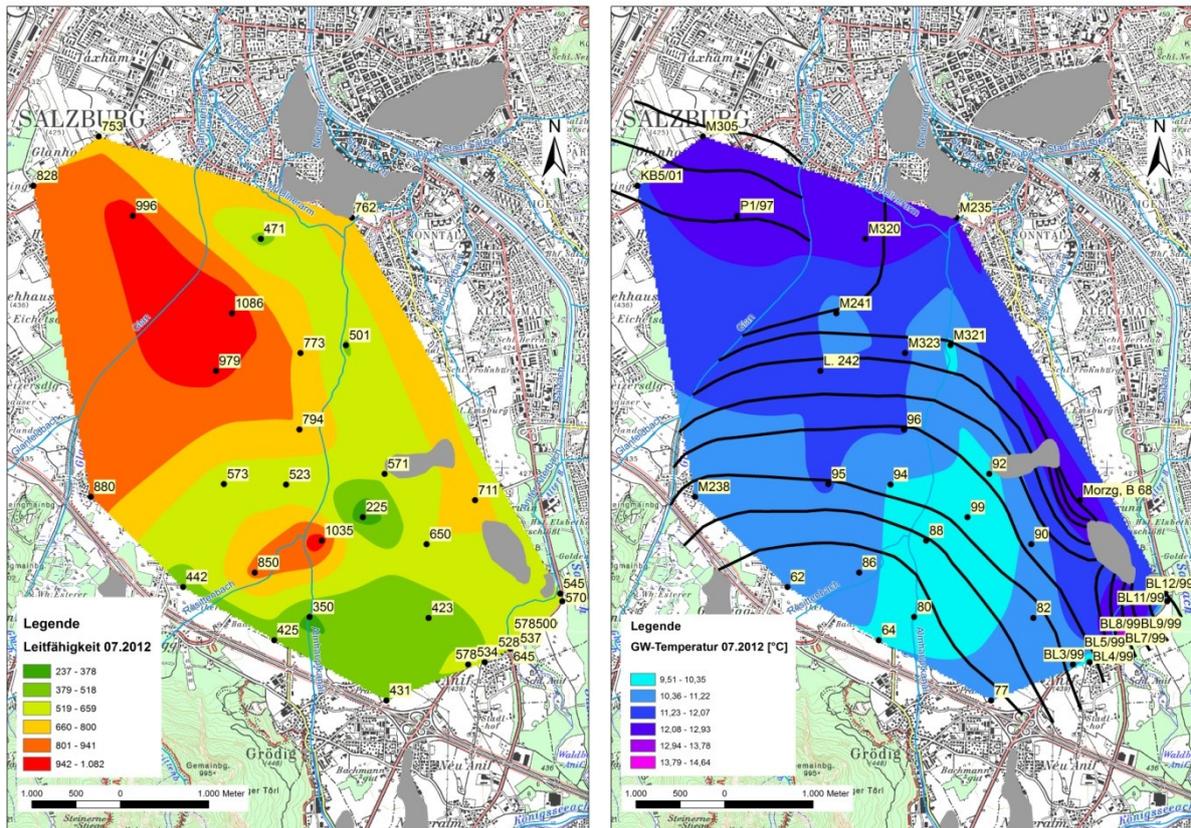


Abb. 45: Vergleich der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit des Grundwassers mit der Grundwassertemperatur im Juli 2012 (ArcGIS Spatial Analyst, Natural Neighbor).

Abb. 46 stellt Leitfähigkeitswerte ausgewählter Grundwassermessstellen (siehe Abb. 30) gegenüber. Wie hier ersichtlich ist, zeigen die Leitfähigkeiten kein so einheitliches Bild wie die Temperaturen des Grundwassers (Abb. 41). Dies ist einerseits auf den, wie bereits erwähnt, heterogenen Untersuchungsgebiet zurückzuführen und andererseits auf die größere Variabilität der Leitfähigkeitswerte verursacht durch anthropogene Einflüsse.

Die Bergnahen Grundwasserspiegel 62 und 82 schwanken kaum und weisen niedrige Leitfähigkeiten auf. Geringe Schwankungen weist auch der am Rand des Leopoldskroner Moor liegende Pegel M323 auf, jedoch mit fast doppelt so hohen Werten. Ähnlich verhält es sich mit dem auf dem Flughafengelände befindlichen Pegel P1/97, nur dass hier noch höhere Werte auftreten. Der im Norden gelegenen Pegel M235 weist am Ende des Jahres 2011 sehr hohe Werte auf. Diese Werte sinken dann relativ stark ab und erreichen im Jahr 2012 nicht mehr diese Werte. Es konnte beobachtet werden, dass in unmittelbarer Nähe der Grundwassermessstelle Ende Juli und Anfang August eine große Baugrube für einen Wohnblock ausgehoben

wurde. Hierbei wurden vermutlich, „unabsichtlich“ Schadstoffe in den Grundwasserleiter eingebracht. Der bereits vorher erwähnte, im Zentralen Bereich gelegenen Messpegel L. 242 weist sehr hohe Werte auf. Die niedrigsten Werte dieses Pegels sind in der Niederschlagsfreien Zeit, was wiederum den Schluss nahe, dass der Pegel durch starken Sickerwassereintrag beeinflusst ist.

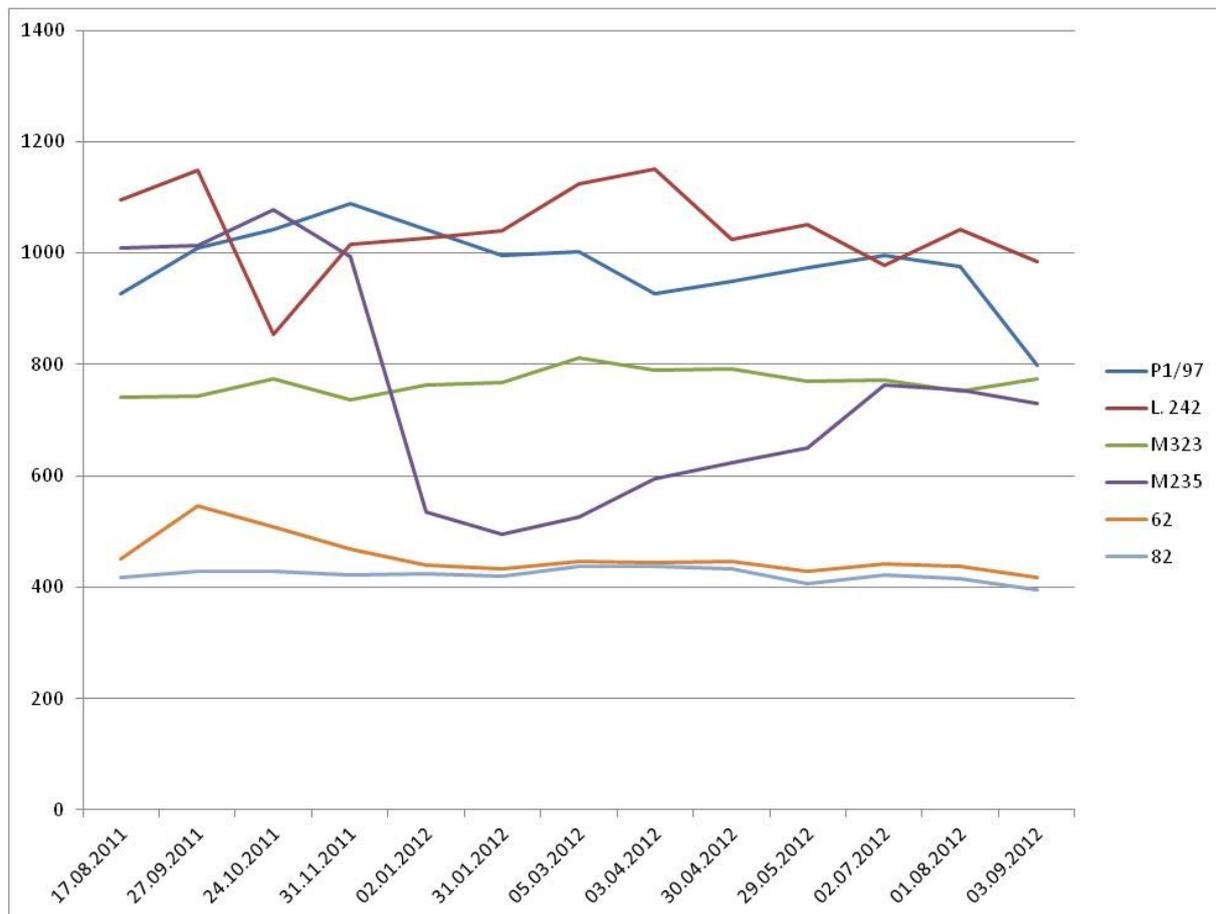


Abb. 46: Verteilung der Leitfähigkeiten ausgewählter Grundwassermessstellen (siehe Abb. 30) im Untersuchungszeitraum.

### Stabile Isotope

Ziel dieser Untersuchungen ist es die Einzugsgebietsgröße des Grundwassers überschlagsmäßig zu charakterisieren. Fragestellungen sind, ob das Grundwasser nur einen niederschlagsinfiltrierten Teil besitzt, oder ob unterirdische Zuflüsse aus dem Süden (Untersberg) bestehen und ob in Richtung Norden dieser Zufluss, falls vorhanden, abnimmt.

Der Höheneffekt, welcher die Isotopenfraktionierung beeinflusst, ist ein zweckmäßiges Mittel zur Charakterisierung von Einzugsgebieten mit ausgeprägter

Topografie. Durch die Höhenbeziehung lässt sich die mittlere Höhe des Einzugsgebietes des Grundwassers bestimmen. Dabei wird die durchschnittliche Isotopenzusammensetzung des Grundwassers mit der regionalen Höhenbeziehung der Isotope gegenübergestellt. Diese Höhenbeziehung wird aus der Isotopenzusammensetzung im Niederschlag oder in Quellen mit unterschiedlicher mittlerer Höhe des Einzugsgebietes abgeleitet. In den nördlichen Ostalpen werden nach Humer (1995) Gradienten von  $-0,18 \text{ ‰}$  pro 100 Höhenmeter angenommen.

Durch die Isotopenfraktionierung bei der Evaporation von Niederschlagswasser vor der Infiltration in den Untergrund und bei erhöhten Temperaturen im Grundwasserleiter durch Isotopenaustausch zwischen Wasser und Gestein, kann der Höheneffekt überlagert werden.

Zu diesem Zweck wurden in im Untersuchungsgebiet Grundwasserproben entnommen (Abb. 47) und auf ihren  $\delta^{18}\text{O}$  Wert untersucht. Die Proben wurden am 15.09.2011 und 16.09.2011 genommen. In dieser Abbildung ist zu sehen dass im unterbergnahen Süden die Isotopen die größte Negativität von  $-10,75$  aufweisen. Dem Grundwasserstrom in Richtung Norden folgend werden diese Werte in ihrer Negativität kleiner. Im Zentralen Teil des Leopoldskroner Moores weisen sie Werte von  $-10,03 \delta^{18}\text{O}$  auf.

In Abb. 48 sind die  $\delta^{18}\text{O}$  Isotopendaten für den Zeitraum April bis Dezember 2011 für die Niederschlagsmessstation Salzburg zu sehen. Die Niederschläge werden hierbei gesammelt und in ca. einmonatigen Intervallen kollektiv untersucht. Diese Daten weisen eine sehr hohe Heterogenität auf.

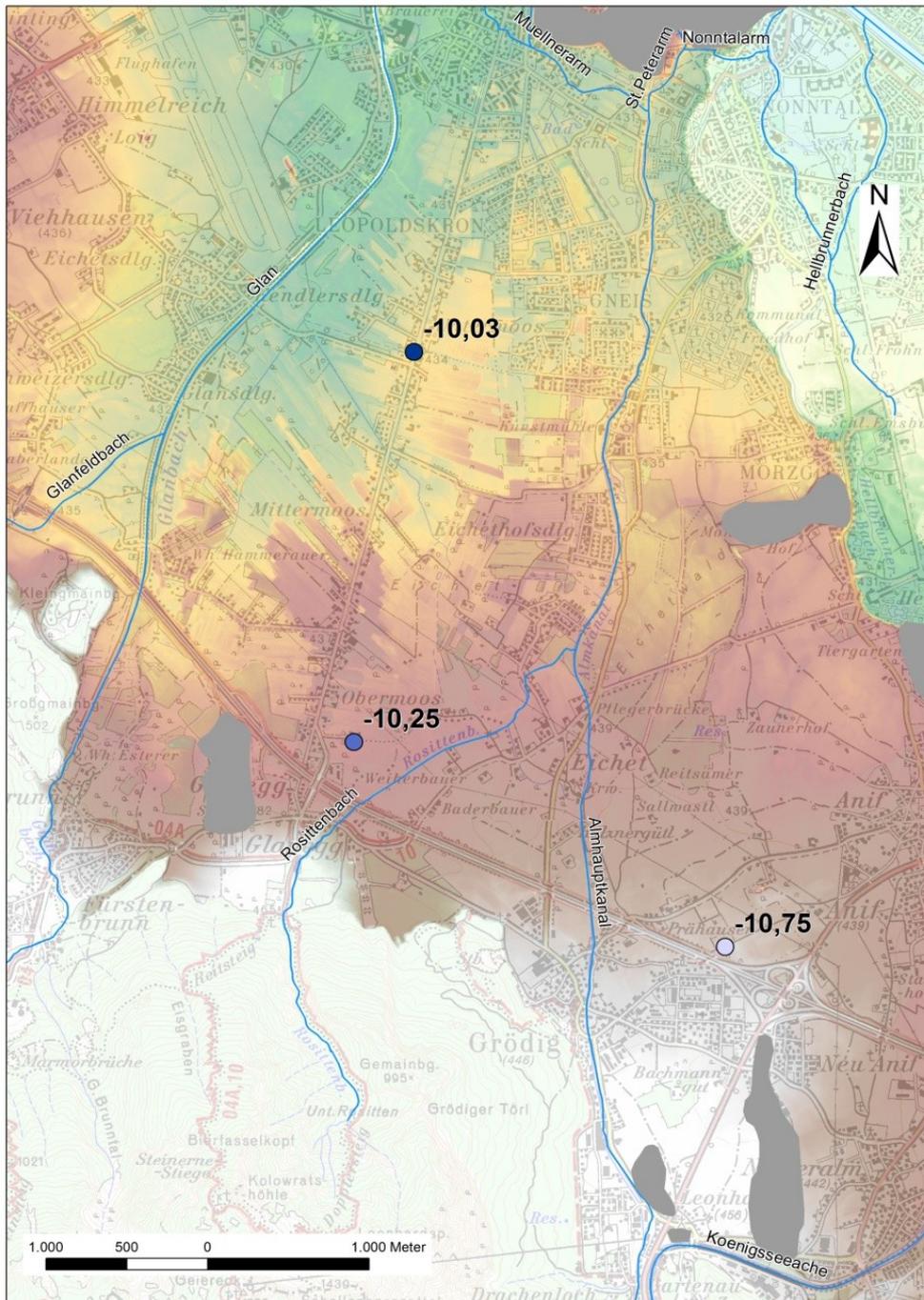


Abb. 47: Positionen und Messwerte der Isotopenuntersuchung auf  $\delta^{18}\text{O}$ .

<b>Apr 2011 (1)</b>	<b>Apr 2011 (2)</b>	<b>May 2011</b>	<b>Jun 2011</b>	<b>Aug 2011 (1)</b>	<b>Aug 2011 (2)</b>	<b>Sep 2011</b>	<b>Oct 2011</b>	<b>Dec 2011</b>
-11,67	-5,79	-8,39	-7,03	-10,05	-5,7	-10,76	-10,21	-11,83

Abb. 48: Isotopendaten für den Parameter I114  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ VSMOW) der Messstation IN50000039 Salzburg für den Zeitraum April 2011 bis Dezember 2011 (Quelle: Umweltbundesamt; Wasserinformationssystem Austria [WISA]).

