

Konzeptionelles hydrogeologisches Modell rezenter Massenbewegungen am Beispiel der Embacher Plaike und Hochebene, Salzburg, Österreich

Conceptual hydrogeological model of recent landslides at the example of the Embacher Plaike and plateau, Salzburg, Austria

K. BRANDNER¹

¹Zusammenfassung der Masterarbeit von Katharina Brandner, erschienen 2016 am Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz Geozentrum, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 26, 8010 Graz, Österreich; Katharina Brandner (Katharina.brandner@geoconsult.eu)

Einleitung/Motivation

Das Untersuchungsgebiet rund um die Embacher Plaike befindet sich im Bundesland Salzburg im Bereich der Taxenbacher Enge, welche zwischen Taxenbach und Lend liegt (Abbildung 1). Die Embacher Plaike ist eine seit Jahrhunderten aktive Massenbewegung (Stiny, 1911) mit einer Größe von 0,4 km² und zieht sich von der Embacher Hochebene in nördliche Richtung 365 hm hinunter zum rechten Salzachufer (Dietrich, 1988).

Geologisch gesehen liegt das Untersuchungsgebiet in der Grauwackenzone, die in diesem Bereich aus verschiedenen Phylliten und metamorphen Vulkaniten aufgebaut ist, die hauptsächlich mittelsteil nach NE einfallen. Im Hangenden davon findet man quartäre, fluviatile Schotter und Sande, die großteils zu Konglomerat verkittet sind und eine Mächtigkeit von bis zu 40 m aufweisen. Diese Konglomerate werden von Seetonen überlagert. Darüber findet man 10 – 40 m mächtige Moränenablagerungen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Nahbereich der Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung (SEMP). Diese trennt das Tauernfenster und die Grauwackenzone und verläuft südlich der Embacher Plaike auf der Embacher Hochebene (Dietrich, 1988).

Die von der Plaike ausgehenden Gefahren sind durch das Rückschreiten der Abrisskante in Richtung der Ortschaft Embach, sowie durch die mögliche Aufstauung der Salzach gegeben. Die Bewegungen in der Plaike, wobei es sich hauptsächlich um Hangschuttkriechen aber auch um Setzungen von Schollen an der Abrisskante handelt, werden vermutlich durch Wasser induziert. Um diesen entgegen wirken zu können, gilt es, das hydrogeologische System in der Plaike und der darüber liegenden Hochebene rund um Embach zu verstehen. Die Erfassung des hydrogeologischen Systems ist somit das Ziel dieser Arbeit. Basierend auf den Ergebnissen einer hydrogeologischen Kartierung wurden Quellen zur hydrochemischen Analyse ausgesucht sowie Abflussmessungen, Wasserbilanzierung und ein Markierungsversuch durchgeführt. Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethoden werden die Fließsysteme oberhalb und in der Plaike untersucht, um deren Einfluss auf die Massenbewegung beurteilen zu können.



Abbildung 1: Übersichtsabbildung zur Lage der Embacher Plaike und Hochebene. Die rote Linie stellt die Abrisskante der Embacher Plaike dar (Google Earth, Letztstand am 25.07.2016).

Geologie

Geologisch gesehen liegt das Untersuchungsgebiet in der Grauwackenzone, die in diesem Bereich aus verschiedenen Phylliten und metamorphen Vulkaniten aufgebaut ist, die hauptsächlich mittelsteil nach NE einfallen. Des Weiteren befindet sich das Untersuchungsgebiet im Nahbereich der SEMP, welche das Tauernfenster (Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone) und die Grauwackenzone trennt und südlich der Embacher Plaike auf der Embacher Hochebene verläuft. Die Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone setzt sich aus phyllitischen Bündnerschiefer, Sandstein, Dolomitmikrokonglomerat, Klammkalk, Metabasit und Rauhwacke zusammen (Exner, 1979; Pestal, 2009) (Abbildung 2).

Im Hangenden des beschriebenen Grundgebirges findet man quartäre, fluviatile, leicht schräg geschichtete Schotter und Sande, die Großteils zu Konglomerat verkittet sind und eine Mächtigkeit von bis zu 40 m aufweisen. Diese Konglomerate werden von Seetonen, welche im Westen 0,5 m, im Osten bis zu 3 m mächtig sein können, überlagert. Lokal sind Deltaschotter mit einer Mächtigkeit von 3 m – 5 m eingeschaltet (Dietrich, 1988). Darüber findet man 10 m - 40 m mächtige Moränenablagerungen aus der Würm Eiszeit (Exner, 1979) (Abbildung 3). Die Komponenten, sowohl des Konglomerates als auch der Moräne, stammen aus dem Tauernfenster und bestehen aus gekritzten Orhogneis-Blöcken, Kalkglimmerschiefer, Klammkalk, Serpentin, Metadiabas und Grünschiefer (Exner, 1979).

