

# Hydrogeologie im Einflussbereich einer postglazialen Großmassenbewegung

*Hydrogeology of a postglacial mass movement*

R. MAXBAUER<sup>1</sup> & S. HILBERG<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie, Hellbrunner Str. 34, 5020 Salzburg.

Korrespondierender Autor: Reinhard Maxbauer; [Reinhard.Maxbauer@me.com](mailto:Reinhard.Maxbauer@me.com)

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die hydraulischen Verhältnisse einer tiefgreifenden Großmassenbewegung innerhalb der oberostalpinen Grauwackenzone untersucht. Im Fokus stand dabei das Einzugsgebiet der über Brunnen im Talboden betriebenen Trinkwasserversorgung der Gemeinde Saalbach-Hinterglemm im Salzburger Pinzgau. Die Arbeiten konzentrierten sich auf den nördlichen Bereich des Schongebietes (Nordhang des Saalachtals) und umfassten eine Fläche von 8,5 km<sup>2</sup> auf Seehöhen zwischen 1000-1819 m ü. A. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes beruht auf den unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten nördlich und südlich des Flusses Saalach. Während die am Südhang anstehenden Sandsteine als eher geringdurchlässig eingestuft wurden und daher hier Oberflächenabfluss dominiert, weist der Nordhang durch ausgedehnte Lockergesteinsbedeckung und eine tiefgreifende Massenbewegung gute hydraulische Durchlässigkeiten auf und wird daher als Haupteinflussfaktor für die Grundwasserneubildung im Talgrundwasserkörper betrachtet. Aufgrund der Annahme, dass am Nordhang ein möglicher, tiefgründiger Abfluss den größten Anteil zur Grundwasserneubildung im Talgrundwasserkörper beiträgt, wurde eine mögliche Verkleinerung des Schongebietes Brunnen Langfeld untersucht. Eine detaillierte geologische und hydrogeologische Aufnahme des Untersuchungsgebietes lässt eine Untergliederung in einen westlichen und in einen östlichen Bereich zu. So zeigt der westliche Bereich einen dominierenden unterirdischen Abfluss und kaum Quellaustritte. Der östliche Bereich hingegen zeigt in Kombination von tiefgründiger Auflockerung und Durchlässigkeitsunterschieden ein diffuses Bild an Quellaustritten und Vernässungszonen. Anhand hydrographischer Daten wie Niederschlag, Verdunstung und Oberflächenabfluss wurde eine Wasserbilanz für das betrachtete Einzugsgebiet erstellt. Diese weist auf einen für die vorliegende Lithologie hohen Anteil an unterirdischem Abfluss hin, zeigt also, dass der Untergrund stark aufgelockert ist und ein hohes Speichervolumen besitzt.

Im Sommer und Herbst 2017 wurden zwei Probenahmekampagnen an 23 bzw. 22 Probenahmestellen durchgeführt. Anhand der analysierten hydrochemischen Parameter konnte eine Klassifizierung der Quellwässer durchgeführt werden. So zeigen nahezu alle Quellwässer eine relativ ähnliche hydrochemische Prägung und können als erdalkalisch-karbonatische Wässer eingestuft werden. Mittels hydrochemischer Modellrechnungen wurden Sättigungsindizes für Kalzit und CO<sub>2</sub>-Partialdruck der Wässer bestimmt, um mit Hilfe dieser Parameter Hinweise auf die relative Höhenlage der Infiltrationsgebiete zu erlangen. Die Ergebnisse zeigen, dass im gesamten Untersuchungsgebiet ein oberflächennaher Abfluss dominiert. Aus den ermittelten Daten lässt sich kein tiefgründiger Abfluss ableiten. Um die Anwendbarkeit der Methodik zur Bestimmung

von mittleren Infiltrationshöhen im vorliegenden geologischen Setting weiter zu überprüfen, wären weitere Probenahmen, insbesondere nach längeren Trockenperioden, notwendig.

**Schlüsselwörter:** Massenbewegung, Quelleinzugsgebiet, CO<sub>2</sub>-Partialdruck

**Keywords:** slope movement, catchment area of springs, CO<sub>2</sub> partial pressure

## Geographischer/Geologischer Überblick

Das untersuchte Gebiet befindet sich im Saalachtal bzw. im Glemmtal (Abbildung 1) im westlichen Teil der nördlichen Grauwackenzone. Das Glemmtal liegt inmitten des Salzburger Pinzgaus in Österreich, etwa 10 km südlich der Stadt Saalfelden. Es erstreckt sich mit einer Länge von ca. 30 km von Osten nach Westen. Im Westen befindet sich der Talschluss, das Tal verläuft Richtung Osten und durchschneidet dabei die Kitzbüheler Alpen. Im Osten mündet das Glemmtal in die Zeller Furche.

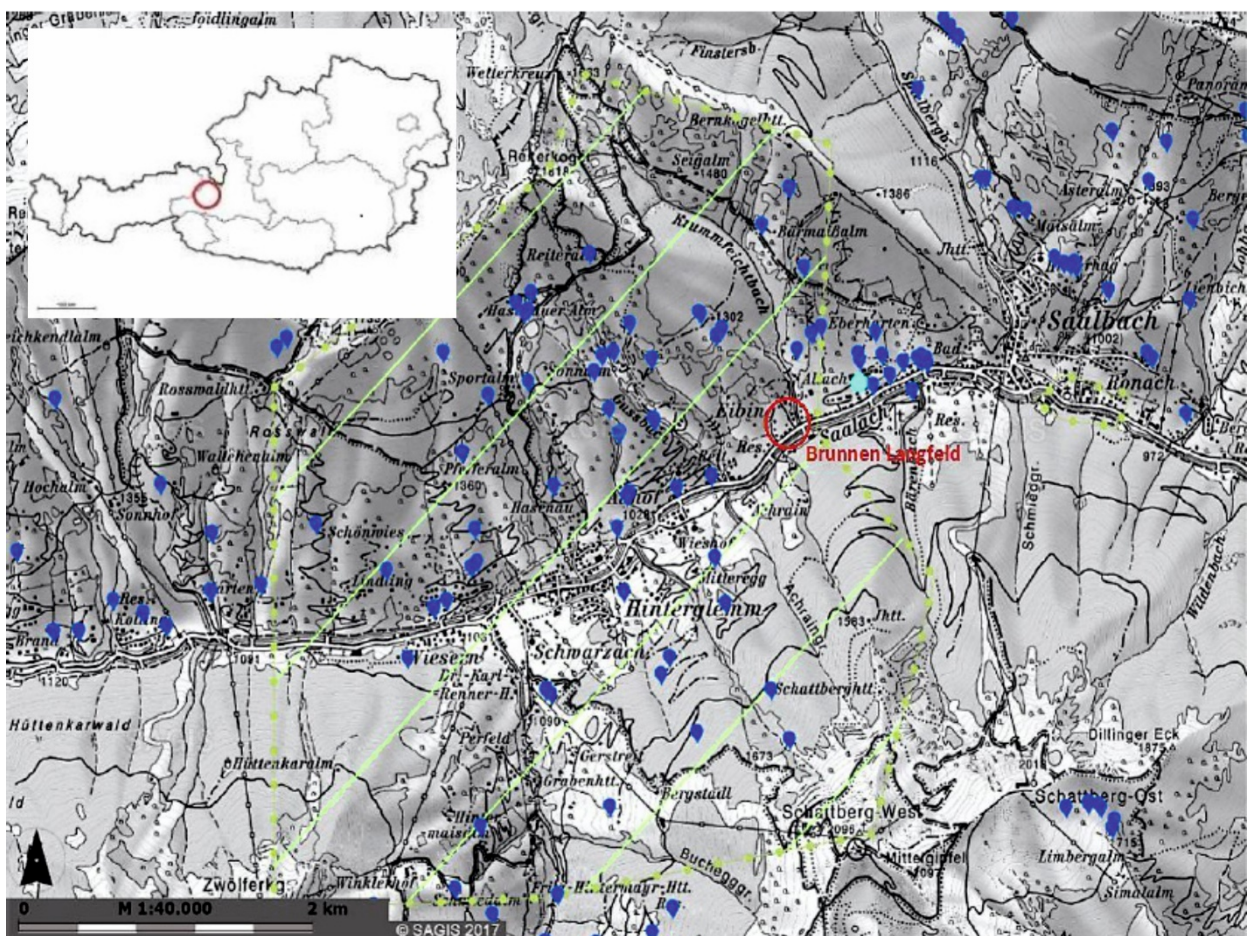


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets (verändert nach SAGIS, Aufruf 18.11.2017). Blaue Symbole repräsentieren Quellen.