Basierend auf den Daten von Humer (1995) weisen die Grundwässer im nördlichen Messpunkt ein um 400 Meter höheres Einzugsgebiet auf. Anders ausgedrückt wird das Grundwasser im nördlichen Gebiet mit so viel isotopisch leichteren Niederschlag vermischt, dass es so scheint, als sei das Einzugsgebiet topographisch höher. Dieser Umstand legt nahe, dass dem Niederschlag für die Grundwasserneubildung eine sehr große Rolle beigemessen werden kann.

Aufgrund der Tatsache, dass nur an einem Messtag drei Isotopenproben genommen wurden, konnten die absolute topographische Einzugsgebietshöhe und das Verhältnis von Niederschlag am Untersberg und Niederschlag im Becken nicht bestimmt werden. Zu diesem Zwecke wäre es nötig ein Messprogramm zu schaffen, das flächenhaft und über das ganze Jahr, sowohl den Niederschlag als auch das Grundwasser hinsichtlich ihrer Isotopenbeschaffenheit misst.

### Hydrochemie

Die Hydrochemie der Grundwasserproben weisen alle ähnliche Werte auf. Die Wässer sind im Piper Diagramm (Abb. 49) im Bereich 1 angesiedelt (Erdalkalisch – Karbonatische Wässer. Die meisten Wässer zeigen einen Gehalt von Magnesium zwischen 20 und 40 % und sind in den Untertyp, der erdalkalisch – karbonatischen Wässer, einzuordnen. Eine Probe (M323) zeigt einen deutlich erhöhten Anteil an Sulfat und einen etwas geringeren Anteil an  $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ . Eine weitere Probe (62) zeigt einen im Verhältnis etwas höheren Chloranteil.

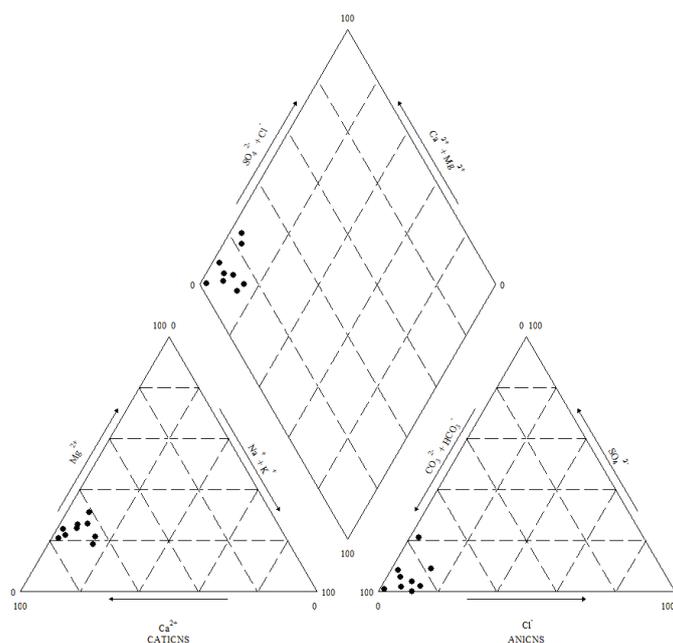


Abb. 49: Piperdiagramm mit den Ergebnissen der Grundwasserproben.

Die Gesamtmineralisierung ist wie auch schon aufgrund der differenzierten Leitfähigkeit zu erwarten sehr variabel. Abb. 50 zeigt gegenübergestellt zur elektrischen Leitfähigkeit die Gehalte von Calcium (Abb. 50A), Magnesium (Abb. 50B), Natrium (Abb. 50C), Kalium (Abb. 50D) und an Hydrogenkarbonat (Abb. 50E).

Wie in Abb. 50 ersichtlich ist steigt die elektrische Leitfähigkeit mit zunehmender Konzentration an Kalzium an. Ähnlich wie mit Kalzium verhält es sich auch mit der Magnesium- und der Hydrogenkarbonatkonzentration. Die Konzentrationen an Kalium und Natrium haben nur, wenn überhaupt, einen kleinen Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit im Untersuchungsgebiet.

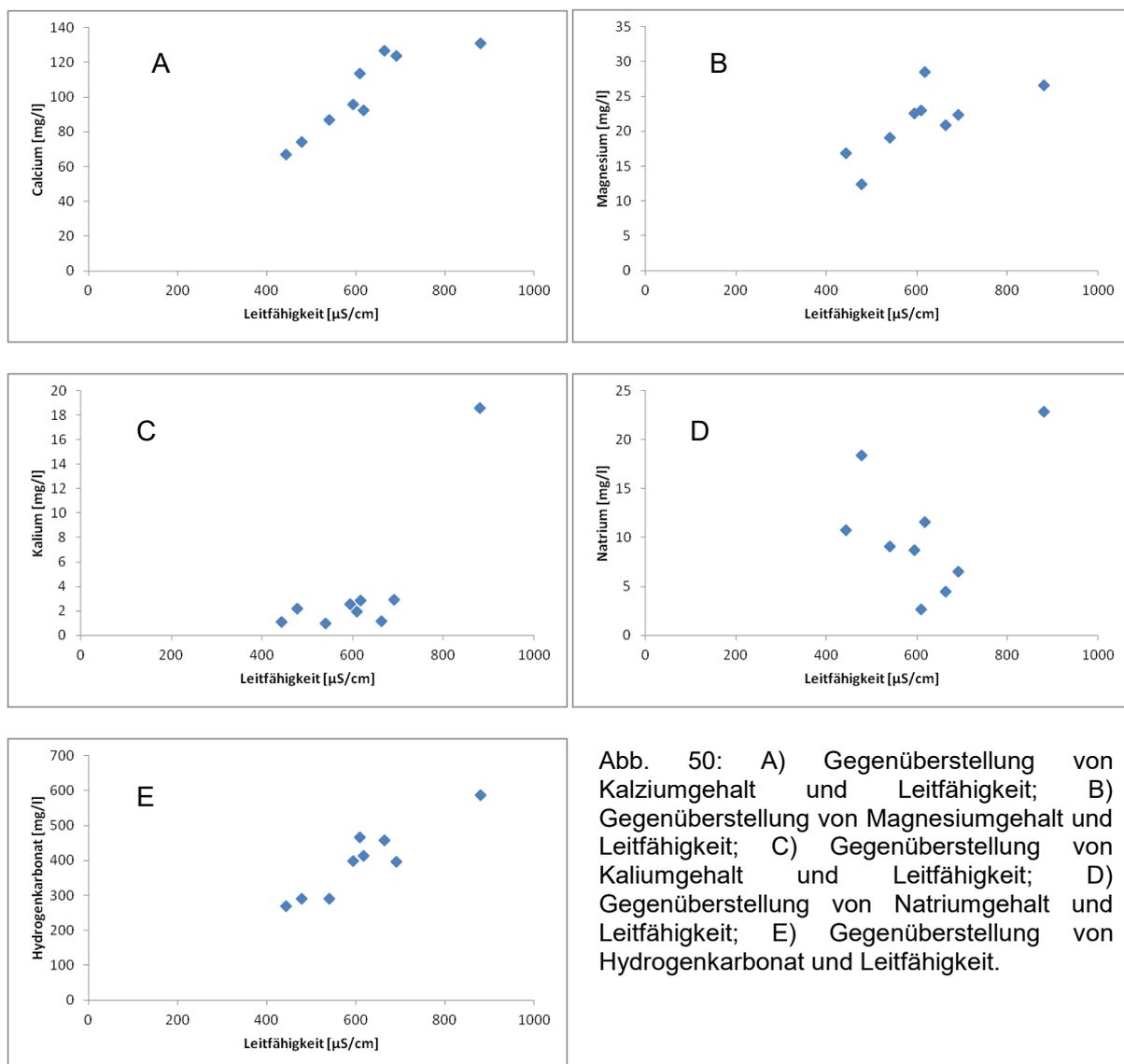


Abb. 50: A) Gegenüberstellung von Kalziumgehalt und Leitfähigkeit; B) Gegenüberstellung von Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit; C) Gegenüberstellung von Kaliumgehalt und Leitfähigkeit; D) Gegenüberstellung von Natriumgehalt und Leitfähigkeit; E) Gegenüberstellung von Hydrogenkarbonat und Leitfähigkeit.

Deutlich zeigt sich, dass der pH-Wert mit zunehmender Leitfähigkeit abnimmt (Abb. 51).

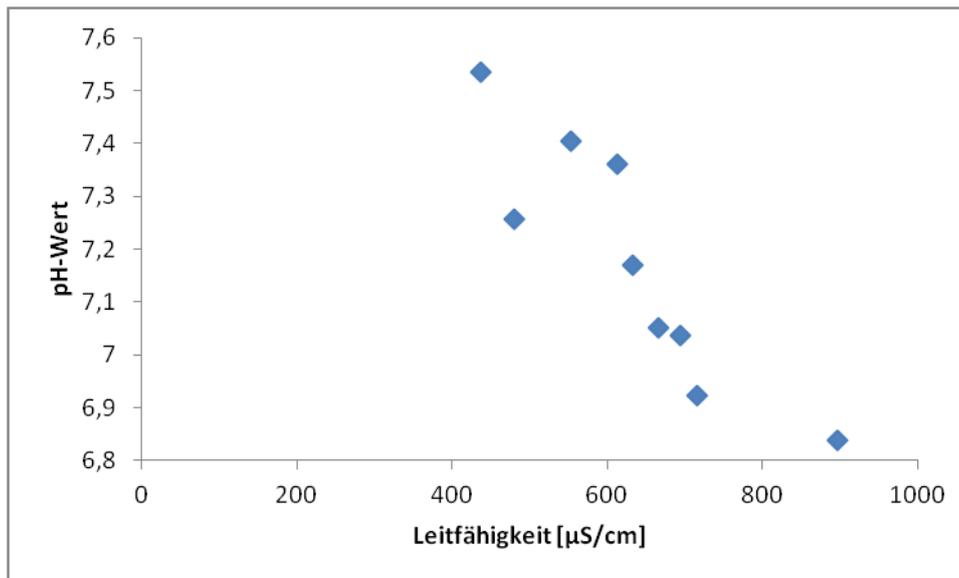


Abb. 51: Gegenüberstellung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit.

In Anhang 2 ist die gesamte beprobte Geochemie der Grundwasserstellen enthalten.

Die hohen Werte von Natrium und Chlorid können nur von der Oberfläche stammen. Es wird als Streusalz auf die Straße aufgetragen und gelangt mithilfe von schnell versickernden Wässern in das Grundwasser. Die Ammonium, Nitrat und Nitritwerte sind teilweise unter den Nachweisgrenzen der untersuchten Methoden. In zwei Bereichen außerhalb des Leopoldkroner Moores zeigen erhöhte Werte an Nitrat. Erneut werden hier, durch starken Sickerwassereintrag, Emissionen aus der Landwirtschaft und von Siedlungen eingetragen und verursachen diese hohen Werte.

Bis auf die Messstelle L242 weisen die Kaliumgehalte Werte zwischen 1 und 3 mg/l auf. Der Pegel L242 weist Kaliumgehalte von 18,6 mg/l auf.

In Abb. 52 und Abb. 53 sind der TOC Gehalt und die Gesamthärte der beprobten Grundwassermessstellen abgebildet. Die Analyse der Gesamthärte zeigt ebenfalls wie die TOC Gehalte, Werte die unterhalb des Leopoldkroner Moores am höchsten sind und in der Umgebung niedrigere Werte aufweisen.

Die Gesamthärte liegt zwischen 13,0 und 24,5 °dH. Auffällig ist, dass im südlichsten Pegel die Gesamthärte gering ist, wo doch ein starker Einfluss des Untersberges zu erwarten wäre. Dies ist auf die Infiltration mit Niederschlägen niedrigerer Härte zurückzuführen.

Der TOC Gehalt ist, wie zu erwarten, stark erhöht im Bereich des Leopoldskroner Moores. In den Bereichen außerhalb (im Süden, Südosten und Norden) zeigt der TOC Gehalt normale Werte.

Der gelöste Sauerstoff in den Proben der Messpunkte im Leopoldskroner Moor ist sehr gering, was auf Reduktionsvorgänge schließen lässt. Außerhalb des Moors nimmt der Sauerstoffgehalt zu.

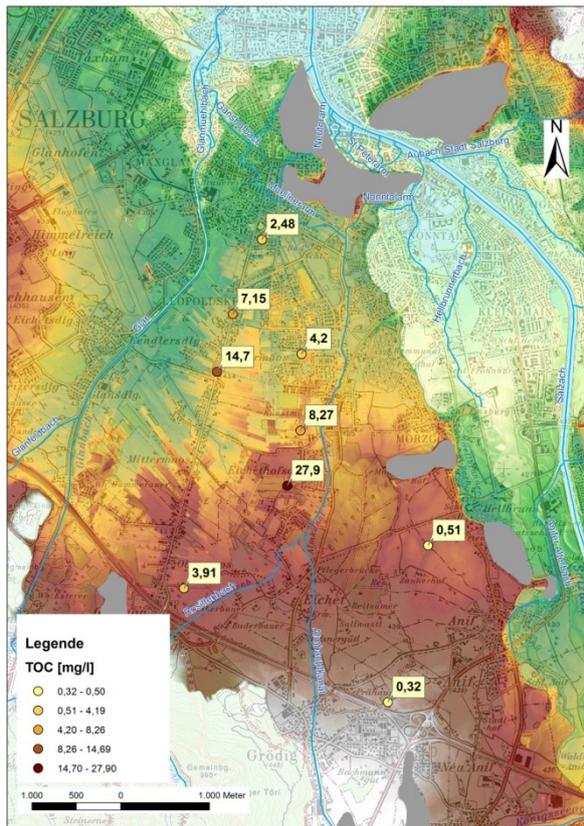


Abb. 52: TOC Gehalt der Proben des Grundwassers.

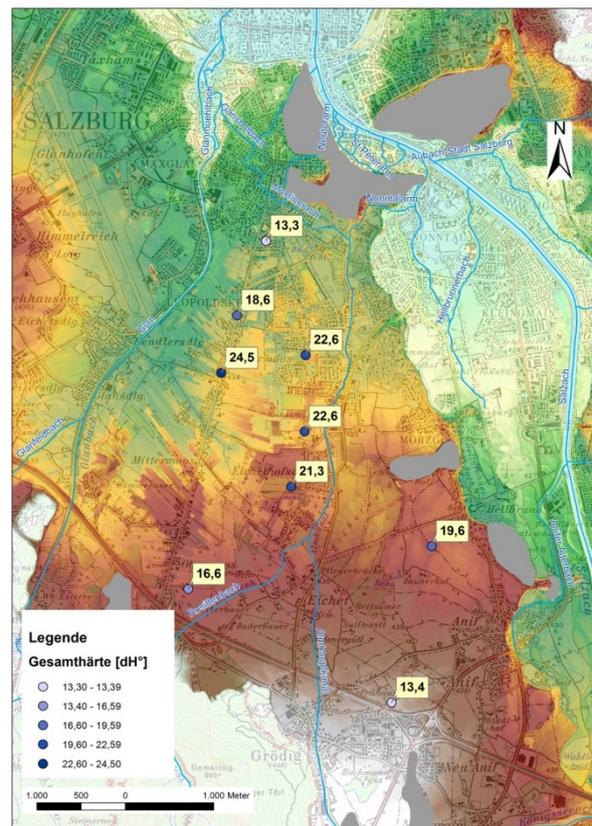


Abb. 53: Gesamthärte der Proben des Grundwassers.

## 4.1.2 Interpretation

### Schwankungsverhalten

Die Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet lassen sich in 6 Gebiete aufteilen, in denen die Messstellen unterschiedliche Schwankungen aufweisen. Die Grundwasserschwankungen im südlichen Gebiet sind weit größer als im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Grundwassermächtigkeit im südlichen Rand ihre größte Mächtigkeit aufweist und

somit anfälliger ist für extreme Schwankungen (Abb. 16). Die drei Grundwassermessstellen in der Umgebung des Flughafens stellen einen eigenen Bereich dar, was auch auf den Umstand zurückzuführen ist, dass sie durch die Glan als Vorfluter für die südöstlichen Grundwassermessstellen, von ihnen getrennt sind.