Die quartären Ablagerungen erlangen an der Abrisskante der Embacher Plaike eine Mächtigkeit von ca. 40 m. Auf der Embacher Hochebene wurden 1967/1968 zwischen Kirchbach und der Abrisskante der Embacher Plaike fünf Bohrungen mit einer Tiefe von max. 80 m durchgeführt. Dabei wurde kein anstehendes Gestein erreicht. Die Tiefe der Grenze Grundgebirge – quartäre Ablagerungen auf der Embacher Hochebene ist daher nicht bekannt (Insond Ges.m.b.H., 1970), jedoch ist lokal von einer Mächtigkeit von über 80 m auszugehen. Diese Grenze Grundgebirge – quartäre Ablagerungen wird als der Hauptstauhorizont für die Grundwässer der Embacher Hochebene gesehen (Stiny, 1911; Dietrich, 1988).

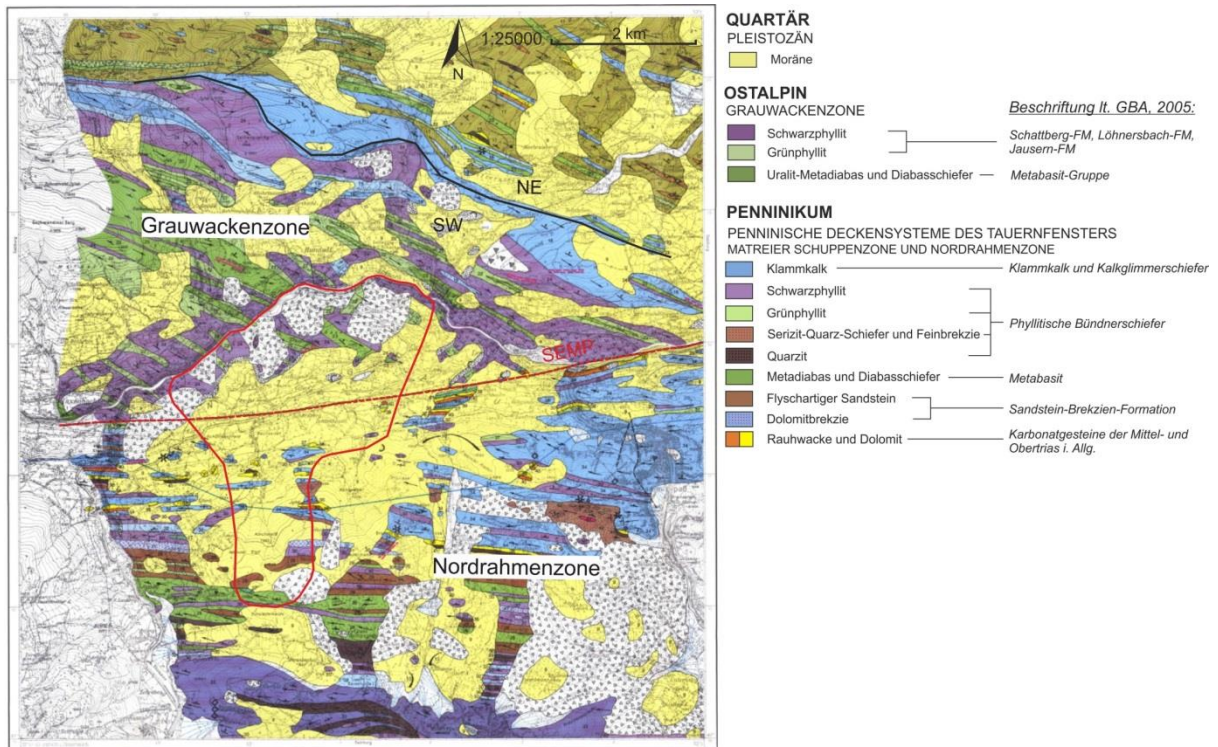


Abbildung 2: Geologische Karte der Taxenbacher Enge 1:25.000 (nach Exner, 1979). Die Legende gilt für den rot umrandeten Bereich, welcher das Untersuchungsgebiet darstellt. Die rote, strichlierte Linie zeigt die SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung).



Abbildung 3: Übersichtfoto des ca. 40 m mächtigen quartären Aufschlusses an der Abrisskante.

In den letzten Jahrzehnten wurden in der Embacher Plaike mehrere Untersuchungen von verschiedenen Institutionen durchgeführt. Im Zuge der geologischen Untersuchungen der GEOCONSULT ZT-GMBH wurden entlang der Embacher Plaike auch geophysikalische Untersuchungen durchgeführt. Diese geben Auskunft über die Mächtigkeit des Rutschkörpers und den Verlauf der Felslinie. Dabei ergeben sich Bereiche mit höherer Schuttakkumulation (flaches Gelände) und Bereiche mit einer geringen Auflage an Lockermaterial (steiles Gelände). Am meisten Lockermaterial findet sich im Fußbereich der Plaike wieder. Hierbei ergibt sich eine maximale Mächtigkeit von 40,5 m, typische Überlagerungsmächtigkeiten betragen allerdings 25 m bis 30 m. Das Gesamtvolumen an Lockermaterial in der Plaike beläuft sich auf ca. 4,125 Mio. m³ (Geoconsult ZT-GmbH, 1996).