Die Untersuchungen beschränken sich auf die orographisch linke Talseite des Schongebietes Brunnen Langfeld (Abbildung 1), die lithologisch von der rechten Talseite unterschieden ist. Den höchsten Punkt des Schongebietes stellt der Reiterkogel mit einer Höhe von 1818 m ü. A. dar. Der Bereich östlich der im Zentrum liegenden Pfefferalm ist überwiegend aus Gesteinen der Löhnersbach-Formation sowie aus Gesteinen der Schattberg-Formation aufgebaut. Die Gesteine der Löhnersbach-Formation sind altpaläozoische, turbiditische Abfolgen und bestehen vorwiegend aus feinkörnigen, dünnbankigen Sandsteinen sowie Ton- und Siltsteinen. Die stratigraphisch

über der Löhnersbach-Formation liegenden Gesteine der Schattberg-Formation sind grobkörnige, dickbankige Sandsteine mit untergeordneten Silt- und Tonsteinlagen. Der Bereich westlich der Pfefferalm ist vorwiegend aus Gesteinen der Metabasit-Gruppe mit gabbroiden Ganggesteinen sowie Metatuffiten aufgebaut (Heinisch et al., 2015). Die gesamte Talflanke unterhalb des Reiterkogels ist durch quartäre Ablagerungen sowie eine Lockergesteinsdecke aus Umlagerungssedimenten bedeckt und stellt eine postglaziale Großmassenbewegung mit Bewegungsraten von wenigen mm pro Jahr dar.

## Methodik

### *Datenakquise*

Zur Beurteilung der geologischen sowie der hydrogeologischen Verhältnisse der Großmassenbewegung im Untersuchungsgebiet wurden geologische, geomorphologische, hydrogeologische und hydrochemische Methoden sowie hydrochemische Modellrechnungen angewendet.

Die Erfassung der geologisch/hydrogeologisch relevanten Punkte erfolgte auf einer topographischen Karte im Maßstab 1:5000 (Quelle: SAGIS – Salzburger Geographisches Informationssystem). Besonderes Augenmerk wurde bei der Kartierung auf geologische Aufschlüsse, Quellen, Vernässungszonen, Oberflächengerinne sowie die Morphologie gelegt. Neben den genannten Punkten erfolgte eine strukturgeologische Aufnahme des Arbeitsgebietes sowie eine Auswertung des digitalen Höhenmodells (Auflösung: 1 m; Quelle: Landesgeologie Salzburg) des Untersuchungsgebietes. An den kartierten hydrogeologischen Punkten wurden, soweit möglich, mit dem Handgerät der Marke MyronL, Typ TPH bzw. mit dem Multiparametermessgerät der Firma WTW, Typ 350i die Vor-Ort-Parameter elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert gemessen sowie die Quellschüttung der erfassten Quellen ermittelt.

Zur Ermittlung der hydrochemischen Charakteristik der Quellwässer sowie deren Infiltrationshöhen wurden im Zuge zweier Probenahmerunden jeweils 22 bzw. 23 Wasserproben genommen. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Probenahmepunkte im Projektgebiet. Die Auswahl der Probenahmepunkte sollte die Erfassung des gesamten Hanges gewährleisten. Die beprobten Quellwässer wurden durch das Landeslabor Salzburg auf die Parameter des Parameterblockes I sowie die Metalle des Parameterblockes II gemäß GZÜV (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung) analysiert. Die Analytik der Proben erfolgte mit dem Analysenverfahren FIMS-AAS für Hg, ICP-OES für Mn und Fe, ICP-MS für Al, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, U und IC für die Hauptanionen und -kationen sowie Total Carbon Analyser für DOC. Die Analyse der Alkalinität erfolgte mittels Titration.



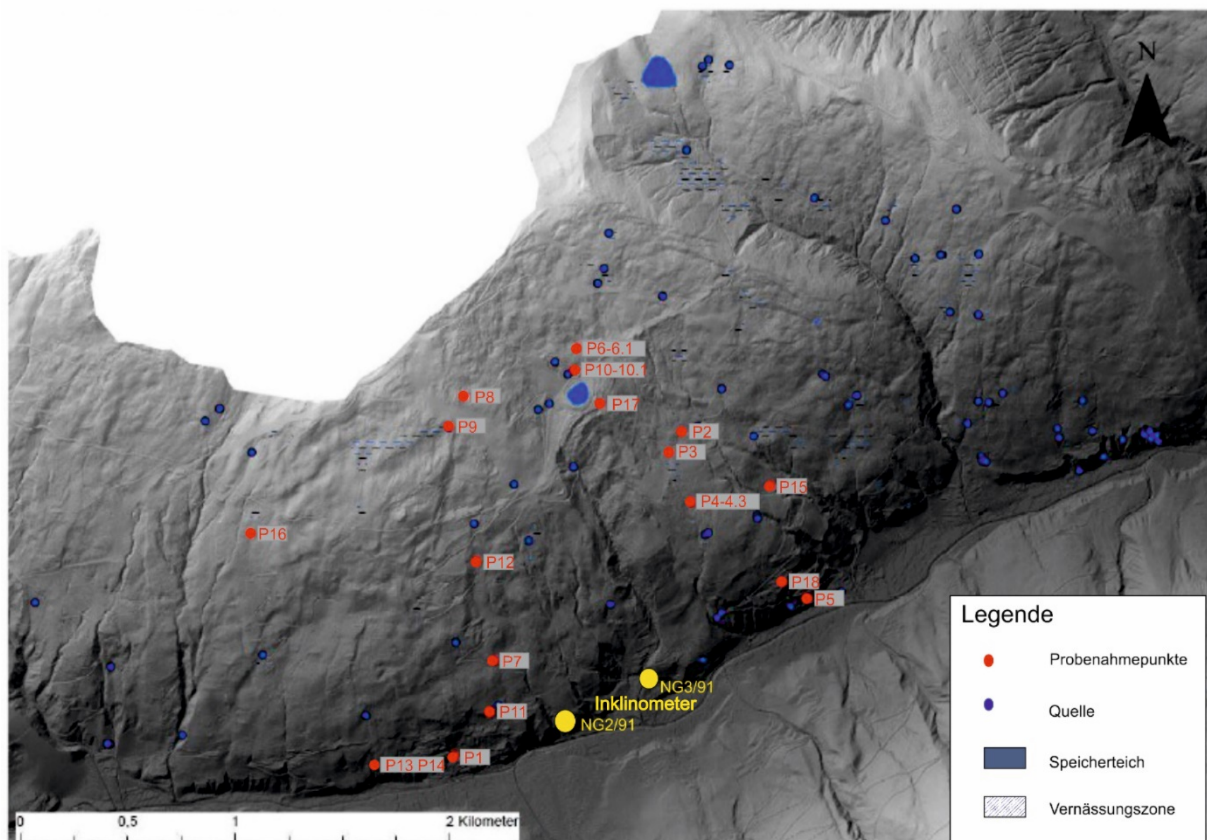


Abbildung 2: Lage der Probenahmepunkte und der Inklinometermesssonden (digitales Höhenmodell, Landesgeologie Salzburg).

Mit eingeflossen in diese Arbeit sind die Daten der Inklinometermesssonden NG2/91 und NG3/91 (Abbildung 2), die im Zuge des Bauvorhabens „Tunnel Umfahrung Hinterglemm“ (Quelle: Landesgeologie Salzburg) errichtet wurden.