Einen besonderen Bereich stellt hier die Grundwassermessstelle L242 dar. Diese Messstelle weist, im Gegensatz zu seinen Nachbar-Pegeln, sehr hohe Schwankungen auf, wobei jedoch ein Bereich mit einem extremen Minimum des Pegelstandes heraussticht (Abb.31). Die anderen Grundwasserpegel deuten lediglich auf einen Bereich mit niedrigeren Pegelständen hin, was sich auch mit dem niedrigen Niederschlag deckt. Es handelt sich bei diesem extremen Minimum des Pegel L242 um eine Überlagerung von zwei Effekten: 1) Geringer Niederschlag 2) Grundwasserentnahme. In welcher Form diese Grundwasserentnahme stattgefunden hat konnte nicht geklärt werden.

Ein besonderes Augenmerk ist auf das Verhalten der Glan zu richten. Die Glan hat den Großteil ihres Einzugsgebietes am Untersberg und bildet zudem den Vorfluter für die Fürstenbrunner Quelle. Daher kann angenommen werden, dass das Verhalten der Glan das Verhalten der Karstquellen widerspiegelt. Bisher wurde angenommen, dass unterirdische Karstwasserzutritte ebenfalls das Grundwasser im Becken beeinflussen. Wenn man jedoch die Grundwasserhöchststände betrachtet, so fällt auf, dass bei den Pegelhöchstständen der Glan die Maxima der Grundwassermessstellen, selbst im Untersberg nahen Süden erst mit einiger Verzögerung auftreten. Im Gegensatz dazu folgen die Niederschläge im Becken fast unmittelbar den Pegelständen der Grundwassermessstellen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass für die Grundwasserneubildung und die Grundwasserschwankungen rein der Niederschlag im Becken und an den Untersbergabhängen ausschlaggebend ist.

Der Transport der Schadstoffe vom Ort ihrer Freisetzung an der Geländeoberfläche bis zum Grundwasser ist an die Versickerung von Niederschlagswasser oder an die Infiltration von Flusswasser gebunden. Deshalb sind diejenigen Grundwasservorkommen am besten gegen Schadstoffeintrag geschützt, welche von mächtigen Schichten aus gering durchlässigem Material überlagert werden. Zusammen mit dem ungesättigten Bereich des Grundwasserleiters wirken sie als natürlicher Schutz der Grundwasservorkommen. Da die Grundwasserneubildung

durch Niederschlag erfolgt, lässt sich daraus schließen, dass es nur eine gering schützende Sedimentüberdeckung gibt und die Filterwirkung der Kiese und Sande gering ist. Der Schadstoffeintrag von der Oberfläche in den tieferen Grundwasserleiter findet somit ebenfalls ohne große Filterwirkung und relativ rasch statt.

### Fließrichtung

Das Grundwasser strömt vom Untersberg kommend tendenziell gegen Norden. Der Grundwasserstrom trennt sich, aufgrund einer Wasserscheide in seinem weiteren Verlauf. Ein Teil des Grundwassers strömt Richtung Nordosten über die Terrassenkanten der Friedhofsterrasse im Osten, wo es bei Höchstständen vorkommt, dass das Wasser frei ausfließt. Im weiteren Verlauf strömt das Grundwasser im nordöstlichen Gebiet in die Salzach. Der zweite Grundwasserstrom fließt weiter Richtung Norden und fließt südlich des Salzburger Stadtgebietes in die Glan.

Im Vergleich zum höchsten Grundwasserstand (Abb. 37), welcher sehr einheitlich fließt, zeigt der niedrigste Grundwasserstand (Abb. 36) im Untersuchungszeitraum sehr heterogene Isohypsen. Diese Tatsache ist damit begründet, dass bei dem geringsten Grundwasserstand das Wasser auf ein so tiefes Niveau zum liegen kommt, dass das Relief dieser Unterirdischen Wasserscheide die Grundwasserstände stärker beeinflusst.

Der bergnahe Pegel M235 ist vermutlich vom restlichen Grundwasser entkoppelt und eigenständig zu betrachten. Die Zunahme der Grundwasserhöhe des einzelnen bergnahen Grundwasserpegels kann nur damit erklärt werden, dass es hier zu Sickerwasserzutritten des Mönchsberg-Rainberg kommt.

### Grundwassertemperatur

Grundsätzlich lässt sich erkennen, dass kaltes Grundwasser aus Richtung des Untersberg kommend nach Norden hin, durch Niederschlagswässer verdünnt und erwärmt wird. Abschattungseffekte spielen nur im südlichsten Untersuchungsgebiet eine geringe Rolle.

Die Ähnlichkeit des Mittels der Wassertemperatur mit der mittleren Lufttemperatur zeigt, dass die Wassertemperatur im Wesentlichen von der mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche beeinflusst wird. Die gedämpfte Amplitude des Jahresganges

gegenüber der Lufttemperatur ist das Resultat des Flurabstandes. Der höhere Flurabstand führt auch zu einem tendenziell niederen Mittelwert bei den südlichen Messstellen. An Stellen wo der Grundwasserflurabstand geringer ist, wie zum Beispiel an Terrassenkanten, ist die Temperatur deutlich höher. Ebenfalls steigen die Temperaturen in Richtung Norden wo der Flurabstand abnimmt. Der geringe zeitliche Versatz des Temperaturmaximums ist das Resultat der langsam in den Boden vordringenden Wärme. Dies alles lässt wieder den Schluss zu, dass ähnlich wie für die Grundwasserneubildung und die Grundwasserschwankungen, ebenfalls für die Grundwassertemperatur der Niederschlag eine große Rolle spielt.

Die kühleren Temperaturen im südlichen Bereich weisen auf einen Wasserzutritt aus dem Trinkwasserfeld Glanegg hin.

### Leitfähigkeit

Ähnlich wie bei der Temperatur strömt reines Grundwasser mit niedrigerer Leitfähigkeit von Süden den Grundwassergleichen folgend in das Moor. Hier wird es mit Wasser höherer Leitfähigkeit unter dem Moor vermischt.

Schwankungen im Jahresgang können durch verschiedenste Prozesse erklärt werden. Der Niederschlag dürfte hochmineralisiertes Bodenwasser aus der ungesättigten Zone dem Grundwasser zuführen und somit zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit führen. Zudem erhöht die Düngung der Landwirtschaftlichen Flächen und ein erhöhter Sickerwassereintrag ebenfalls die Leitfähigkeit. Eine Zunahme der Leitfähigkeit im Winter geht vermutlich auf Streusalzeintrag zurück. Starke Variationen in der Leitfähigkeit sind somit ein Hinweis auf lokale Einflüsse und Prozesse der Grundwasserneubildung. Konstante Werte der Leitfähigkeit bei Grundwässern ist üblicherweise ein Hinweis auf einen gut durchmischten Grundwasserkörper und wird mit erhöhten Verweilzeiten interpretiert.

Es können hier auch einzelne „Leitfähigkeitsinseln“ entstehen (Abb. 45). Ein solcher Bereich befindet sich im Bereich Zusammenfluss Rossittenbach und Almhauptkanal. Bei den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der Pegel 88 einen Leitfähigkeitssprung von 650 auf 1019  $\mu\text{S}/\text{cm}$  von Mai 2012 bis Juni 2012 aufweist. Diese hohen Leitfähigkeiten sind dann bis zum Ende des Untersuchungsprogramms im September 2012 verfolgbar. Zudem sind die Werte im ca. 500 m nordöstlichen Pegel mit Werten um die 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sehr gering. Dies legt den Schluss nahe, dass

es sich hier in unmittelbarer Nähe der Grundwassermessstellen um eine punktuelle Erhöhung der Leitfähigkeit mit geringer Ausbreitung handelt. Ursachen könnten ein kleines Leck in einem Abwasserkanal oder das Einleiten von Wasser mit erhöhter Leitfähigkeit sein. Jedenfalls muss die Wassermenge sehr gering und den Messstellen sehr nahe sein, sonst könnte dieses Wasser mit hoher Leitfähigkeit bis zum nächstgelegenen Pegel nicht so rasch verschwinden. Ein zweiter Bereich mit sehr hohen Leitfähigkeiten befindet sich im Bereich des Salzburger Flughafens.

### Stabile Isotope

Die spärliche Datenlage der Isotopenanalyse lässt nur begrenzte Aussagen zu. Da Bichler & Reischer (2013) ähnliche Untersuchungen mit einer erweiterten Datenzahl unternommen haben, hat die Isotopenanalyse dennoch aussagenden Charakter.

Die  $\delta^{18}\text{O}$  Werte nehmen von Süden nach Norden in ihrer Negativität von -10,75 ‰ nach -10,03 ‰ ab. Laut dem Gradienten von Humer (1995), 0,18 ‰ pro 100 Höhenmeter, hat also das Grundwasser im südlichen Gebiet ein um 400 m höheres Einzugsgebiet als im nördlichen Teil. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das südliche Grundwasser sehr stark unter dem Einfluss des Untersberges steht, während das Grundwasser im nördlichen Bereich einen erheblichen Anteil an Becken-Niederschlag aufweist.

Diese Daten decken sich mit den Untersuchungen von Bichler & Reischer (2013). Aussagen über die Mischungsverhältnisse von Grundwasser und Niederschlag und dem Einfluss eines möglichen unterirdischen Grundwasserzuflusses aus dem Untersbergkarst können nicht getroffen werden, jedoch wird ein unterirdischer Karstwasserzutritt ausgeschlossen.

### Hydrochemie

Der Hauptchemismus spiegelt im Wesentlichen die Geologie des Einzugsgebietes wider. Das Grundwasser ist von karbonatisch-alkalischen Typ mit teilweise erhöhten Anteilen an Sulfat und Hydrogenkarbonat. Dies ist das Ergebnis der Großteil gemischt karbonatischen Beckenfüllung.

Die teilweise hohen NaCl Werte untermauern den Niederschlagseinfluss.

Die Zunahme einzelner Wasserinhaltsstoffe mit Zunahme der Leitfähigkeit erklärt sich mit Anreicherung aufgrund einer höheren Verweildauer. So ist es möglich auch

bei langsamer Reaktionskinetik den Sättigungsgrad anzuheben. Allgemein führt eine Zunahme der Verweildauer zu einer höheren Mineralisation.

Da Eisen und Mangan teilweise, besonders unter dem Leopoldskroner Moor, erhöhte Werte aufweisen, ist das Grundwasser reduzierend.

Der Sauerstoffgehalt in dem Bereich des Leopoldskroner Moor ist sehr gering, was ebenfalls auf die reduzierenden Bedingungen in diesem Bereich zurückzuführen sind. Außerhalb dieses Bereiches, in den Pegeln 77 und 90, weisen die Sauerstoffgehalte höhere Werte auf. Dieser Bereich befindet sich bereits außerhalb des Leopoldskroner Moores und wird durch es nicht beeinflusst.

Der hohe Kaliumgehalt von 18,6 mg/l kann durch die Verunreinigung des Grundwassers durch die Infiltration verschmutzter Abwässer aus der Landwirtschaft erklärt werden. Der Schwellenwert von Kalium im Grundwasser liegt laut Bundesgesetzblatt bei 12 mg/l.

Der pH-Wert der Messstellen liegt im Bereich natürlicher Wässer in Österreich. Die Abnahme des pH-Werts mit zunehmender Leitfähigkeit liegt zum einen daran, dass der pH-Wert mit zunehmendem CO<sub>2</sub>-Partialdruck sinkt. Der Zusammenhang ist logarithmisch. Zum anderen erhöht ein niedriger pH-Wert die Löslichkeit von Calcit. Ist nun mehr Calcium gelöst, wird auch eine höhere Leitfähigkeit gemessen. Die Löslichkeit von Calcit kann daher auch als abhängig vom CO<sub>2</sub>-Partialdruck beschrieben werden.

Die hohe Härte des Grundwassers unterhalb des Leopoldskroner Moores geht auf das durchsickernde Niederschlagswasser zurück. Das eindringende Wasser wird dabei angesäuert und mit sauerstoffzehrenden Substanzen beladen. Gelangt dieses Wasser in den darunter liegenden Grundwasserkörper, so wird das nunmehr aggressive Wasser aus den Sanden und Kiesen, die zum Großteil aus Karbonaten aufgebaut sind, Härtebildner herauslösen und sich aufhärten.

Der TOC Gehalt des Grundwassers ist wie nicht anders zu erwarten unterhalb des Leopoldskroner Moores am höchsten. Der Eintrag in das Grundwasser erfolgt in gelöster Form aus dem Leopoldskroner Moor.

## 4.2 Fließgewässer

### 4.2.1 Resultate und Interpretation

In Abb. 54A sind die Temperaturen der Entwässerungskanäle des Leopoldskroner Moores, der Glan als Vorfluter und des Glanfeldbaches abgebildet. Im südlichsten Bereich weist die Glan ihre geringste Temperatur mit ca. 10°C auf. Im Bereich 1) (Erster beprobter Entwässerungskanal des Leopoldskroner Moores) wird der Glan gering wärmeres Wasser beigemischt und leicht erwärmt. Dieses gering höhere Wasser stammt aus einem Entwässerungskanal des oberflächenbeeinflussten oberen Grundwasserspiegels des Leopoldskroner Moores. Die Glan wird im weiteren Verlauf Richtung Norden durch das wärmere Wasser des Glanfeldbaches vermischt und die Wassertemperatur erhöht. Das Wasser des Glanfeldbaches weist geringere Strömungsgeschwindigkeit und einen sehr niedrigen Wasserstand auf, wodurch es begünstigter ist für raschere Erwärmung. Im weiteren Verlauf kühlt die Glan wieder um einige Grad ab. Diese Tatsache legt nahe, dass es in diesem Bereich zu einer Interaktion Glan – Grundwasser kommt. Der zweite Entwässerungskanal zeigt niedrigere Temperaturen im Südosten, die sich Richtung Glan jedoch um ca. 5°C erhöhen. Diese niedrigen Temperaturen könnten ein Hinweis sein auf eine hydraulische Interaktion zwischen moorbezogenen oberen Grundwasser und dem unter dem Leopoldskroner Moor fließenden Grundwasserhorizont. Die gleichen Überlegungen spielen auch bei der Betrachtung des dritten Entwässerungskanals mit. Bei dem Zusammenfluss beider letztgenannter Entwässerungskanäle in die Glan lässt sich wieder eine durch Mischungsvorgänge erhöhte Temperatur nachweisen. Die Temperatur der Glan nimmt anschließend wieder ab, was wiederum auf eine Interaktion Fluss – Grundwasser schließen lässt. Der 4. Entwässerungskanal zeigt ähnlich, jedoch nicht so ausgeprägte Effekte, jedoch treffen die vorher genannten Überlegungen auch hier zu. Gleiches gilt bei dem Zusammenfluss zwischen dem Entwässerungskanal und der Glan.

Abb. 54B zeigt die Leitfähigkeiten der größeren Entwässerungskanäle des Leopoldskroner Moores, des Glanfeldbaches und der Glan. Im ersten Entwässerungskanal treten sehr hohe Leitfähigkeiten auf, die anschließend mit dem niedriger Leitfähigen Wasser der Glan vermischt werden. Wasser mit niedriger Leitfähigkeit, mit einem Minimum von ca. 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , strömt aus dem Süden in

Richtung Stadt Salzburg im Norden. Zuerst wird die Glan durch Wasser höherer Leitfähigkeit des Glanfeldbaches vermischt, was zu einem leichten Anstieg des Wassers der Glan führt. Mit zunehmendem Fortschreiten durch das Leopoldskroner Moor wird die Glan durch Wasser sehr hoher Leitfähigkeit (max. 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) aus dem Moor vermischt. Entsprechend der Menge des Wassers und der Höhe der Leitfähigkeit zeigt die Glan in ihrem weiteren Verlauf in Richtung Norden eine Erhöhung Ihrer Leitfähigkeit. Im nördlichsten Beprobungspunkt weist die Glan eine Leitfähigkeit von 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf.