### Dateninterpretation

Ziel der Analyse der Wasserinhaltsstoffe war es, anhand der in den Quellwässern gelösten Stoffe eine Charakterisierung und Klassifizierung der Quellen nach Einzugsgebieten und ihrer Zirkulation im Grundwasserkörper durchzuführen.

Niederschlagswässer werden beim Durchfließen eines Aquifers mit einer charakteristischen Menge und Zusammensetzung an gelösten Stoffen beaufschlagt. Die Menge an gelösten Stoffen hängt von mehreren Faktoren ab, eine maßgebliche Rolle nimmt dabei die Menge an gelöstem  $\text{CO}_2$  in den Quellwässern ein. Je mehr  $\text{CO}_2$  in den Wässern gelöst ist, desto niedriger wird der pH-Wert und umso größer wird das Lösungspotential bestimmter im Aquifer verfügbaren Minerale. In der Regel besitzen Grundwässer, die mit der Atmosphäre im Gleichgewicht stehen, einen  $\text{CO}_2$ -Gehalt der in etwa der Atmosphärenkonzentration entspricht (400 ppm – 0,04 Vol%) (Benischke et al., 1996). Je nach Infiltrationsgebiet/Höhenlage, Bodenaufbau und Vegetation können die Wässer beim Durchlaufen der ungesättigten Bodenzone mit einer wesentlich höheren Konzentration an  $\text{CO}_2$  beaufschlagt werden (Hilberg, 2011). Die erhöhte Menge an gelöstem  $\text{CO}_2$  führt zu einem erhöhten Lösungspotential im Aquifer. Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht stellt die Basis für die hydrochemischen Modellrechnungen dar.

Aus dem Zusammenhang zwischen  $\text{CO}_2$ -Partialdruck in der ungesättigten Zone und der jeweiligen Infiltrationshöhe lassen sich unter Berücksichtigung der im Aquifer stattfindenden Lösungsvorgänge die Infiltrationshöhen von Quelleinzugsgebieten rekonstruieren (Hilberg et al., 2013).

Die hydrochemische Modellierung wurde mit dem Programm PHREEQC (Version 3; Parkhurst & Appelo, 1999) durchgeführt. Dieses Programm erlaubt die Simulation von hydrochemischen Prozessen in aquatischen Lösungen. Die Input-Parameter zur hydrochemischen Modellrechnung sind neben den Vor-Ort-Parametern pH-Wert und Temperatur die Anionen- und Kationenkonzentrationen der Wasseranalysen. Aufgrund der relativ niedrigen elektrischen Leitfähigkeiten bzw. der geringen Mineralisation der Quellwässer konnten die Berechnungen auf Basis der Ionendissoziationstheorie (Hückel, 1924) durchgeführt werden.

Neben der Menge an gelöstem  $\text{CO}_2$  wurden die Stoffparameter der einzelnen Quellen miteinander verglichen. Anhand der Vergleiche sollten vor allem oberflächennahe Abflusssysteme von einem tiefliegenden Abfluss unterschieden werden. Die Bearbeitung der Analysen erfolgte zum einen mit dem Programm AquaChem der Firma Waterloo HYDROGEOLOGIC (Version 2014.2), zum anderen mittels Microsoft Excel (Version 2016).

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate wurde eine Wasserbilanz erstellt. Basis für die Wasserbilanz sind die Ergebnisse von Trockenwetter-Abflussmessungen an den Oberflächenabflüssen des Einzugsgebiets sowie die Parameter Jahresniederschlag und durchschnittliche jährliche Verdunstungsrate. Der Basisabfluss wurde durch Abflussmessungen nach einer Trockenperiode mittels Kübelmessung bzw. mittels Salzverdünnungsmethode mit dem TQ Tracer-Messsystem der Firma Sommer durchgeführt. Die Werte für die jährliche durchschnittliche Verdunstungsrate beziehen sich auf den Betrachtungszeitraum zwischen 1961 und 1990 und wurden dem Klimaatlas von Salzburg (Falkensteiner, 2000) entnommen. Im Raum Saalbach-Hinterglemm stehen keine Verdunstungsmessstellen zur Verfügung. Die Verdunstungsraten sind deshalb interpolierte Werte aus den nächstgelegenen Messstellen und sind somit nur als Richtwerte zu betrachten. Die Werte des jährlichen durchschnittlichen Niederschlags beziehen sich auf das Jahr 2016 an der Messstelle Saalbach (Stationsnummer: 12302; 975 m ü. A.) und wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt.

## Ergebnisse

### *Geologische/Hydrogeologische Situation*

Aufgrund der geologischen Untergrundverhältnisse lässt sich das Untersuchungsgebiet in einen östlichen und einen westlichen Bereich unterteilen. Die Trennung zwischen dem östlichen und westlichen Gebiet bildet eine ca. N-S verlaufende Linie auf Höhe der im Zentrum liegenden Pfefferalm (Abbildung 3).

Der westliche Bereich ist durch Gesteine der Metabasit-Gruppe aufgebaut. Diese Gesteine zeigen eine geringere Verwitterungsanfälligkeit und eine höhere Stabilität im Vergleich zu den im östlichen Bereich dominierenden Gesteinen. Die Verwitterung und Auflockerung des Untergrunds durch die vorliegende Massenbewegung führen zu vergleichsweise guten Durchlässigkeitswerten, was eine geringe Quelldichte zur Folge hat. Es ist anzunehmen, dass die überwiegende Menge des

unterirdischen Abflusses direkt dem Talaquifer zufließt und dadurch nicht an Quellen zu Tage tritt.

Der östliche Bereich ist dominiert von Gesteinen der Löhnersbach- und Schattberg-Formation. Es handelt sich hierbei vorwiegend um Ton/Siltsteine und Sandsteine. Gegenüber den Gesteinen der Metabasit-Gruppe sind diese stark verwitterungsanfällig und bilden wenig bis gering durchlässige Hangumlagerungssedimente aus. Die hydrogeologische Situation zeigt im östlichen Bereich ein Bild unregelmäßig verteilter, kleinerer Quellaustritte. Die Entwässerung des aufgelockerten, kammnahen Bereichs, erfolgt durch Quellen zwischen 1650 und 1750 m ü. A. In den Höhenlagen darunter sind mehrere Quellaustritte und Vernässungszonen über den gesamten Hangbereich bis ins Tal verteilt. Die diffuse Verteilung der Quellaustritte ist auf die unterschiedliche Durchlässigkeit des Lockermaterials sowie auf tiefgründige Auflockerungsbereiche, die in Zusammenhang mit der Großmassenbewegung stehen, zurückzuführen. So zeigen, aufgrund ihres hohen Matrixanteiles, die Moränenablagerungen sehr geringe Durchlässigkeitswerte. Die Hangumlagerungssedimente wiederum sind überwiegend gemischtkörnig und weisen eine mäßige bis geringe Durchlässigkeit auf. An die wenig bis gering durchlässigen Bereiche sind zum Teil grobkorndominierte Bereiche gebunden, somit können sich Hangwasserzüge ausbilden. Dadurch können die Fließwege der Wässer auch quer zum Hang erfolgen und die Anströmrichtung der Quellen stark variieren. Unterlagert werden die Lockergesteine in der Regel durch wasserundurchlässige Festgesteine.

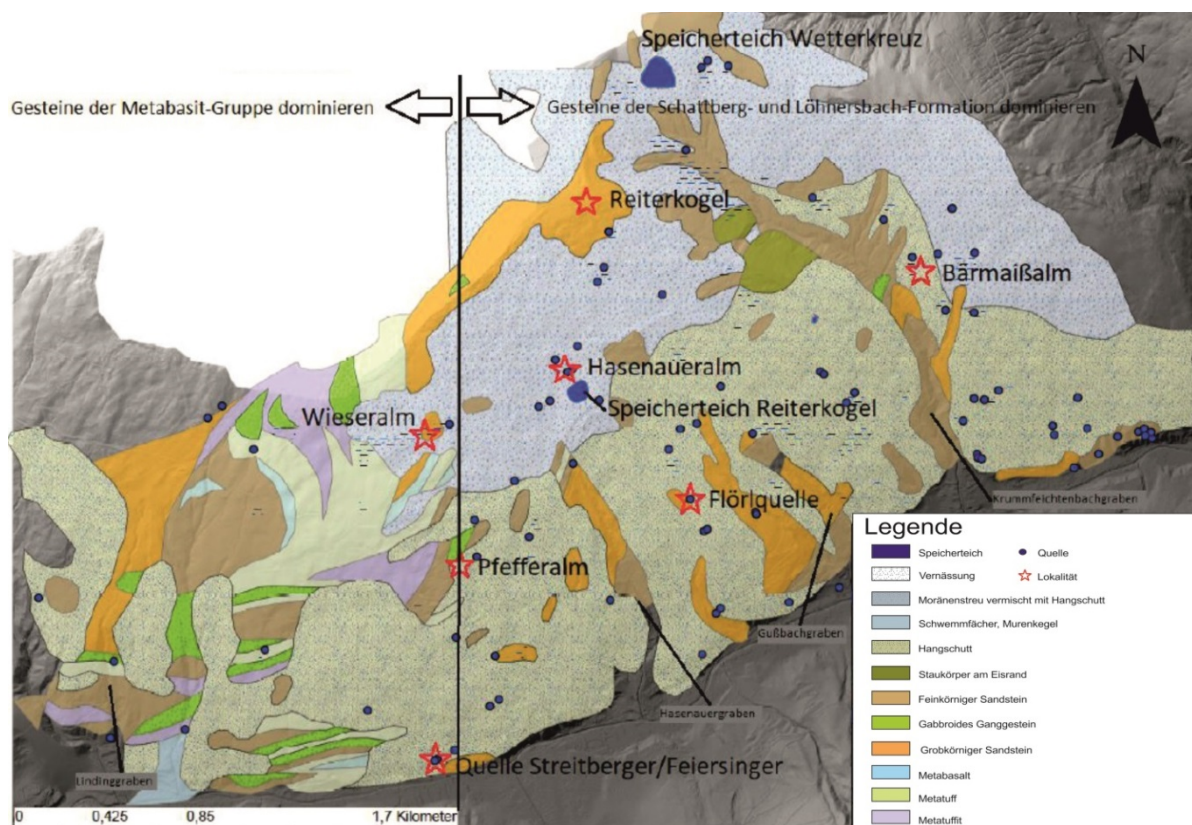


Abbildung 3: Geologische/Hydrogeologische Karte Reiterkogel im Maßstab 1:10.000 (digitales Höhenmodell, Landesgeologie Salzburg).



Die Quellschüttungen der beiden Bereiche wurden im Zuge der Probenahmerunden ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Schüttungen nur in geringem Maße unterscheiden. Die wenigen Quellaustritte im westlichen Bereich zeigen Schüttungen von 0,37-2,42 l/s, die Quellen im östlichen Bereich Schüttungen von 0,22-3,3 l/s. Die einzige Ausnahme stellt die Quelle P3 südöstlich der Hasenaueralm dar, diese zeigte bei der Beprobung Ende Juli eine Schüttung von 5,3 l/s und bei der Beprobung Ende September eine Schüttung von 4,07 l/s.

Die geomorphologische Kartierung untermauert die bereits beschriebenen Erkenntnisse. So zeigt der westliche Bereich (Abbildung 4), aufgrund der wesentlich stabileren Gesteine der Metabasit-Gruppe, nur wenige geomorphologische Marker, die für eine Großmassenbewegung charakteristisch sind. Es ist eine leicht kuptierte Geländeoberfläche zu beobachten und der Hangfuß zeigt ein übersteiltes Relief. Direkt westlich der Pfefferalm ist ein etwa 1000 m<sup>2</sup> großes Areal mit grobem Blockwerk gelegen. Im zentralen Bereich, auf einer Höhe von ca. 1380 m ü. A., zeigt sich eine nicht aktive Zerrspalte.

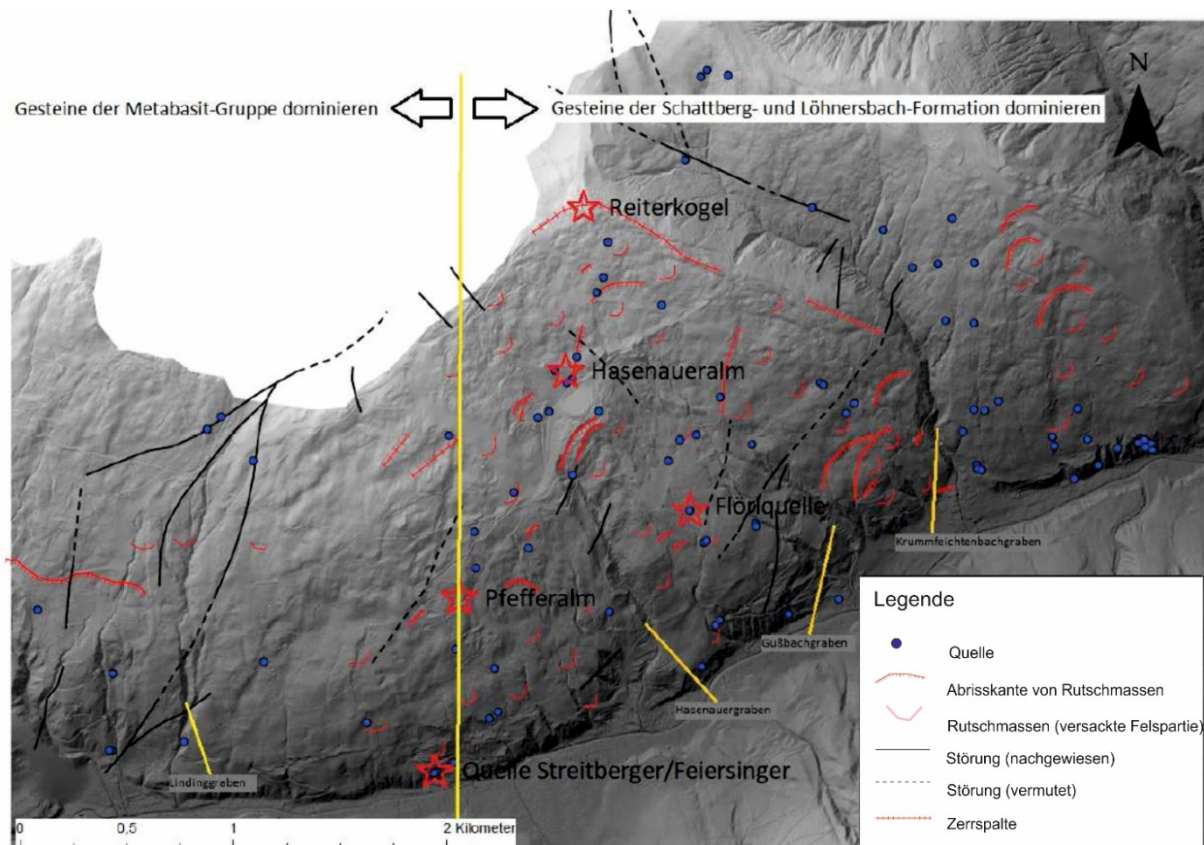


Abbildung 4: Strukturgeomorphologische/Geomorphologische Karte Reiterkogel im Maßstab 1:10.000 (digitales Höhenmodell, Landesgeologie Salzburg). Rote Sterne repräsentieren Untersuchungslokalitäten.

Im übrigen westlich gelegenen Gelände können einige wenige Festgesteinsschollen vermutet werden. Der Hauptoberflächenabfluss erfolgt über den stark in die Topographie eingetieften Lindinggraben an der westlichen Grenze des Untersuchungsgebietes.