Ähnlich wie bei der Verteilung der Leitfähigkeiten ist in Abb. 54C der pH-Wert der Vorfluter und der Entwässerungskanäle des Leopoldskroner Moores abgebildet. Wasser mit hohem pH-Wert (max. 8,45) kommt in der Glan aus Richtung Süden vom Untersberg. In weiterer Folge wird es durch Wasser mit niedrigerem pH-Wert aus dem Leopoldskroner Moor vermischt. Dieses Oberflächenwasser des Moores zeigt ein Minimum des pH-Wertes von 6,99 auf. Interessant ist hier der Bereich 4), der anders als die vorherigen Entwässerungskanäle eine höhere Leitfähigkeit aufweist, was auf einen geringeren Oberflächen–Grundwasser Effekt hindeutet.

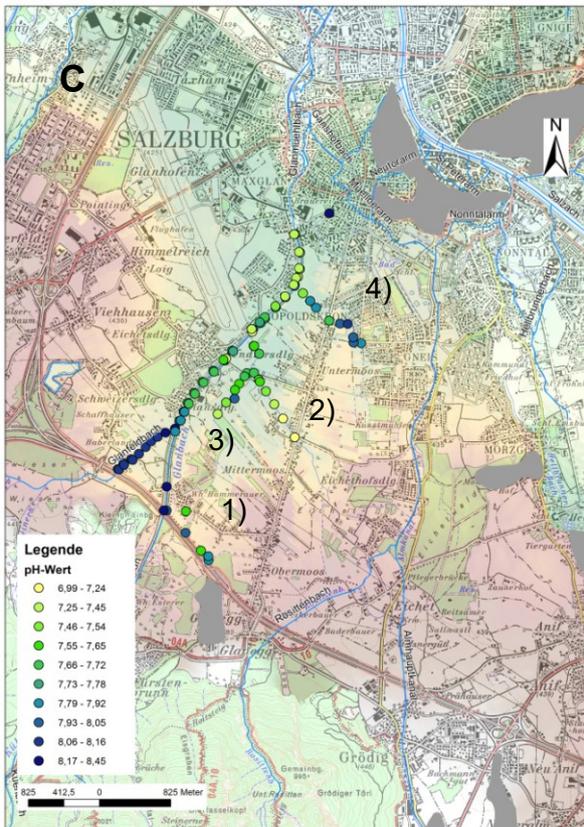
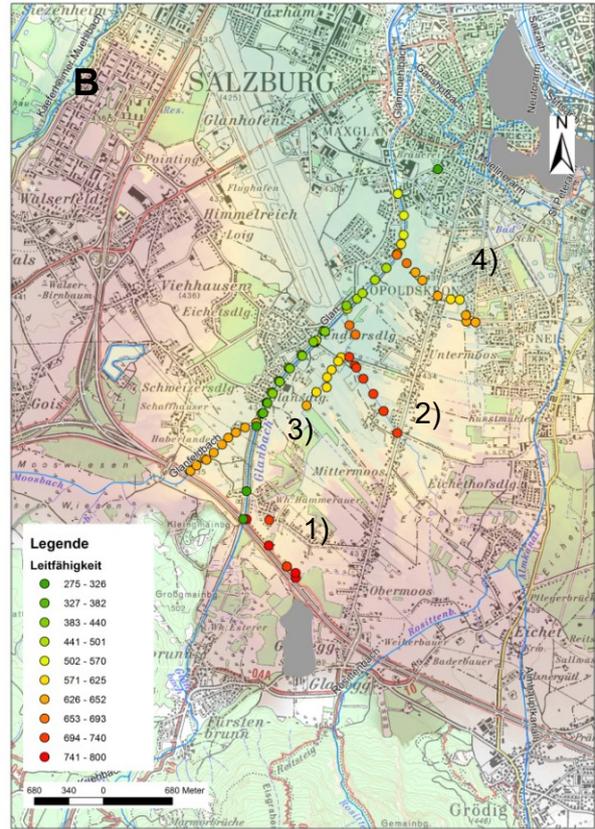
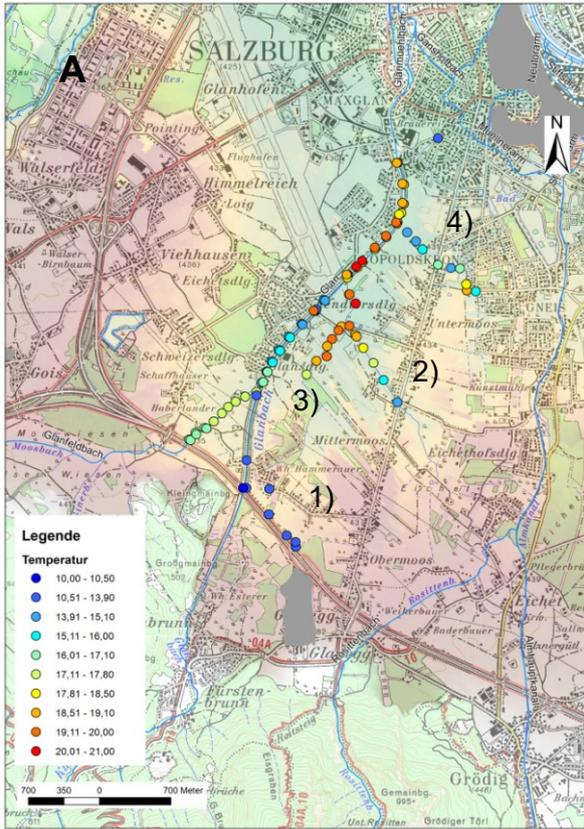


Abb. 54: A) Verteilung der Wassertemperaturen der Oberflächengewässer und Abflüsse vom Moor in den Vorfluter Glan am 22.08.2011; B) Verteilung der Leitfähigkeiten der Oberflächengewässer und Abflüsse vom Moor in den Vorfluter Glan am 22.08.2011; C) Verteilung des pH-Wertes der Oberflächengewässer und Abflüsse vom Moor in den Vorfluter Glan am 22.08.2011.

## 4.3 Sedimentanalyse

### 4.3.1 Resultate

In diesem Kapitel soll bewiesen werden, dass das Leopoldskroner Moor nicht durch die im Schatten von Salzach und Saalach geschütteten und verlandeten Sedimenten entstanden ist (Brandecker, 1974). Vielmehr ist anzunehmen dass die Königsseeache die Kiese sedimentiert hat. Donadl (2012) hat mit seinen geomorphologischen Untersuchungen gezeigt, dass die Richtung der Königsseeache von einem Bergsturz abgelenkt wurde (Abb. 12).

Aufgrund der spärlichen Aufschlusslage im Untersuchungsgebiet und der leider zum Probennahmezeitpunkt nicht vorherrschenden Bautätigkeit, im Sinne einer Baugrube, konnten nur an einer Stelle am Rande des Leopoldskroner Moores (Abb. 55, Abb. 56) Proben genommen werden.

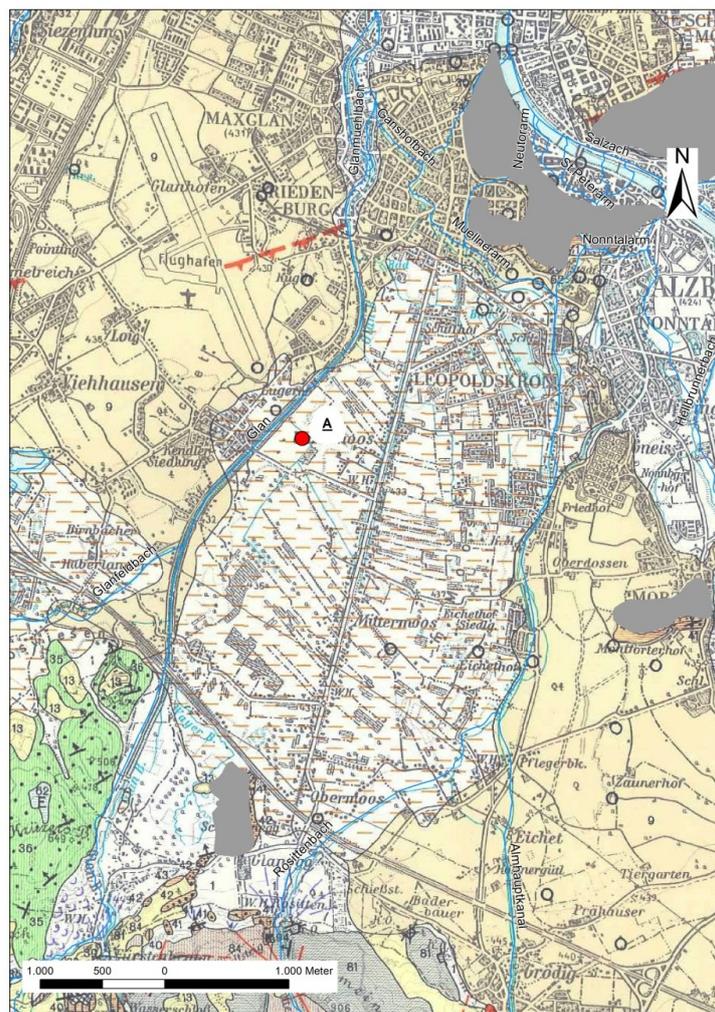


Abb. 55: Lage der Probennahmestelle (Punkt A) für die Herkunftsbestimmung.



Abb. 56: Aufschluss für die Probennahme.

Auf Grund der Tatsache dass dieser Probennahmeort vermutlich anthropogen verunreinigt ist, was Keramikreste und anderer abgelagerter Müll belegen, wurde manuell ein Schurfgraben mit ca. 1m tiefe hergestellt (Abb. 57).

Es wurden aus vier unterschiedlichen Horizonten des Schurfes Proben entnommen und auf ihren Gesteinsbestand untersucht. Die Proben wurden zuerst gereinigt und anschließend versucht nach ihrer geologischen Herkunft zu trennen. Es wurde auf die Anfertigung von Dünnschliffen verzichtet. Die makroskopische Bestimmung der einzelnen Komponenten ist schwierig, wenn teilweise sogar bei einigen Komponenten unmöglich, bezogen auf die Zuordnung zu ihren geologischen Formationen. Es war jedoch möglich ein genügend großes repräsentatives Probenvolumen zu erreichen um verlässliche Informationen gewinnen zu können.

Die Komponenten der Proben 1-4 zeigen viele Gemeinsamkeiten jedoch einige Unterschiede. Die Probe 4 stammt aus dem untersten Bereich des Schurfes und ist somit die stratigraphisch älteste. Über dieser folgen die Proben 3 und Probe 2 und als oberste die Probe 1. Probe 3 zeigt am Übergang zur Probe 4 eine Mischung aus Probe 1, Probe 2 und Probe 4. In allen Proben sind die Komponenten kantengerundet bis gerundet.

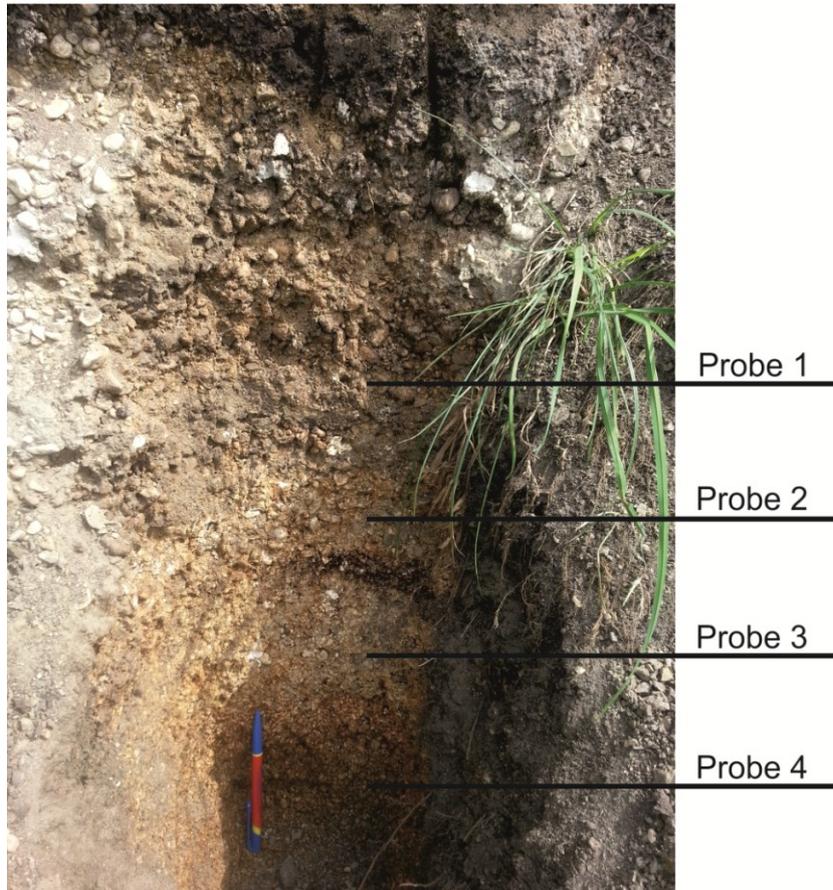


Abb. 57: Manueller Schurfgraben für die Entnahme der Sedimentproben.

### Beschreibung der Proben:

#### Probe 1:

Die Probe 1 zeichnet sich durch eine sehr grobe Korngröße aus. Die größten Komponenten (bis einige cm) sind oolithischer Dachsteinkalk (aus dem Nor und Rhät) und Plassenkalk. Weiter kommen dunkle und helle Radiolarite und Sandsteine vor.

#### Probe 2:

Die Probe 2 zeigt einen fast identischen Gesteinsbestand wie die Probe 1. Die Korngröße ist etwas kleiner als die der Probe 1. Es befinden sich wieder Dolomite, Kalke, Radiolarite und Sandsteine in der Probe.

#### Probe 3:

Die Probe 3 zeichnet sich durch eine weitere Verringerung der Korngröße aus. Auffällig ist das starke Zurückgehen des Wettersteindolomits und das vollständige

fehlen des Plassenkalks. Es finden sich ebenfalls Radiolarite und andere kalkige Komponenten darin. Auch ein kleiner Kalzitkristall ist in der Probe gefunden worden.

#### Probe 4:

Die Korngröße der Komponenten der Probe 4 entspricht in etwa der der Probe 3. In der Probe befinden sich wieder ein geringer Anteil an Wettersteindolomit. Ebenfalls sind Sandsteine, Radiolarite und weitere kalkige Komponenten darin enthalten.

### **4.3.2 Interpretation**

Der Umstand dass der Wettersteindolomit ooidischer Natur ist, legt nahe dass sie aus dem Süden kommen. Vermutlich wurden Teile des Untersberg (Abb. 58) erodiert und anschließend abgelagert. Der rote Radiolarit kommt ebenfalls aus dem Süden. Den Plassenkalk gibt es im Süden nicht, dieser kommt nur am Untersberg vor. Weiter sind dunkle und helle Radiolarite, Hornsteinknollen in der Probe 4, welche vermutlich aus dem Rossfeld kommen. Der Plassenkalk in Probe 1 kommt vermutlich auch aus Konglomeraten der Rossfeldschichten und ist dadurch sehr gut gerundet.

Zuerst wurden die Rossfeldschichten und verschiedene andere Karbonate erodiert und transportiert. Durch das Rückschreiten des Gletschers in den Süden verlagerte sich das Einzugsgebiet der Königsseeache ebenfalls nach Süden. Dadurch kamen auch andere Schichten wie Gosau, norischer und rhätischer Dachsteinkalk zur Sedimentation.

In der Probe 4 kommt fast keine Trias vor und ist somit jünger. Die Trias fehlt hier fast völlig. Es ist viel Rossfeld und Oberalm und Gosau in ihr enthalten, mit der Herkunft vermutlich aus dem Rossfeld. In den Proben 1-3 kann die ganze Trias dokumentiert werden. Die Probe 3 ist eine Mischung zwischen 1 und 2 und 4.

Wahrscheinlich fehlen die Oberalmschichten, die Werfener Schichten sind älter und sind eher in der Probe 1 enthalten. In der Probe 1 kann die Trias fast ganz dokumentiert werden. Desto weiter nach unten es geht desto jünger wird das Sediment.