Der Bereich östlich der Pfefferalm unterscheidet sich geomorphologisch stark vom westlichen Bereich. So zeigt dieser Bereich zahlreiche geomorphologische Anzeichen, die auf eine Großmassenbewegung hindeuten. Neben einem stark übersteilten Relief im Hangfußbereich, zeigt sich eine ausgeprägte, in Richtung S-SE verlaufende Zerrspalte im Kammbereich.

Über den gesamten Hangbereich sind zahlreiche abgesackte Felspartien sowie Abrisskanten zu erkennen. Im zentralen Bereich, zwischen Sport- und Reiteralm, verläuft eine ehemalige mehrfach versetzte Schmelzwasserrinne (Pirkel, 1989). Unterhalb dieser Schmelzwasserrinne bzw. unterhalb des Speicherteiches Reiterkogel, im Bereich Hasenauer Alm, setzt eine markante sekundäre Massenbewegung an. In diesem Bereich ist ein blockartiges und stufenweises Absacken des Hanges zu beobachten. Die Massenbewegung verläuft parallel zum Spielberggraben in NNW-SSE Richtung. Neben der Massenbewegung im Spielberggraben sind im Gußbach-, Hasenauer- und Krummfeichtenbachgraben hohe Anrisse und Geschiebeherde zu beobachten.

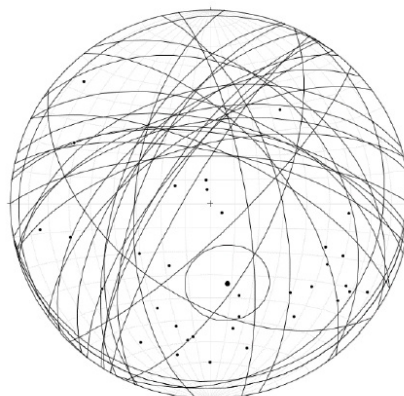
Die Oberflächenentwässerung erfolgt hauptsächlich über vier große Gräben, den Krummfeichtenbach, den Gußbach, den Lindingbach und den Hasenauergraben, welche sich allesamt stark in den Hang eingetieft haben. In allen großen Gräben sind Murenbrecher verbaut, diese zeugen von einer tiefgreifenden Auflockerung im Einzugsgebiet.

Der Großteil des Hanges ist mit Hangschutt, Hangumlagerungssedimenten sowie Moränenstreu bedeckt. Die Mächtigkeit der Lockergesteinsdecke variiert stark. Im Zuge von Quellfassungsarbeiten durch die Fa. Moser / Jaritz Ziviltechniker (Jaritz et al., 2014) im Jahr 2014 wurden Mächtigkeiten von bis zu 3 m ermittelt.

Die Quellen Streitberger/Feiersinger (P13, P14) liefern einen Hinweis auf einen tiefer liegenden Abfluss. Die beiden Quellaustritte befinden sich am Talfuß (Abbildung 2) im zentralen Bereich der Schutzzone Brunnen Langfeld auf einer Höhe von 1091 m ü. A. Laut mündlicher Mitteilung der Landesgeologie Salzburg (Fegerl, 2017) wurden die beiden Quellen im Zuge von umliegenden Bauarbeiten weder in der Trübung noch in der Schüttung oder in anderen Parametern beeinflusst.

### *Strukturgeologie*

Im Zuge der Geländeaufnahme wurden die Schichtflächen der wenigen zugänglichen, aufgeschlossenen Festgesteine eingemessen. Die gemessenen Schichtflächen wurden mit dem Programm Stereonet in einem Plot (Abbildung 5) dargestellt. Die Ergebnisse bestätigen die Beobachtungen aus dem Gelände und lassen aufgrund der starken Zersetzung der Festgesteine im Untersuchungsgebiet keine eindeutige Aussage zu den vorliegenden Lagerungsverhältnissen zu.



----- Fisher Mean Vector | 28.12.2017 at 13:55 -----  
Data set: Untitled Lines  

	N	Trend	Plunge	a95	a99	kappa	mean length
all	35	168,1	55,4	16,5	20,8	3,1	0,6908

Abbildung 5: Plot der gemessenen Schichtflächen.



## Hydrochemie

Die Klassifizierung der Quellwässer erfolgte nach Furtak & Langguth (1965) auf Basis des Piper-Diagramms (Abbildung 6). Die Wässer sind dabei überwiegend als erdalkalisch-karbonatische Wässer einzustufen. Eine weitere Untergliederung erfolgt in überwiegend Ca-Karbonat, überwiegend Ca-Mg-Karbonat und überwiegend Dolomit. Die Probe P5 hingegen wird als erdalkalisch-hydrogenkarbonatisch-sulfatisch eingestuft, die Probe P18 als erdalkalisch mit höherem Alkaligehalt überwiegend hydrogenkarbonatisch.

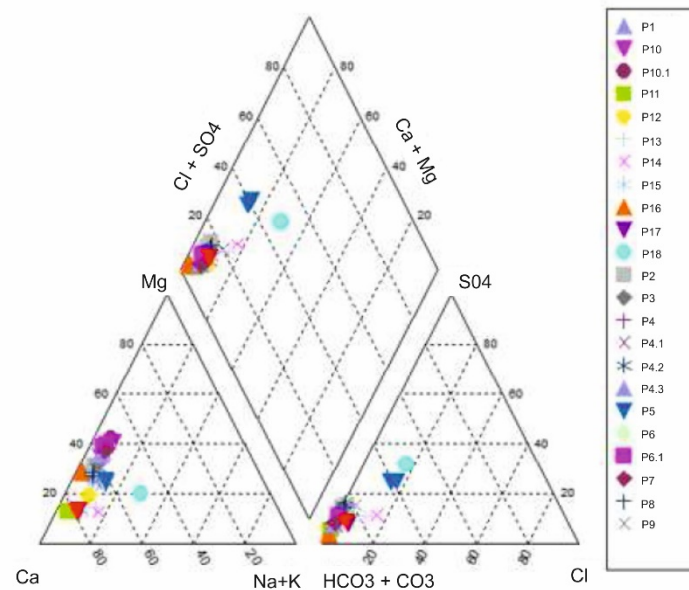


Abbildung 6: Piper Diagramm zur Zuordnung der einzelnen hydrochemischen Zusammensetzungen der beprobten Quellaustritte.

Die Auswertung der Diagramme nach Schoeller, 1962 (Abbildung 7) zeigt bei nahezu allen Proben ähnliche Ionenkonzentrationen in den Hauptparametern. Bei den Proben P5 und P18 zeigen die Parameter Natrium, Chlorid und Sulfat eine leichte Erhöhung. Die Proben P13, P17 und P14 zeigen in den Parameterwerten für Chlor und Natrium eine leichte Erhöhung.

Die Proben P5, P13, P14, P17 und P18 (Lage siehe Abbildung 2) befinden sich allesamt in bewohntem Gebiet. Daher ist es naheliegend, dass die minimalen Werterhöhungen in den genannten Parametern auf Einträge durch Regenwasserversickerungen oder auf Baumaßnahmen zurückzuführen sind (Langguth & Voigt, 2004).

Generell entspricht die Mineralisation der Quellwässer den erwartbaren Werten für das vorliegende geologische Setting bei eher geringen Zirkulationstiefen und Verweilzeiten.