Das Alter der Ablagerung ist früher als Boreal (ca. 8700 v. Chr.) und später als die Ablagerung des "Salzburger Seetons" in der Würmzeit. Durch das Rückschreiten des

Gletschers in Salzburg wurden zuerst die höheren Schichten abgetragen und durch die Königsseeache ins Becken transportiert. Der Komponentenbestand legt nahe, durch das Fehlen von Kristallin, dass nur die Königsseeache und nicht die Salzach und Saalach an der Ablagerung beteiligt war.

Das Einzugsgebiet der Königsseeache in der Zeit der Ablagerung des Untergrundes des Leopoldskroner Moores liegt vermutlich im Bereich Watzman und Rossfeld (Göllmassiv) (Abb. 58).

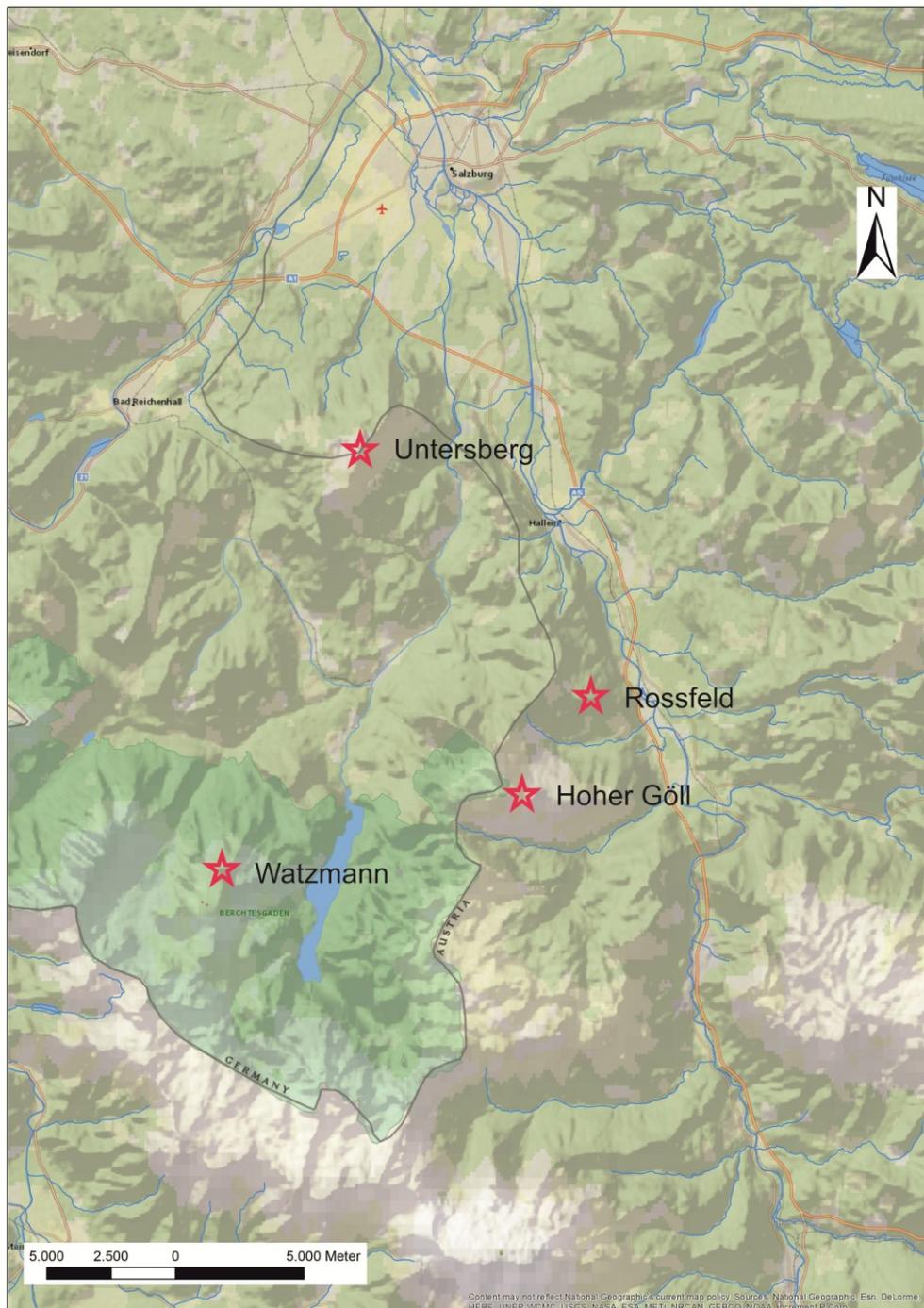


Abb. 58: Übersicht der Lokalitäten der Herkunftsbestimmung.

## 4.4 Seetonrelief

### 4.4.1 Resultate und Interpretation

Es wurde mithilfe aller erhobenen Bohrungen versucht die Oberfläche des "Salzburger Seetons" mittels Geostatistischer Interpolation zu modellieren. Es wurden alle Schürfe und Rammbohrungen, sowie Bohrungen mit einer Endringtiefe und 15 m von der Modellierung ausgeschlossen.

Ursprüngliche Intention war es eine Erosionsrinne durch das Salzburger Becken zu finden, die die Königsseeache geschaffen hat. Leider kann mit dieser Methode eine solche Erosionsrinne nicht konstruiert werden. Vielmehr kann mithilfe eines Schnitts B (Abb. 59, Abb. 60) die Seegeometrie des Sees im letzten Interglazialstadium rekonstruiert werden.

In Abb. 60 ist ersichtlich dass es hier nicht um eine Erosionsrinne handelt. Eine Erosionsrinne würde im blau eingekreisten Bereich durchlaufen. Zudem wird der "Seeton" gegen Nord hin wieder höher (414,26 m über NN), was ebenfalls eine Erosionsrinne ausschließt. Es könnte sich hierbei um zwei getrennt Teile eines größeren Sees handeln, die durch eine Blockade teilweise getrennt sind, aber vermutlich, zumindest bei höherem Seewasserstand miteinander in Verbindung standen.

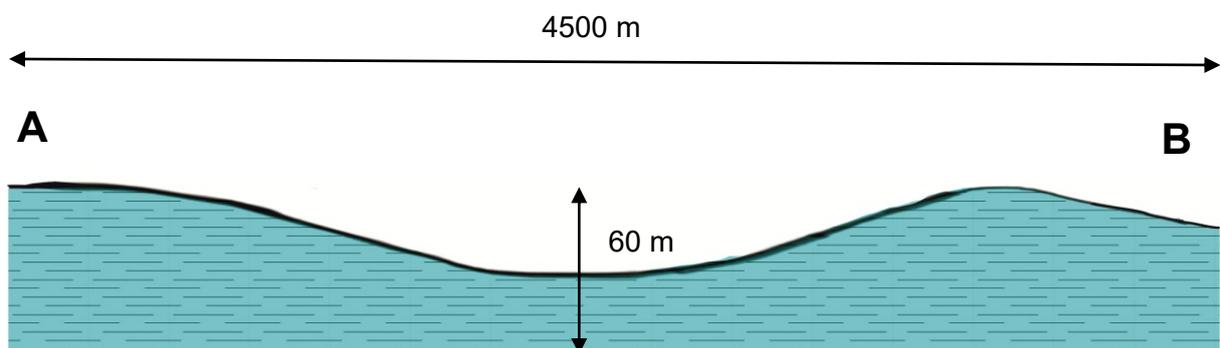


Abb. 59: Rekonstruierte und stark überhöhte Seegeometrie im letzten Interglazial. „Salzburger Seeton“ in Blau.

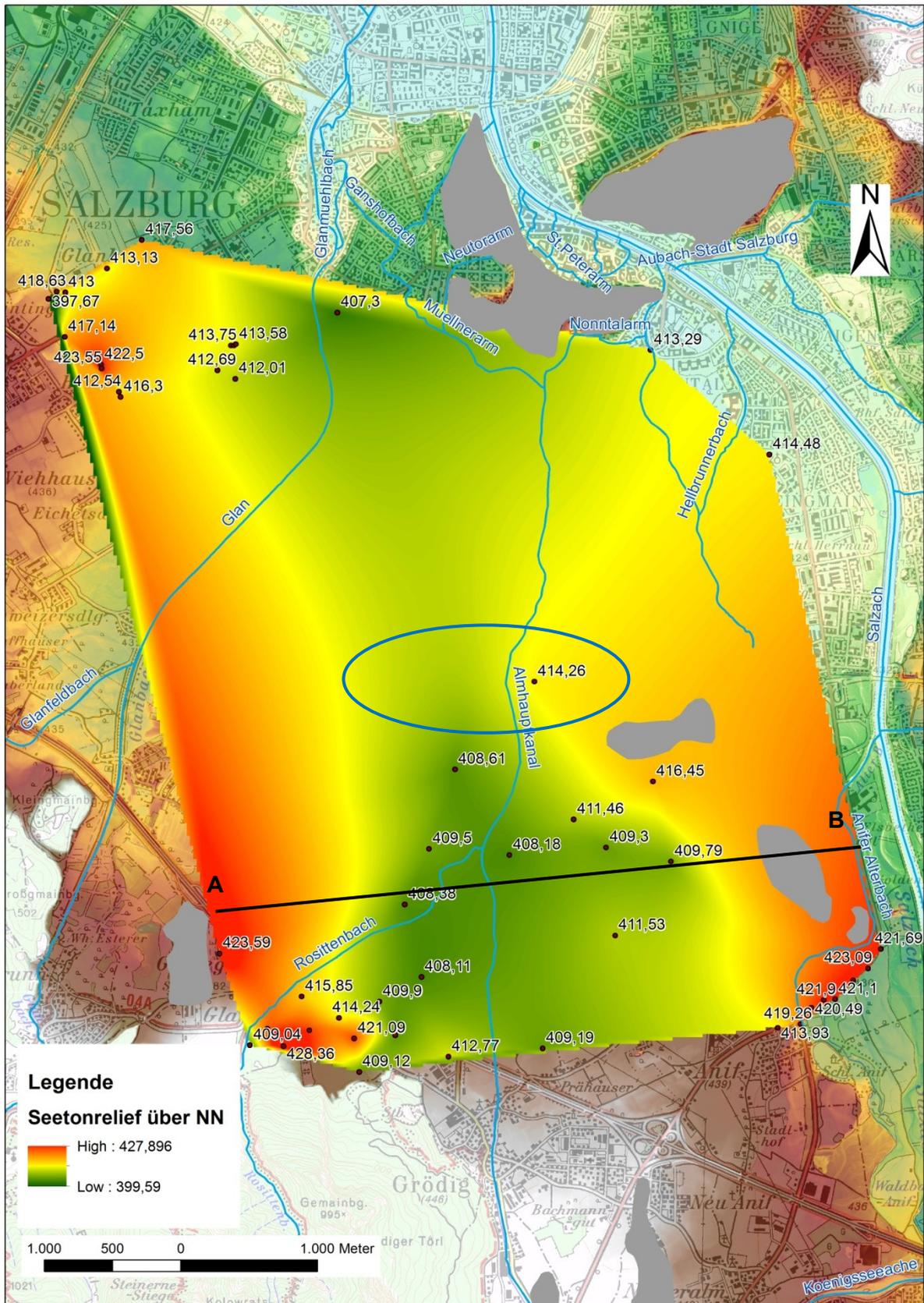


Abb. 60: Modell der Oberfläche des "Salzburger Seetons". Datengrundlage: 436 erhobene Bohrprofile (ArcGIS Spatial Analyst, Natural Neighbor).

## 4.5 Bohrprofile

### 4.5.1 Resultate

Wie die Komponentenanalyse der Kiese des Leopoldskroner Moores und die Ergebnisse von Donadel (2012) zeigten muss die Königsseeache durch das Salzburger Becken geflossen sein und die Kiese abgelagert haben. Ziel dieses Kapitels ist es die Paläogeographische Rekonstruktion des Verlaufes der Königsseeache durch das Salzburger Becken mittels Profilschnitte durch das Untersuchungsgebiet zu finden (Abb. 61; Abb. 62–Abb. 66).

#### Beschreibung der Profilschnitte:

##### Profil 1:

Der Profilschnitt (Abb. 62) liegt im südlichsten Teil des Untersuchungsgebietes. Er zeigt einen relativ einfachen Geologischen Aufbau. Bei einer Bohrung wurde Fels als Untergrund des Beckens angebohrt. Der "Salzburger Seeton" wurde in einer Bohrung angebohrt und weist hier eine Höhe von 412 m über NN auf. Im südöstlichen Ende wurde ein Konglomerat angefahren. Der restliche Profilschnitt besteht aus Sanden und Kiesen mit unterschiedlicher Kornzusammensetzung.

##### Profil 2:

Der Profilschnitt 2 (Abb. 63) zeigt im westlichen Ende das Leopoldskroner Moor. Es wird unterlagert von Feinsand. Der Seeton weist eine "gewellte" Oberfläche auf ungefähr 408 m über NN auf. Diese gewellte Oberfläche könnte ein Indiz für eine Erosionsrinne, wie sie die Königsseeache bei ihrem Verlauf durch das Salzburger Becken vermutlich ausgebildet hat, sein. Ansonsten finden sich, wie im Profil 1 noch Kiese und Sande mit unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen.

##### Profil 3:

Im Profilschnitt 3 (Abb. 64) scheint sich das Leopoldskroner Moor weiter nach Westen auszudehnen als dies in der Geologischen Karte (Abb. 61) der Fall ist. Wiederrum wird der Torf unterlagert von Feinsand und Schluff. Der Seeton scheint hier um 2-4 m höher zu sein als etwas weiter südlich. Kiese und Sande füllen

wiederum das Becken auf. Wiederrum kann hier eine „gewellte“ Oberfläche, durch drei Bohrungen angetroffen, als gesichert angenommen werden.

#### Profil 4:

Im Profil 4 (Abb. 65) wird im südöstlichen Teil in einer Bohrung der Morzger Hügel (Abb. 2) angebohrt. Über diesem befindet sich auf dem topographisch höheren südöstlichen Bereich ein ausgedehnte und mächtige Humusschicht.

In diesem Profil ist sehr gut eine Seite der wannenartigen Einbuchtung im Leopoldskroner Moor zu sehen, welche wiederum von Feinsand unterlagert ist. Das Fehlen des Torfes im nordwestlichen Teil ist vermutlich ein Indiz für den Torfabbau. Sande und Kiese bilden wiederum die restlichen Füllungen.

#### Profil 5:

Der nordwestliche Teil dieses Schnittes (Abb. 66) zeigt wiederum den Torf des Leopoldskroner Moores, welcher teilweise von Schluff unterlagert wird. Der Humus in der Mitte des Schnittes ist vermutlich ein verfüllter Torfabbau. Im südöstlichsten Teil wurden auf den oberen 15 m der Bohrung eine Vielzahl an Steinen angebohrt, was auf ein Bergsturzereignis hindeuten könnte.

### **4.5.2 Interpretation**

Im südlichen Gebiet gibt es Indizien die für ein Bergsturzereignis sprechen. Steine mit unterschiedlicher Größe sind im Profil 5 als letzte Ausläufer dieser erhalten.

Die Bohrungen entlang des Profils 1 sind tief genug um die Seetonoberkante in diesem Gebiet anzubohren. Lediglich in Profil 2 und 3 wurde der „Salzburger Seeton“ ausreichend angebohrt. Jedoch kann mit durch die wenigen Bohrungen eine Erosionsrinne, welche mit Sicherheit vorhanden ist, nicht rekonstruiert werden. Vielmehr kann hier die Seegeometrie rekonstruiert werden (vgl. Kapitel 4.4).