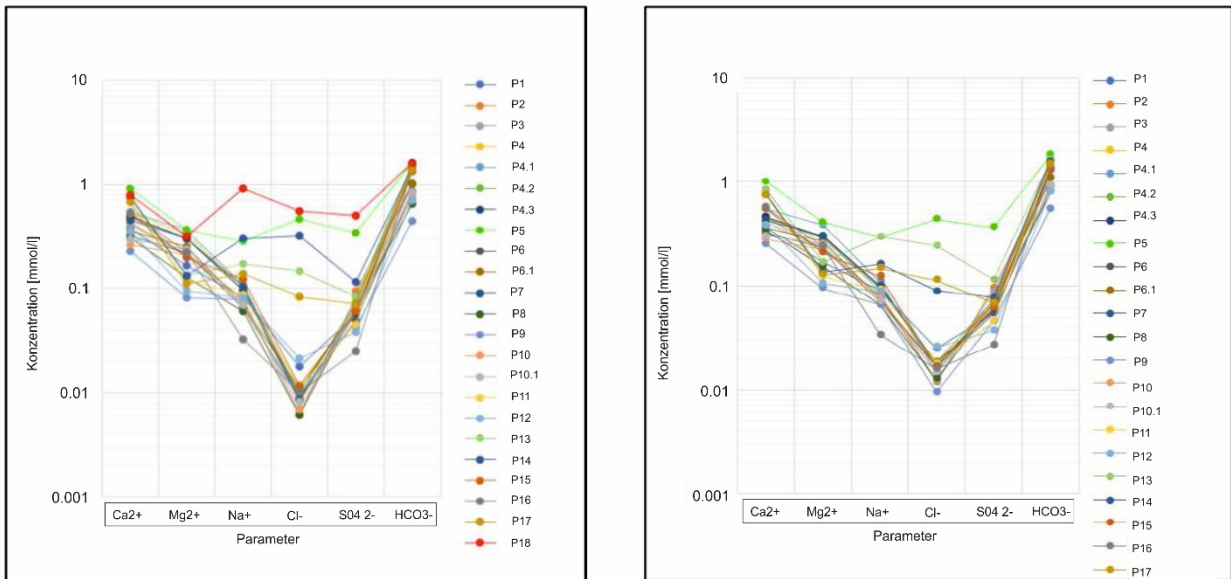


Abbildung 7: Auswertung der hydrochemischen Daten der Probenahme 1 (Bild links) und Probenahme 2 (Bild rechts).

Abbildung 8 stellt den Vergleich der pH-Werte zur Höhenlage dar. Das Diagramm zeigt, dass sich bei der ersten Probenahme (durchgeführt Ende Juli) die pH-Werte in den kammnahen Höhenlagen im leicht sauren Bereich befinden. Je tiefer die Höhenlage der Quellaustritte wird, umso mehr bewegen sich die pH-Werte zu neutralen bis leicht alkalischen Verhältnissen. Hingegen zeigen die pH-Werte der Probenahme 2 (gemessen Ende September) in kammnahen Höhenlagen einige Ausreißer im alkalischen Bereich, die übrigen pH-Werte verhalten sich ähnlich zu den pH-Werten der Probenahme 1.

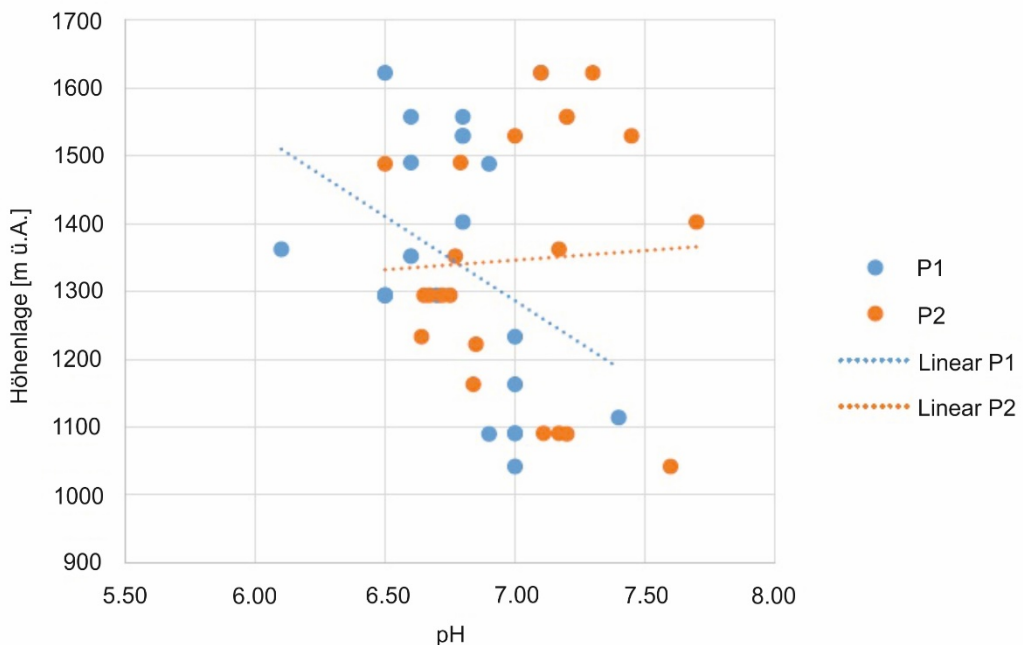


Abbildung 8: Vergleichendes Diagramm pH-Werte und Höhenlage der Quellaustritte.

Die breite Streuung der pH-Werte ist zurückzuführen auf die wechselnde meteorologische Situation (herabsetzen des pH-Wertes durch Vermischung mit Regenwasser) und auf den wechselnden Aufbau des Untergrundes. Die leicht alkalischen pH-Wert Ausreißer der zweiten Probenahmerunde im kammnahen Bereich können möglicherweise auf den Stickstoffeintrag und den damit verbundenen leichten Anstieg der Nitrat Werte, im Zuge von Düngung der Weideflächen, zurückgeführt werden.

### *Hydrochemische Modellrechnung*

Ziel war es, mittels der Parameter  $\text{CO}_2$ -Partialdruck und dem Sättigungsindex für Kalzit die relativen Infiltrationshöhen der einzelnen Quellaustritte zu ermitteln und einen möglichen tiefliegenden Abfluss zu erkennen.

Im Zuge der hydrochemischen Modellrechnung wurden mittels des Programmes PhreeqC der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck sowie Sättigungsindex für Kalzit der einzelnen Quellwässer modelliert. Des Weiteren sind in die Berechnungen die Feldparameter Temperatur und der pH-Wert mit eingeflossen.

Die Verhältnisse zwischen dem  $\text{CO}_2$ -Partialdruck und dem Kalzit-Sättigungsindex wurden in einem Diagramm gegenübergestellt (Abbildung 9). Zu den Ergebnissen der beprobten Quellen wurde zum Vergleich eine externe Probenanalyse der Quelle Flörl modelliert. Die modellierten Ergebnisse zeigen einen  $\text{CO}_2$ -Partialdruck, der mit ca. 350 ppm dem Partialdruck der Atmosphäre entspricht. Leicht erhöhte  $\text{CO}_2$ -Partialdrücke zeigen sich vor allem in den Quellaustritten in mittlerer Höhenlage. Alle Wässer zeigen eine Untersättigung an Kalzit. Es ist ein leichter Trend der Erhöhung der Kalzit-Sättigungsindizes von höheren Höhenlagen hin zum Talgrund zu erkennen.