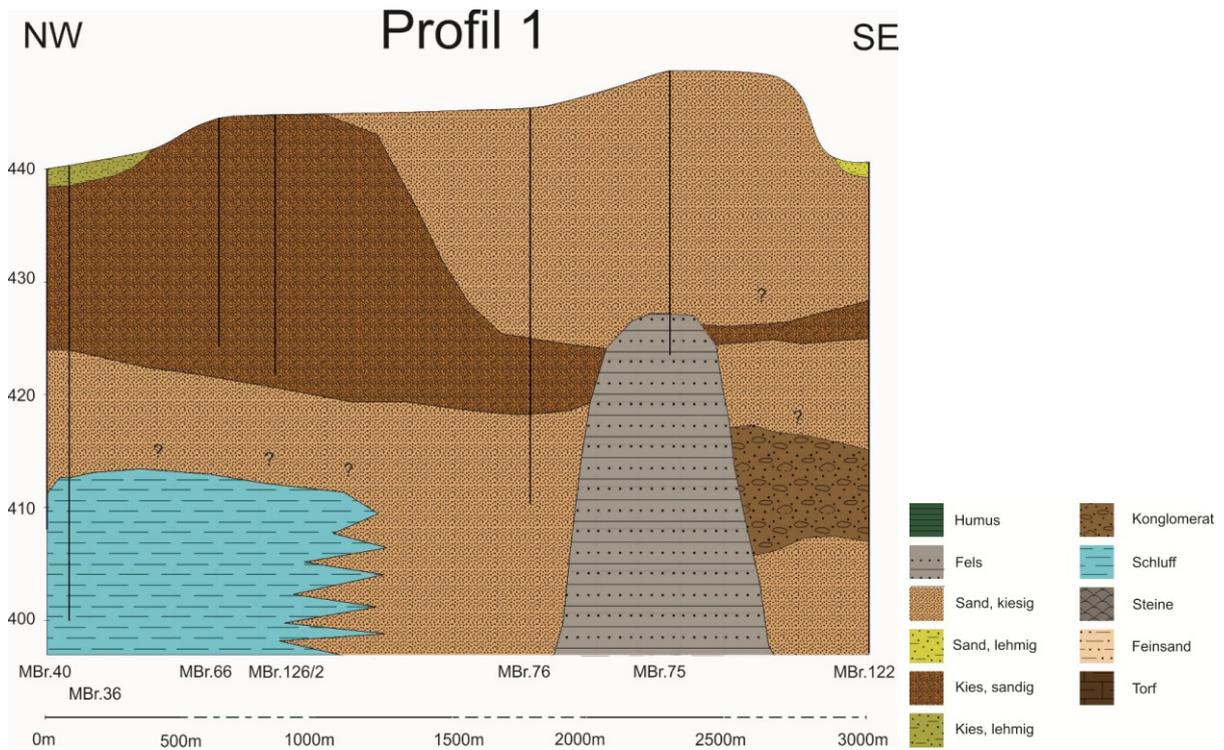


Abb. 62: Geologisches Profil 1. Maßstab Länge: 1:12500, Maßstab Höhe: 1:300

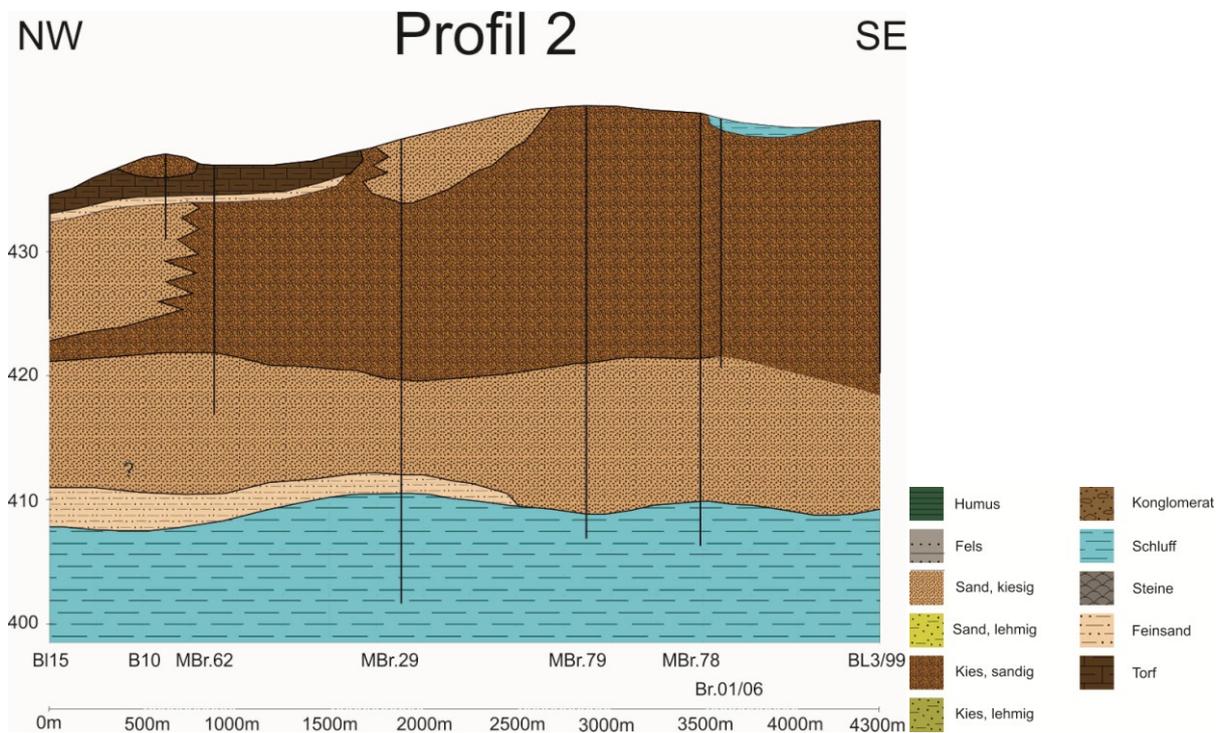


Abb. 63: Geologisches Profil 2. Maßstab Länge: 1:20000, Maßstab Höhe: 1:300

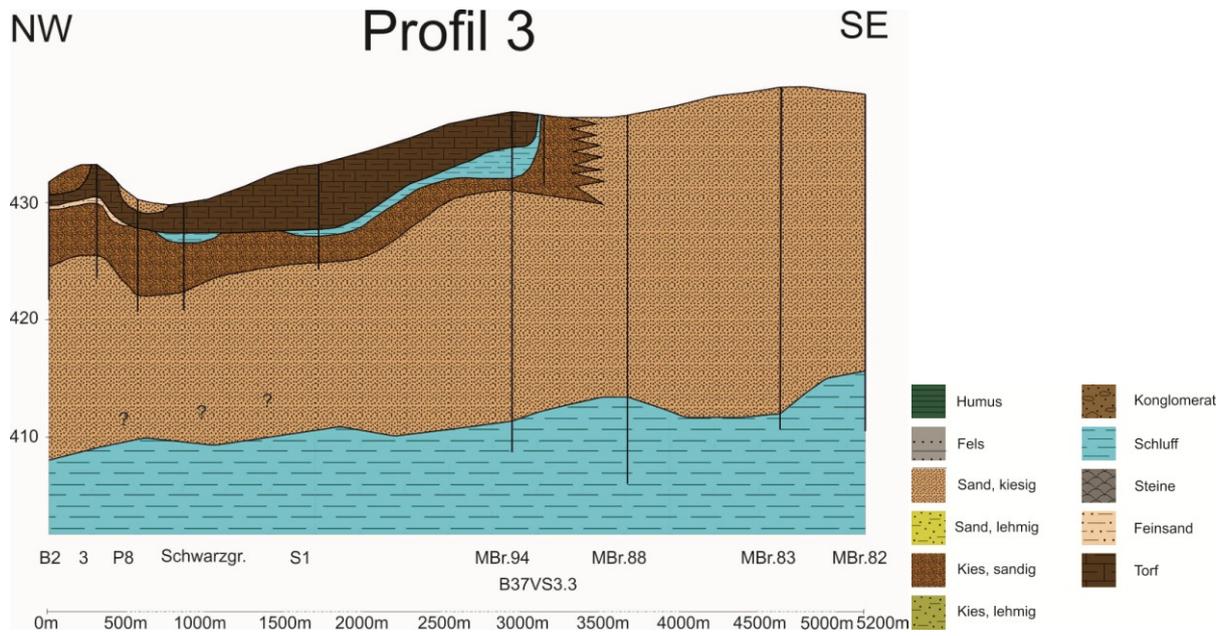


Abb. 64: Geologisches Profil 3. Maßstab Länge: 1:22500, Maßstab Höhe: 1:300

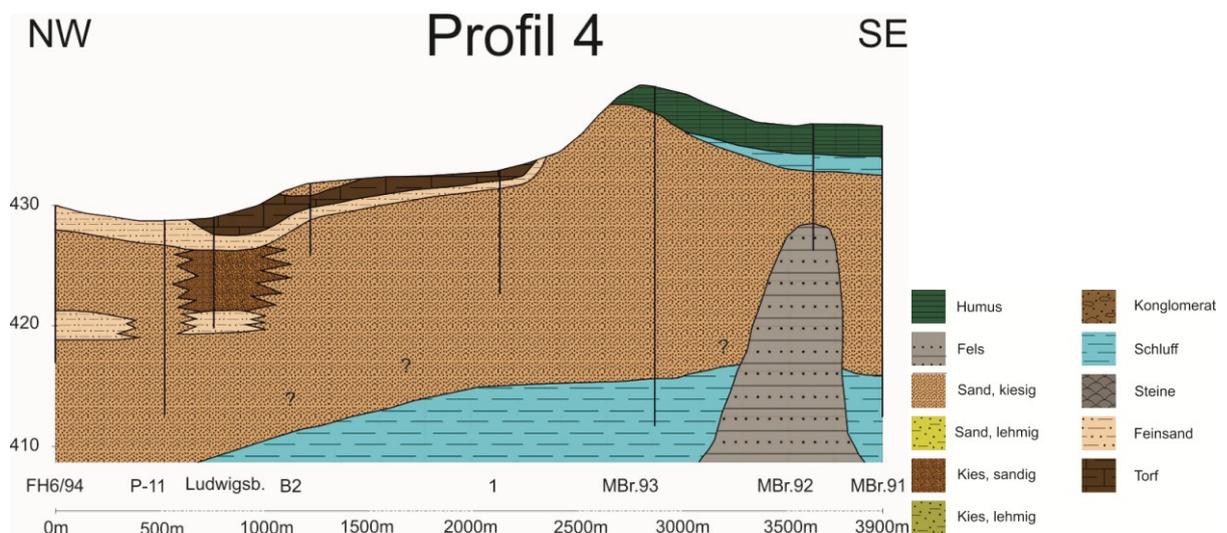


Abb. 65: Geologisches Profil 4. Maßstab Länge: 1:17500, Maßstab Höhe: 1:300

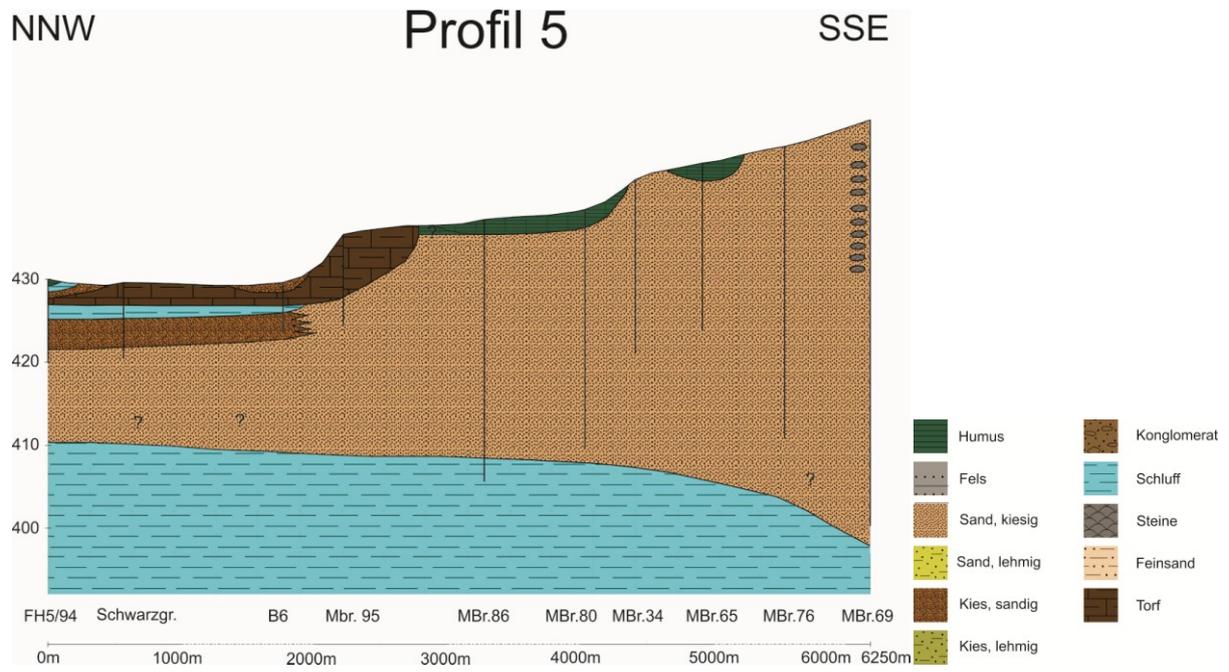


Abb. 66: Geologisches Profil 5. Maßstab Länge: 1:25000, Maßstab Höhe: 1:40

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Das unterschiedliche Schwankungsverhalten der Grundwassermessstellen lässt sich mit den unterschiedlichen Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers erklären. Diese Mächtigkeit des Grundwasserkörpers nehmen ähnlich wie die Flurabstände von Süden nach Norden hin ab. Die Grundwassermessstellen im Bereich des Salzburger Flughafens stellen jedoch einen eigenen Bereich dar. Dies ist auf den Umstand zurückzuführen, dass diese nordwestlich gelegenen Pegel von den restlichen südlichen und südöstlichen Pegeln, durch die Glan als Vorfluter dieser, getrennt sind. Weiter hat sich durch Abstichmessungen und Isotopenanalysen gezeigt, dass die Grundwasserneubildung im Salzburger Becken nur durch Niederschlagsereignisse beeinflusst wird und nicht durch Flußinfiltration. Die Infiltration der Sickerwässer findet sehr rasch statt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch den historischen Abbau von Torf das Grundwasser großflächig seine schützende Deckschicht verlor. Diejenigen Grundwasservorkommen sind am besten gegen Schadstoffeintrag geschützt, welche von mächtigen Schichten auf gering durchlässigem Material überlagert werden. Zusammen mit dem ungesättigten Bereich des Grundwasserleiters wirken sie als natürlicher Schutz der Grundwasservorkommen. Da jedoch die Kiese hohe Durchlässigkeiten von bis zu  $10^{-2}$  m/s aufweisen und die schützende Torfschicht mit niedrigeren Durchlässigkeitsbeiwerten von  $10^{-6}$  m/s und geringer schon fehlen, findet der Schadstoffeintrag ohne große Filterwirkung und relativ rasch statt.

Für eine mögliche Grundwasserentnahme im südlichen Bereich würde das bedeuten, dass es bedingt durch die hohe Grundwassermächtigkeit und dem starken Zufluss vom Untersberg nur zu einer geringen Absenkung des Grundwasserflurabstands kommt. Zudem wird der Grundwasserspiegel im zentralen und nördlichen Bereich stark sinken. Die Tatsache, dass die Flurabstände im südlichsten Bereich höher sind hat zur Folge, dass das Grundwasser von oberflächlichen Einflüssen und Verschmutzung besser geschützt ist. Im Gegensatz dazu würde eine Grundwasserentnahme im mittleren und nördlicheren Bereich zu einer massiven Senkung des Grundwasserspiegels führen. Zudem ist die Vulnerabilität des Grundwassers, bedingt durch den geringen Flurabstand und die durchlässige Deckschicht, sehr hoch. Dies hat nicht nur zur Folge, dass weniger Wasser für die Aufnahme durch Pflanzen zur Verfügung steht, sondern auch, dass

es durch den Abbau von Porenwasserdrücken zu Setzungserscheinungen kommt. Zudem wird es zu einem Umkehren der Interaktion Grundwasser-Oberflächenwasser kommen. Aufgrund des Eingreifens des Menschen durch die Begradigung der Glan und die künstliche Erhöhung der Durchlässigkeitsbeiwerte des Bachbeets, wird bei niedrigem Grundwasserspiegel das Grundwasser im nordwestlichen Bereich nicht mehr die Glan infiltrieren, vielmehr wird sich der Effekt umkehren und die Glan wird das Grundwasser speisen. Wie wir ebenfalls gesehen haben wird die Glan von einem zweiten moorbezogenen Grundwasserleiter beeinflusst. Desto weiter Richtung Stadt Salzburg die Glan fließt desto höher werden die Leitfähigkeiten und die Temperaturen und desto geringer werden die pH-Werte. Gelangt dieses mehr und mehr belastete Wasser nun in den Grundwasserkörper wird sich die Chemie des Grundwassers und des Grundwasserkörpers stark verändern. Die Leitfähigkeitswerte und die Temperatur des Grundwassers werden sich erhöhen. Der Sauerstoffgehalt wird sich stark erniedrigen und es wird vermehrt zu reduzierenden Bedingungen kommen. Die Qualität des Grundwassers nimmt somit nachmals ab.