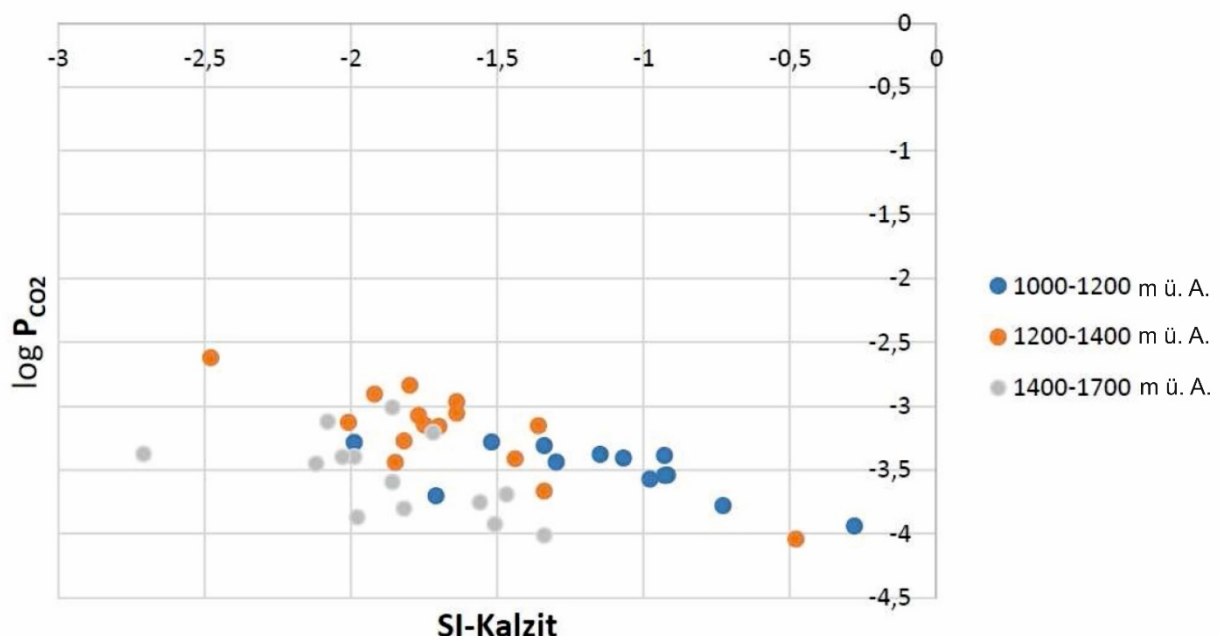


Abbildung 9: Verhältnis zwischen Sättigungsindex Kalzit und  $\log P_{\text{CO}_2}$ .

### *Wasserbilanz*

Ziel der Wasserbilanzierung war es, einen Richtwert zur Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Die nachfolgenden Ergebnisse können nur als Anhaltspunkt betrachtet werden, da die Messungen als einmalige Stichproben durchgeführt wurden.

Die Grundwasserneubildungsrate wurde auf Basis der hydrologischen Grundgleichung berechnet. In die Gleichung sind der durchschnittliche Niederschlag des Jahres 2016, eine abgeschätzte Verdunstungsrate sowie die gemessenen Abflussmengen (Trockenwetterabfluss vom 19.10.2017) eingeflossen. Der Niederschlag des Jahres 2016 betrug 1304 mm und die durchschnittliche jährliche Verdunstungsrate lag laut Falkensteiner (2000) im Betrachtungszeitraum von 1961-1990 zwischen 400 und 550 mm/a. Für die Verdunstungsrate wurde ein Mittelwert von 475 mm/a angenommen.

Die jährliche Grundwasserneubildungsrate entspricht dem Basisabfluss im Untersuchungsgebiet. Durch Einsetzen der Jahresniederschlagsrate von 2016, der durchschnittlichen jährlichen Verdunstungsrate und der gemessenen Abflussmengen (Basisabfluss) in die hydrologische Grundgleichung erhält man eine Grundwasserneubildungsrate von ca. 600 mm/a.

### **Interpretation und Diskussion**

Die Massenbewegung am Reiterkogel kann als eine komplexe Massenbewegung eingestuft werden. Dabei kann die primäre Massenbewegung als tiefgreifender sackender Talzuschub interpretiert werden. Diese Interpretation stützt sich auf die im Gelände beobachteten Ergebnisse sowie auf die Auswertung der Inklinometerdaten (Quelle: Landesgeologie Salzburg).

Die heute noch aktive Massenbewegung wurde bereits während der letzten Eiszeit angelegt. So wurde der Felsuntergrund durch die Auflast der Eismassen tiefgründig deformiert. Durch das Abschmelzen der Eismassen nach der letzten Eiszeit wurde dem übersteilten Hang das Widerlager entfernt und der gesamte Hang setzte sich langsam in Bewegung. Die gravitative Abwärtsbewegung der Hangmassen führte zu Zerrspalten im Kammbereich und zu einem stark aufgewölbten/übersteilten Relief im Hangfußbereich. Die vorhandenen Inklinometerdaten bestätigen die Annahme des sackenden Talzuschubes. So zeigen die Auswertungen, dass nahe dem Talgrund bis in eine Tiefe von 70 m keine Bewegungsbahnen ausgebildet sind. Laut Laatsch & Grottenthaler (1972) zeigen sackende Talzuschübe langsame Abscherungen an listrischen Bewegungsbahnen im Oberhang und bruchloses plastisches Verhalten im Unterhang.

Die Ergebnisse der Kartierung und der Wasserbilanz zeigen, dass die in der Regel gering bis nicht durchlässigen Fest- und Lockergesteine des Untersuchungsgebietes aufgelockert sind und sich dadurch Fließwege für die Grundwässer gebildet haben. Die Beobachtungen sowie die tiefgreifende Auflockerung lassen einen tief liegenden Abfluss vermuten, der das oberflächennahe Abflussregime unterströmt. Zu ähnlichen Ergebnissen führte die Auswertung hydrologischer Studien zur Hochwasserentwicklung im südlich benachbarten Löhnersbachtal (Tilch et al., 2006; Zillgens et al., 2007).

Die Ergebnisse der Auswertungen der CO<sub>2</sub>-Partialdruck/Kalzit-Sättigungsindex-Verhältnisse zeigt, dass die infiltrierten Wässer mit der Atmosphäre in Kontakt stehen und nur mit einer geringen Menge an CO<sub>2</sub> durch Bioaktivität in der ungesättigten Bodenzone beaufschlagt werden. Es ist ein



leichter Trend zu erhöhten  $\text{CO}_2$ -Partialdrücken in den tieferliegenden Wässern zu erkennen. Dies kann auf die erhöhte biogene Aktivität in tieferen Höhenlagen zurückgeführt werden. Der Sättigungsindex für Kalzit spiegelt die geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes gut wider. Der Grundwasserleiter stellt in diesem Setting nur ein geringes Dargebot an Karbonaten dar. Die Wässer zeigen allesamt eine Untersättigung an Kalzit. Im Diagramm in Abbildung 9 ist ein leichter Trend der Erhöhung der Kalzit-Sättigungsindizes von höheren Höhenlagen hin zum Talgrund zu erkennen. Dies kann auf die längeren Fließwege und zum Teil auf die leicht erhöhten  $\text{CO}_2$ -Partialdrücke zurückgeführt werden. Der Vergleich zwischen den modellierten Parametern Kalzit-Sättigungsindex und dem  $\text{CO}_2$ -Partialdruck zeigt, dass im vorliegenden Untersuchungsgebiet der oberflächennahe Abfluss dominierend sein muss. Aus der Betrachtung der  $\text{CO}_2$ -Partialdrücke der Quellwässer kann kein Rückschluss auf einen tieferliegenden Abfluss gezogen werden.

Die Geländebeobachtungen und die Ergebnisse der Analysen führen zu dem in Abbildung 10 dargestellten konzeptionellen hydrogeologischen Modell. So kann das Untersuchungsgebiet durch ein N-S verlaufendes Profil durch die im Zentrum liegende Pfefferalm untergliedert werden. Das Abflusssystem wird untergliedert in einen dominierenden oberflächennahen Abfluss und in ein postuliertes tieferes Abflusssystem. Der Bereich westlich der Pfefferalm entwässert im Wesentlichen direkt in den Talgrundwasserkörper, hingegen tritt östlich der Pfefferalm ein wesentlicher Anteil der Wässer an Quellen zu Tage und fließt über Oberflächenabflusssysteme direkt dem Hauptvorfluter Saalach zu.