Die Temperatur des Grundwassers schwankt zwischen 6,7 und warmen 15,5 °C. Sie zeigt einen mehr oder weniger ausgeprägten Jahresgang an den Messstellen. Kaltes Grundwasser fließt aus Richtung des Untersberges kommend nach Norden hin, wo es durch Niederschlagswasser verdünnt und erwärmt wird. Die Wassertemperatur ist im Wesentlichen von der mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche beeinflusst und ist somit stark oberflächenbeeinflusst. Die gedämpfte Amplitude des Jahresganges gegenüber der Lufttemperatur ist das Resultat des Flurabstandes. Der höhere Flurabstand führt auch zu einem tendenziell niederen Mittelwert bei den im Süden gelegenen Messstellen. Die Temperaturen steigen in Richtung Norden wo der Flurabstand abnimmt. Inwieweit der zunehmende Eingriff des Menschen, etwa durch Grundwasserwärmepumpen, ebenfalls einen Effekt auf die Temperatur des Grundwassers hat kann ohne weitere Forschung nicht quantifiziert werden.

Schwankungen im Jahresgang der Leitfähigkeit können durch verschiedenste Prozesse erklärt werden. Der Niederschlag führt hochmineralisiertes Bodenwasser aus der ungesättigten Zone dem Grundwasser zu, was somit zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit führt. Eine Zunahme der Leitfähigkeit im Winter geht vermutlich auf

Streusalzeintrag zurück. Es hat sich gezeigt, dass einzelne Bereiche des Grundwassers extrem erhöhte Bereiche aufweisen. Starke Variationen in der Leitfähigkeit sind somit ein Hinweis auf lokale Einflüsse und Prozesse der Grundwasserneubildung.

Der Hauptchemismus des Grundwassers spiegelt im Wesentlichen die Geologie des Einzugsgebietes wider. Das Grundwasser ist von karbonatisch-alkalischen Typ mit teilweise erhöhten Anteilen an Sulfat und Hydrogenkarbonat. Dies ist das Ergebnis der Großteils gemischt karbonatischen Beckenfüllung, die durch die eine Analyse im liegenden des Leopoldskroner Moores belegt worden ist. Die Chemie des Grundwassers ist zudem sehr beeinflusst durch das Leopoldskroner Moor. Für die Verwendung als Trinkwasser weist das Grundwasser im ganzen Untersuchungsgebiet gute pH-Werte auf. Man könnte vermuten, dass durch den Moorcharakter der pH-Wert niedrige Werte annimmt. Zudem ist Niederschlag bedingt durch gelöstes CO<sub>2</sub> von Natur aus gering sauer (pH-Wert 5,6). Dass die Grundwässer dennoch neutrale bis leicht saure Werte aufweisen ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die karbonatische Beckenfüllung die niedrigen pH-Werte puffert und somit auf ein Trinkwasserniveau erhöht.

Da Eisen und Mangan teilweise, besonders unter dem Leopoldskroner Moor, erhöhte Werte aufweisen, ist das Grundwasser reduzierend. Der Sauerstoffgehalt in dem Bereich des Leopoldskroner Moor ist sehr gering, was ebenfalls auf die reduzierenden Bedingungen in diesem Bereich zurückzuführen sind. Grenzwerte oder Richtwerte für den Sauerstoffgehalt sind in der Trinkwasserverordnung nicht genannt. Jedoch wird in den meisten Trinkwasseraufbereitungsanlagen Grundwasser mit niedrigem Sauerstoffgehalt durch natürliche Verfahren, wie die Belüftung mit Lutsauerstoff mit Sauerstoff angereichert.

Die Grundwasserchemie ist durchwegs sehr heterogen und wird ebenfalls sehr stark beeinflusst durch landwirtschaftliche Tätigkeiten, wie etwa die Düngung mit Gülle. Zahlreiche Parameter im Untersuchungsgebiet schließen das Grundwasser als primäres Trinkwasser aus. Um auf Trinkwasserqualität zu kommen müssten umfangreiche Sanierungsarbeiten des Grundwasserkörpers und ein Verbot für landwirtschaftliche Düngung, wie dies in Grundwasserschutzgebieten der Fall ist, erlassen werden. Zusätzlich müsste das Grundwasser dann immer noch chemisch und physikalisch aufbereitet werden.

## 6. Ökonomische Bedeutung

Der Klimawandel und die damit steigenden Temperaturen sind unumstritten. Salzburg kann in Zukunft mit einem wärmeren Klima rechnen. In den Winter- und Frühlingsmonaten kann stellenweise mit einem Niederschlagsplus gerechnet werden. Die Sommer- und Herbstmonate sind mit einer Niederschlagsabnahme gekennzeichnet. Die Temperaturerhöhung bewegt sich zwischen 2 °C für den Winter und bis zu 3 °C für den Herbst.

Zudem wird durch den steigenden Siedlungsdruck und den dadurch bedingten erhöhten Wasserbedarf für Familien und Industrie auf neue Erschließungswege zur Wasserversorgung zurückgegriffen werden müssen.

Seit dem Eingreifen des Menschen in die Umwelt, wie etwa durch Flussbegradigungen, besteht die Gefahr, dass die Trinkwassergewinnung aus Grundwasser gefährdet ist, wenn das Grundwasser vor Verschmutzung nicht geschützt wird. Als mögliche Quellen für eine Grundwasserbelastung durch Schadstoffe kommen hier vor allem in Betracht: a) Nitrat- und Pestizidbelastung aus der Landwirtschaft b) Versalzung und Schadstoffeintrag des Grundwassers durch große Flüsse c) Ausschwemmung von Schadstoffen aus alten und neuen Deponien in das Grundwasser.

Welche Anforderungen muss nun so ein Gebiet zur Trinkwasserversorgung haben?

In Österreich wird der Schutz des Grundwassers durch das Wasserrechtsgesetz 1959 geregelt. Einige wichtige Aussagen dieses Gesetzes sind: "Oberstes Gebot im Wasserrechtsgesetz ist es, durch eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung, alle oberflächlichen Gewässer und Grundwasser zu schützen. Alle Gewässer müssen nachhaltig so bewirtschaftet werden, dass ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt gewährleistet wird. Sofern es das Wohl der Allgemeinheit erfordert, können Wasserschutzgebiete festgesetzt werden, in denen bestimmte Handlungen verboten oder nur für beschränkt zulässig erklärt werden können. Anlagen zum Umgang mit wassergefährlichen Stoffen müssen so beschaffen sein, errichtet, unterhalten, betreiben und stillgelegt werden, dass eine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern nicht stattfindet. Dies gilt auch für landwirtschaftliche Anlagen."

Das Grundwasser ist an vielen Stellen im Untersuchungsgebiet stark oberflächenbeeinflusst und ist dadurch sehr stark anfällig für Verunreinigungen, wie zum Beispiel durch landwirtschaftliche Düngung und landwirtschaftliche Bewässerung. Das Grundwasser im Leopoldskroner Moor ist aufgrund seiner stark anthropogenen Belastung nicht ohne weitere Aufbereitung als Trinkwasser zu verwenden. Dem Schutz des Grundwassers sollte noch stärker Beachtung geschenkt werden. Das Ausbringen von Gülle in schutzbedürftigen Gebieten sollte verboten werden. In Gebieten geringerer Sedimentbedeckung und bedingt durch die schlechte Filterwirkung der gut durchlässigen Kiese gelangen die Auflösungsprodukte des Streusalzes rasch in den Grundwasserkörper. In diesen Gebieten sollte auf Auftausalz verzichtet werden und stattdessen Winterstreu verwendet werden.

Dem Grundwasserschutz sollte durch Einschränkung ebenjener Tätigkeiten viel mehr Beachtung geschenkt werden. Es dient nicht nur zum Erhalten der Qualität des Grundwassers, sondern auch der natürlichen Artenvielfalt, sofern noch vorhanden, des Landschaftsgebietes Leopoldskron Moos.

## 7. Schlussfolgerungen

- 1) Das Grundwasser schwankt stark und die Vulnerabilität des Grundwassers ist hoch. Die Grundwasserschwankungen sind niederschlagsbeeinflusst, was bedeutet dass es durch die Entnahme von Trinkwasser zu einer schnellen Erniedrigung des Grundwasserspiegels kommt und dadurch wird es verstärkt zur Infiltration von Flusswasser kommen. Dieses Flusswasser, vornehmlich aus der Glan, zeigt jedoch starke Beeinflussung des oberen moorbezogenen Grundwasserleiters, was sich in einer Erhöhung der Leitfähigkeit und der Temperatur der Glan Richtung Salzburger Stadtgebiet bemerkbar macht.
- 2) Durch die Grundwasserentnahmen und die damit verbundene Erniedrigung der Grundwasseroberfläche würden vermehrt Setzungserscheinungen im Zentimeter und Dezimeter Bereich auftreten.
- 3) Da die Grundwasserneubildung durch Niederschlag erfolgt, lässt sich daraus schließen, dass es nur eine gering schützende Sedimentüberdeckung gibt und die Filterwirkung der Kiese und Sande gering ist. Es reicht ein Aufenthalt des Wassers im Boden über einen Zeitraum von 60 Tage aus, um allochthone Mikroorganismen im Grundwasser absterben zu lassen und somit auch zur Elimination pathogener Bakterien führt. Durch die hohen Durchlässigkeiten der Sande und Kiese können diese Werte für eine Reinigung des Grundwassers nicht erreicht werden.
- 4) Das Grundwasser, mit erhöhten Werten an Nitrat, TOC (Total Organic Carbon) und elektrischer Leitfähigkeit ist nicht ohne aufwendige und umfangreiche Aufbereitung als Trinkwasser geeignet.
- 5) Die Interaktion Grundwasser-Oberflächenwasser und die Interaktion moorbezogener Grundwasserleiter-tieferliegender Grundwasserleiter sind sehr komplex und werden noch nicht genau verstanden.

## 8. Ausblick

Wie gezeigt wurde, sind die Arbeiten im Salzburger Becken noch lange nicht abgeschlossen. Für eine eventuelle Grundwasserentnahme, falls die oben beschriebenen Fakten die gegen eine Grundwasserentnahme sprechen, gelöst sind, sollten ein Leistungspumpversuch und ein Hydrologischer Pumpversuch mit einem entsprechenden Monitoring-Programm durchgeführt werden. Mithilfe dieser Versuche kann man anschließend auf die hydrodynamischen Parameter und die Leistungscharakteristik eines Brunnen geschlossen werden. Zudem können mit Hilfe dieses Versuchs auf die Absenkung im Bereich des Entnahmetrichters geschlossen werden.

Das Auftreten der erhöhten Leitfähigkeiten im Bereich des Salzburger Flughafens sollte abgeklärt werden. Es muss eine Grundwasseranalyse an zumindest den drei Pegeln geben. In Erdölprodukten wie Kerosin und leichten Mineralölen wird die Leitfähigkeit durch Additive erhöht, um die elektrostatische Aufladung an die Tank- oder Pipelinewand abzuleiten. Für Kerosin ist aus Sicherheitsgründen eine Mindest-Leitfähigkeit vorgeschrieben. Ob diese erhöhten Leitfähigkeiten jedoch vom Flughafenbetrieb stammen ist zurzeit nicht belegt.

Im Leopoldskroner Moor bildet sich ein zweiter, stagnierender, moorbezogener Grundwasserleiter aus. Diese zwei Grundwasserhorizonte stehen in Kontakt. Die genauen Vorgängen die diese zwei chemisch und genetisch unterschiedlichen Grundwasserleiter miteinander ausbilden, ist sicherlich einer genaueren Betrachtung wert um die Vorgänge im Bereich des Leopoldskroner Moor vollständig zu verstehen. Die Interaktion Fließgewässer (Glan)-Grundwasser findet ganz offensichtlich auch statt. Ob diese Interaktionen punktuell oder flächenhaft auftreten, könnte sicherlich weiter betrachtet werden. Auch interessant ist die Frage, ob diese Interaktion auch bei Grundwasserniedrigstand stattfindet und, wenn ja, was der Unterschied zu Normalwasser und Höchstwasserständen ist.

Es hat sich auch bei der Begehung des Gebietes und ebenfalls bei der Anfertigung der Bohrprofile gezeigt, dass die Geologische Karte bei der Ausdehnung des Leopoldskroner Moores ein zu großes Gebiet annimmt. Durch eine Kartierung im Feld mit eventueller Zuhilfenahme einer mobilen Rammbohrungsanlage, oder einer eventuellen Refraktionsseismik, könnte die Ausdehnung des Leopoldskroner Moores

erforscht werden. Im Zuge dessen würde es sich dabei auch anbieten, die Sedimente im Liegenden des Leopoldskroner Moores in Hinsicht auf ihren Pollengehalt zu untersuchen. Möglicherweise könnte damit auf das genaue Alter der einzelnen Schichten geschlossen werden und die Quartärgeologie genauer verstanden werden.

## 9. Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich ganze herzlich bei der Firma Geoconsult ZT GmbH in Salzburg bedanken, die mir erst die Möglichkeit gaben diese Diplomarbeit zu schreiben. Ganz besonderen Dank gebührt Mag. Giorgio Höfer-Öllinger und Mag. Klaus Heimlich für die sehr vielen guten Ratschläge und die immer hilfreiche Unterstützung.

Professor Hans-Jürgen Gawlick sei ebenfalls für die Unterstützung bei und neben der Diplomarbeit herzlichst zu danken.

Der Salzburg AG und Herrn Josef Lintschinger danke ich für ein sehr konstruktives Gespräch und die kostenlose Durchführung von hydrochemischen Untersuchungen.

Ich möchte all meinen Freunden Danken die die Zeit in Leoben so abwechslungsreich und unvergesslich machten.

Zu guter Letzt gebührt der größte Dank meinen Eltern für die Unterstützung. Es war nicht immer leicht, aber sie haben immer zu mir gestanden.

Danke

## 10. Literatur

Bichler, B., Reischer, M. [2013] Hydrogeologie des Untersberges und des angrenzenden Salzburger Beckens. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Innsbruck.

Brandecker, H. [1974] Hydrogeologie des Salzburger Beckens. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie 26, S. 5-39.

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich BGBl. Nr. 215/1959. Wasserrechtsgesetz.

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich BGBl. Nr. 502/1991. Grundwasserswellenwertverordnung – GSwV.

Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft [2013] Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2011, Wien.

Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft [2014] Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2012, Wien.

Clark, I. D., Fritz, P. [1997] Environmental isotopes in hydrogeology. Boca Raton, Florida, CRC Press.

Del-Negro [1956] Geologische Forschung in Salzburg 1949-1956. Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 49. Band, S. 107-128.

Del-Negro [1963] Probleme der Pleistozänentwicklung im Salzburger Becken. Mitteilungen der Naturwissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft am Haus der Natur Salzburg 14, S. 59-72.

Del-Negro, W. [1979] Erläuterungen zur Geologischen Karte der Umgebung der Stadt Salzburg, 1:50.000. Geologische Bundesanstalt, Wien.

Del-Negro, W. [1983] Geologie des Landes Salzburg. Sonderpublikation Nr. 45 Schriftenreihe des Landepressebüros, Salzburg.