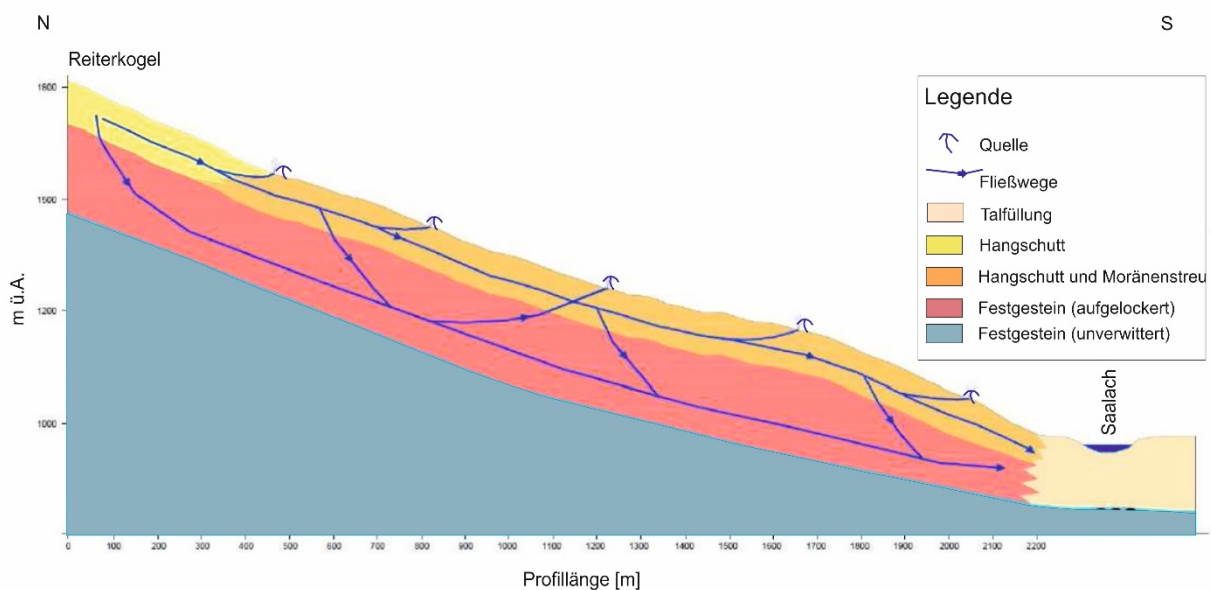


Abbildung 10: Konzeptionelles hydrogeologisches Modell.

## Schlussfolgerung und Ausblick

Anhand der Auswertungen der Ergebnisse der hydrogeologischen und geologischen Geländebeobachtungen, der Auswertungen des digitalen Höhenmodells, der Inklinometerdaten, der hydrologischen Daten in Kombination mit den hydrochemischen Analysen und der Auswertungen von  $\text{CO}_2$ -Partialdruck/Kalzit-Sättigungsindex-Verhältnissen, konnte ein erstes konzeptionelles Modell über Speichereigenschaften und Fließwege innerhalb der untersuchten

Großmassenbewegung erstellt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass im gesamten Untersuchungsgebiet ein oberflächennaher Abfluss dominiert. Die Auswertung der Inklinometerdaten hingegen zeigte im zentralen Hangfußbereich eine Auflockerung des Untergrundes bis in eine Tiefe von 70 m. Die tiefreichende Auflockerung lässt einen tiefliegenden Abfluss vermuten, der sich durch die vorliegenden hydrochemischen Daten und Auswertungen jedoch nicht bestätigen lässt. Die Auswertung der Wasserbilanz zeigt mit 600 mm/a eine Grundwasserneubildungsrate, die für die im Untersuchungsgebiet vorliegenden Lithologien relativ hoch ist, was wiederum für eine tiefgreifende Auflockerung und damit gute Durchlässigkeit und großes Speichervolumen der Massenbewegung spricht.

Durch den oberflächennah dominierten Abfluss bietet die geringmächtige Sedimentüberlagerung nur einen geringen Schutz gegenüber Schadstoffeinträgen. Auf Basis der hier gewonnenen Ergebnisse kann eine weitere Eingrenzung des Schongebietes Brunnen Langfeld daher nicht empfohlen werden.

Die Anwendbarkeit der Methodik zur Bestimmung der Infiltrationshöhen von Quellen in diesem speziellen geologischen Setting konnte nur teilweise bestätigt werden. Zur weiteren Überprüfung wären weitere Probenahmen, insbesondere nach einer längeren Trockenperiode, sinnvoll. Dadurch könnte ein möglicher tiefliegender Abfluss besser abgebildet werden. Neben weiteren Untersuchungen durch die beschriebene Methode wäre eine Langzeitanalyse mit den Umweltisotopen Deuterium und Sauerstoff-18 sinnvoll. Dadurch könnte zum einen ein möglicher tiefliegender Abfluss identifiziert werden, zum anderen könnten die Ergebnisse mit den Daten aus der Methodik CO<sub>2</sub>-Partialdruck/Kalzit- Sättigungsindex korreliert werden.

## Danksagung

Wir danken all jenen, die bei der Erstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Mag. Ludwig Fegerl für die fachliche Betreuung sowie zur Kontaktaufnahme zur Gemeinde Saalbach-Hinterglemm.

Ermöglicht wurde die Erstellung dieser Arbeit erst durch das Einverständnis der Gemeinde Saalbach-Hinterglemm, wir möchten uns deshalb für die Zustimmung zu dieser Arbeit sowie für die Unterstützung durch die örtlichen Wassermeister und die Möglichkeit zur Nächtigung vor Ort bedanken.

## Referenzen

Benischke R., Harum, T., Leditzky, H. (1996): Berechnung von Karbonat-Kohlensäure- Gleichgewichten. Ein Hilfsmittel zur Charakterisierung der Hydrodynamik und Herkunft von Karstwässern.- Mitt. Österr. Geol. Ges., 87, 37-46.

Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. (1999): User Guide to PHREEQC (Version2) – a computer program for speciation, batch reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical calculations.- Water-Resources Investigations Report, 99-4259.

Falkensteiner A. (2000): Klimaatlas von Salzburg.– Umweltschutz, Land Salzburg, Abt. 16.

Furtak H., Langguth H.R. (1965): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen.- Mem. IAH-Congress, 7, 89–96.

- Heinisch H., Pestal G. Reitner J.M. (2015): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Erläuterungen zu Blatt 122 Kitzbühel.- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Hilberg S. (2011): Anwendung hydrochemischer Modellrechnungen zur Bestimmung von Infiltrationsgebieten – Fallbeispiel Reißbeck (Oberkärnten, Österreich).- Grundwasser, 16 (1), 25– 36, DOI: 10.1007/s00767-010-0158-1.
- Hilberg S., Brandstätter J., Glück D. (2013): CO<sub>2</sub> partial pressure and calcite saturation in springs - useful data for identifying infiltration areas in mountainous environments.- Environmental Science Processes & Impacts, 15 (4), 823–832, DOI: 10.1039/c3em30973h.
- Hückel E. (1924): Zur Theorie der Elektrolyte.- Ergebnisse der Exakten Naturwissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 199–276.
- Jaritz W., Zwack T., Staunig R. (2014): Flörlquellen, GN 38; KG 57314 Saalbach.
- Schutzgebietsvorschlag WR Einreichprojekt - Neueinreichung. -Unveröff. Bericht.
- Laatsch W., Grottenthaler W. (1972): Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation. – Forstw. Cbl., 91 (1), S. 309–339. DOI: 10.1007/BF02741005.
- Langguth H.R., Voigt R. (2004): Hydrogeologische Methoden.-Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pirkl H. (1989): Jahresbericht 1. Phase (1988/89). Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen Hanginstabilitäten und -labilitäten, Hangwasserhaushalt und Massenbewegungen in Teilen des Zentralalpenkristallins.– Unveröff. Bericht, Wien.
- Schoeller H (1962): Les Eaux Souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources.- Paris: Masson et Cie, Editeur, 642 p.
- Tilch N., Uhlenbrook S., Didszun J., Wenninger J., Kirnbauer R., Zillgens B., Leibundgut C. (2006): Hydrologische Prozessforschung zur Hochwasserentstehung im Löhnersbacheinzugsgebiet (Kitzbüheler Alpen, Österreich).– Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 50 (2), 67-78.
- Zillgens B., Merz B., Kirnbauer R., Tilch N. (2007): Analysis of the runoff response of an alpine catchment at different scales.- Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1441-1454.