Donadel, A. K. [2012] Geologische Entwicklung postglazialer Flussmündungen am Beispiel von Saalach und Königsseeache. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Würzburg.

Donadel, A. K., Höfer-Öllinger, G., Frimmel, H. E., Schrott, L. [2014] Evolution of late- to postglacial river confluences in overdeepened alpine valleys – Saalach and Königsseeache (Austria). Austrian Journal of Earth Sciences, Volume 107/2, Vienna, S. 60-73.

Etcheverry, D., Vennemann, T. [2009] Isotope im Grundwasser; Methoden zur Anwendung in der hydrogeologischen Praxis. Umwelt-Wissen Nr. 0930, Bundesamt für Umwelt, Bern.

Frisch, W., Gawlick, H.-J. [2003] The nappe structure of the central Northern Calcareous Alps and its disintegration during Miocene tectonic extrusion - a contribution to understanding the orogenic evolution of the Eastern Alsp. International Journal of Earth Sciences 93, S. 712-727.

Fugger, E. [1907] Die Salzburger Ebene und der Untersberg. Jahrbuch k. k. geologische Reichsanstalt 57, S. 455-528.

Gerabek, K. [1971] Die Gewässer im Stadtbereich von Salzburg. Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, S. 381-396.

Hahn, F. [1913] Grundzüge des Baues der nördlichen Kalkalpen zwischen Inn und Enns. Mitteilungen Geologische Gesellschaft Wien 6 S. 238-357 und S. 374-501.

Herbst, P., Riepler, F. [2006] <sup>14</sup>C Evidence for an early to Pre-Würmian age for parts of the Salzburger Seeton, Urstein, Salzach valley, Austria. Austrian Journal of Earth Science 99, S. 57-61.

Hilberg, S., Kreuzer, M. [2013] Identification of a deep flow system in a dolomitic alpine aquifer – case study Wimmerbauern spring, Bad Ischl. Austrian Journal of Earth Sciences, 106/1, S. 16-25.

Höltling, B., Coldewey, W. G. [2013] Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Auflage. Springer, Berlin-Heidelberg.

Humer, G., Rank, D., Trimborn, P., Stichler, W. [1995] Niederschlagsisotopenmessnetz Österreich. Monographie Band 52, Bundesministerium für Umwelt, Wien.

IAEA [2001] GNIP Maps and Animations, International Atomic Energy Agency, Vienna. Verfügbar unter <http://isohis.iaea.org>

<http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/userupdate/Waterloo/global/slide01.gif>

Ibetsberger, H., Häupl, M., Jäger, P. [2010] Nacheiszeitliche Entwicklung des Salzburger Gewässernetzes. Gewässerschutz 14, S. 7-55.

Kirchner, E., Vogeltanz, R., Schmidt, G., Prodingler, F., Hitsch, E., Czernin-Chudenitz, C. [1978] Leopoldskron, Moos, Gneis; Untersuchungen zu Fragen der Wasserentsorgung. Magistrat Salzburg.

Knapczyk, H. [1981] Klimatologie und Hydrographie des Karstmassives Untersberg bei Salzburg. Bearbeitung der Ergebnisse der Internationalen Hydrologischen Dekade 1966-1975. Unveröffentlichtes Manuskript.

Knapczyk, H. [1984] Der Untersberg bei Salzburg. Die ober- und unterirdische Karstentwicklung und ihre Zusammenhänge - Ein Beitrag zur Trinkwasserforschung. Unveröffentlichte Dissertation, Paris-Lodron Universität Salzburg.

Knorz, J. [1900] Schloss Leopoldskron, der Weiher und die Schwimmanstalt des k. und k. Infanterie-Regimentes Erzherzog Rainer Nr. 59. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, Jahrgang 1902, XLII. Jahrgang, S. 155–183.

Kralik, M., Zieritz, I., Grath, J., Vincze, G., Philippitsch, R., Pavlik, H. [2005] Hydrochemische Karte Österreichs. Oberflächennaher Grundwasserkörper und Fließgewässer. Berichte BE-269, Umweltbundesamt, Wien.

Krisai, R. [1987] Hammerauer Moor und Samer Mösl – Moore in der Großstadt. Jahrbuch Haus der Natur, 10, S. 128-134, Salzburg.

Lumetzberger, A., Patzner, R. [2009] Die Glan im Wandel der Zeit; Restrukturierung im Bereich nördlich der Hammerauer Brücke. Magistrat Salzburg.

Mandl, G. W. [1999] The Alpine sector of the Tethyan shelf – Examples of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the Northern Calcareous Alps. Mitteilungen Österreichische Geologische Gesellschaft 92, S. 61-77.

- Missoni, S., Gawlick, H.-J. [2011] Jurassic mountain building and Mesozoic-Cenozoic geodynamic evolution of the Northern Calcareous Alps as proven in the Berchtesgaden Alps (Germany). *Facies* 57, S. 137-186.
- Müggenburg, K. [2008]a. Quartäre Verfüllungen im Salzburger Becken. Unveröffentlichte Diplomkartierung, Universität Göttingen.
- Müggenburg, K. [2008]b. Numerisches Grundwassermodell des quartären Salzburger Beckens. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Göttingen.
- Neubauer, F. [2014] The structure of the eastern alps: from Eduard Suess to present-day knowledge. *Austrian Journal of Earth Sciences*, Volume 107/1, S. 83-93, Vienna.
- Nießner, R. (Hrsg.) [2010] Höll Wasser, Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. Walter de Gruyter & Co. KG, Berlin/New York.
- Nischler, W., Gawlick, H.J., Höfer-Öllinger, G. [2015]: Hydrogeologie und Landschaftsgeschichte des Leopoldskroner Moores, Stadt Salzburg, Österreich. Karstwasser Grundwasser Untersberg 3, Salzburg, Österreich.
- Pippan, T. [1967] Die Stadterrassen von Salzburg. *Mitteilungen Österreichische Geographische Gesellschaft* 109, 115-128.
- Plöchinger, B., Oberhauser, R. [1956] Ein bemerkenswertes Profil mit rhätisch-liassischen Mergeln am Untersberg-Ostfuß (Salzburg). *Verhandlungen Geologische Bundesanstalt Wien*, S. 275-283.
- Plöchinger, B. [1963] Exkursion in den Grünbachgraben am Untersberg-Ostfuß (Salzburg). *Exkursionsführer für 8. Europäisches Mikropaläontologisches Kolloquium in Österreich. Verhandlungen Geologische Bundesanstalt Sonderheft F*, Wien, S. 57-67.
- Plöchinger, B. [1980] Die Nördlichen Kalkalpen. in: Oberhauser, R. (Red.), *Der geologische Aufbau Österreichs. Geologische Bundesanstalt Wien*, S. 217–264.
- Preusser, F. Reitner, J. M., Schlüchter, Ch. [2010] Distribution, geometry, age and origin of overdeepened valleys and basins in the Alps and their foreland. *Swiss Journal of Geoscience* 103, S. 407-426.

Prey, S. [1959] Zwei Tiefbohrungen der Stieglbrauerei in Salzburg. Verhandlungen Geologische Bundesanstalt, Wien, S. 216-224.

Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H. G., Merle, O. [1991] Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: structural analysis. *Tectonics* 10, S.257–271.

Sanders, D. [1997] Upper Cretaceous transgressive shore zone deposits ('Untersberger Marmor' Auct.) in the eastern part of the Tyrol (Austria): An overview. *Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck* 22, S. 101-121.

Schmid, S. M., Fügenschuh, B., Kissling, E., Schuster, R. [2004] Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae geologica Helvetica* 97, S. 93-117.

Seefeldner, E. [1954] Die Entstehung und Alter der Salzburger Ebene. *Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde* 94, S. 202-208.

Stadt Salzburg [2009] Salzburger Stadt\_Landschaften. Magistrat Stadtplanung und Verkehr, Salzburg, S. 18-25.

Starnberger, R., Draxler, I., Höfer-Öllinger, G., Reitner, J. M. [2014]a. Der Beginn des Spätglazials im Nördlichen Alpenvorland, Lumineszenzdatierung und Pollenanalysen an Sedimenten des Salzburger Beckens. *DEUQUA 2014*, S. 129.

Starnberger, R., Draxler, I., Höfer-Öllinger, G., Reitner, J. M. [2014]b. Der Beginn des Spätglazials im Nördlichen Alpenvorland; Lumineszenzdatierung und Pollenanalysen an Sedimenten des Salzburger Beckens. *DEUQUA 2014*, Postersession.

Straka, W. [2008] Quartär- und Hydrogeologie der Traun-Enns-Platte im Bereich Kremsmünster – Bad Hall, Oberösterreich. Unveröffentlichte Dissertation, Universität Wien.

Strasser, T., Patzner, R. A. [2005] Aquatische Neozoen im Stadtbereich, am Beispiel der Stadt Salzburg. *Mitteilungen Zoologische Gesellschaft Braunau*, Band 9, Nr. 1, S. 1-17.

Succow, M., Joosten, H. [2001] *Landschaftsökologische Moorkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

van Husen, D. [1979] Verbreitung, Ursachen und Füllung glazial übertiefter Talabschnitte an Beispielen in den Ostalpen. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 29, S. 9-22.

van Husen, D. [1999] Geological processes during the Quaternary. Mitteilungen Österreichische Geologische Gesellschaft 92,S. 135-156.

Waldherr, B. [2010] Der „Salzburger Seeton“. Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg, Forschungsnews Ausgabe 12/2010.

Wisotzky, F. [2011] Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung. Grundlagen, Anwendungen und Problemlösungen. Springer, Berlin-Heidelberg.

Zötl, G. J. [1974] Karsthydrogeologie. Springer, Wien - New York.

## 11. Anhang

Nr.	Bbez.	X_BMN	Y_BMN	GOK	MOK
1	KB5/01	424692,36	295219,18	434,23	435,05
2	M305	425430,54	295780,22	428,97	428,97
3	P1/97	425815,94	294876,04	429,72	430,39
4	L. 242	426758,16	293104,06	432,48	433,25
5	M323	427715,51	293309,17	431,32	432,32
6	M235	428296,23	294853,52	433,83	434,78
7	M320	427266,03	294611,18	429,02	428,87
8	M241	426939,18	293761,80	430,94	431,94
9	M321	428229,17	293397,44	431,35	432,30
10	Morzg, B 68	429689,58	291630,16	428,91	429,71
11	M238	425340,66	291668,57	436,12	435,97
12	BL6/99	430088,48	289934,05	432,96	433,93
13	BL3/99	429613,92	289753,45	440,57	441,42
14	BL4/99	429798,82	289781,23	440,93	440,83
15	BL5/99	429918,85	289893,68	439,93	440,93
16	BL7/99	430166,23	290043,83	431,49	432,59
17	BL8/99	430258,84	290103,36	430,80	431,07
18	BL9/99	430341,52	290106,00	429,30	430,15
19	BL11/99	430676,88	290475,76	429,29	430,24
20	BL12/99	430653,73	290563,73	428,60	429,35
21	96	427702,50	292435,56	433,82	434,52
22	94	427550,84	291807,83	436,91	437,71
23	95	426848,90	291813,77	435,35	436,05
24	62	426385,54	290638,50	437,20	437,90
25	86	427196,52	290803,50	436,78	437,58
26	80	427816,50	290296,54	438,20	439,00
27	64	427417,46	290032,35	441,30	442,00
28	77	428688,85	289343,61	445,15	445,95
29	82	429166,03	290284,98	438,23	439,03
30	90	429142,30	291127,69	437,29	438,09
31	99	428421,32	291434,94	434,86	435,66
32	92	428666,00	291929,11	436,36	437,16
33	88	427954,04	291168,09	436,48	437,28

Anhang 1: Bezeichnungen der Grundwassermessstellen mit ihren Koordinaten, Geländeoberkanten (GOK) und Messoberkanten (MOK).

Bezeichnung	dO18_VSMOW	Lufttemperatur_°C	Wassertemperatur_°C	Abstich_m	Färbung_Aussehen	Bodensatz_sensorisch	Geruch_sensorisch
M241		19	12,3	4,43	trüb/ rot-braun	Sand und Eisenhydroxid	geruchlos
M320		19	14,4	0,84	farblos	einige Partikel	geruchlos
M323		19	11,2	3,49	leicht gelblich	feine Partikel	geruchlos
L 242	-10,03	19	12,3	4,09	trüb/grau	Sand	geruchlos
96		20	12,6	2,73	trüb	viel voluminös	geruchlos
94		12	11,2	5,99	trüb/rot-orange	viel Eisenhydroxid	geruchlos
62	-10,25	14	12,5	3,15	farblos	Eisenhydroxid	geruchlos
90		20	11	6,87	farblos	keiner	geruchlos
77	-10,75	22	10,8	11,67	farblos	einige Partikel	erdig

Bezeichnung	Leitfähigkeit_20°C_μS_cm	pH_Wert	Gelöster_Sauerstoff_L_mg_l	Trübung_FNU_NTU	Färbung_SAK_436nm_m_1	SAK_254nm_m_1
M241	633	7,17	0,3	501	0,78	25,6
M320	480	7,257	1,3	3,83	0,37	9,54
M323	695	7,037	0,8	29,2	0,53	16
L 242	897	6,838	0,2	546	1,99	58,4
96	717	6,923	0,2	>1000	6,16	44,8
94	667	7,05	0,3	105	12,5	78
62	554	7,405	0,6	449	0,46	11,8
90	613	7,36	6,2	0,12	<0,25	1,04
77	438	7,536	7,2	246	<0,25	0,53

Bezeichnung	UV_Durchlässigkeit_10cm_Prozent	Säurekapazität_4_3_mmol_l	Gesamthärte_dH°	Calcium_mg_l	Magnesium_mg_l	Kalium_mg_l
M241	0	6,61	18,6	95,8	22,6	2,56
M320	4	4,82	13,3	74,3	12,5	2,19
M323	0	6,58	22,6	124	22,4	2,96
L 242	0	9,69	24,5	131	26,7	18,6
96	0	7,57	22,6	127	20,9	1,19
94	0	7,72	21,3	114	23,1	1,96
62	0	4,84	16,6	87,3	19,1	1,02
90	77	6,84	19,6	92,8	28,6	2,88
77	0	4,49	13,4	67,4	16,9	1,15

Bezeichnung	Natrium_mg_l	Ammonium_mg_l	Summe_Kationen_meq_l	Eisen_mg_l	Mangan_mg_l	Silicium_mg_l	Hydrogencarbonat_mg_l	Fluorid_mg_l
M241	8,74	2,64	7,24	0,029	0,25	3,94	400	0,06
M320	18,4	0,58	5,63	0,095	0,29	3,14	291	0,07
M323	6,53	1,72	8,49	0,025	0,56	3,66	398	0,06
L 242	22,9	5	10,5	0,35	0,23	5,87	588	0,1
96	4,51	0,13	8,29	2,1	0,27	1,81	459	0,07
94	2,67	0,5	7,78	5,43	0,28	5,42	468	0,06
62	9,11	0,08	6,36	0,063	0,242	1,6	292	0,05
90	11,6	<0,02	7,57	0,011	<0,005	2,06	414	0,06
77	10,8	<0,02	5,26	<0,01	0,037	1,46	271	<0,05

Bezeichnung	Chlorid_mg_l	Nitrat_mg_l	Sulfat_mg_l	Phosphat_ortho_mg_l	Nitrit_mg_l	Summe_Anionen_meq_l	TOC_mg_l
M241	13,2	0,57	21,8	0,02	0,008	7,4	7,15
M320	28,5	<0,05	5,77	0,02	<0,005	5,69	2,48
M323	9,7	<0,05	93,7	0,04	<0,005	8,76	4,2
L 242	46,6	<0,05	<0,05	0,06	n.b.	11	14,7
96	8,5	<0,05	35,7	<0,01	0,007	8,5	8,27
94	4,32	<0,05	4,08	<0,01	n.b.	7,88	27,9
62	30,9	<0,05	28,4	<0,01	<0,005	6,25	3,91
90	19,9	11,5	7,22	0,02	<0,005	7,69	0,51
77	19,9	6,53	11	<0,01	<0,005	5,34	0,32

Anhang 2: Übersicht der Geochemie der Beprobten Grundwassermessstellen.