Die Hauptentwässerung der Embacher Hochebene wird durch den Kirch- und Salaterbach gewährleistet. Ersterer entspringt im Süden von Embach in 1760 m Höhe und mündet nach insgesamt 5,9 km in den Reitbach (Gebietsbauleitung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1962). Der Salaterbach entspringt in einer Höhe von 1040 m und mündet nach ca. 1 km in den Kirchbach, wenn das Wasser nicht schon vorher auf der großen Wiese zwischen Salaterbauer und Embacher Sportplatz versickert, was außer bei Niederschlagsereignissen vorwiegend der Fall ist. Das Einzugsgebiet des Kirch- und Salaterbaches beträgt für die Abflussmessstelle KB01 ca. 4,4 km² (Abbildung 4).

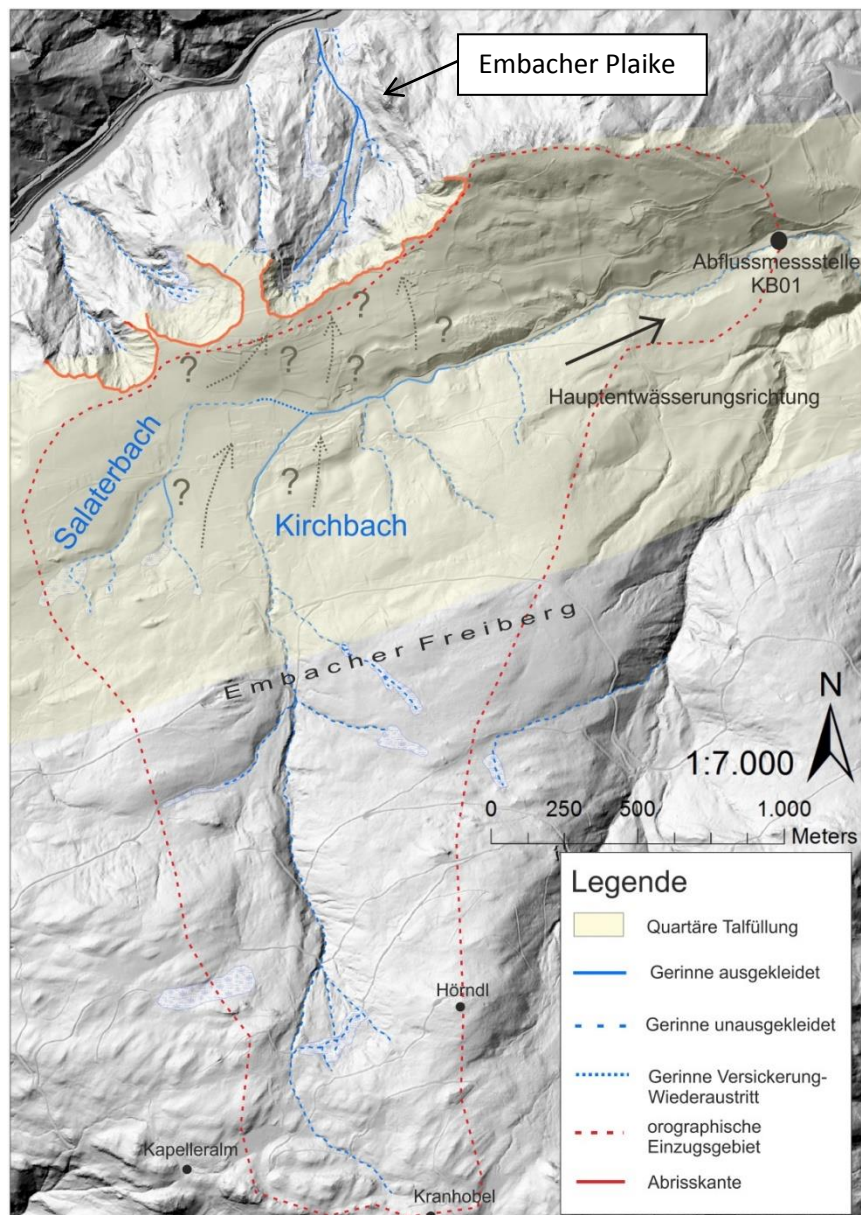


Abbildung 4: Darstellung des Entwässerungssystems auf der Embacher Hochebene mit dem orographischen Einzugsgebiet des Kirch- und Salaterbaches.

Ergebnisse

Hydrogeologische Kartierung und Hydrochemie

Im Zuge der Kartierung der Embacher Plaike, Hochebene und Nachbarplaiken wurden an den Quellen die Feldparameter Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und Schüttung aufgenommen. Daraus konnten 20 Messstellen in der Embacher Plaike und Hochebene für monatliches Monitoring und hydrochemische Analysen ausgewählt werden.

Das Monitoring ergab bei allen ausgewählten Messstellen saisonale Schwankungen der Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und Schüttung. Dies spricht für oberflächennahe Wässer. Einzige Ausnahme bildet die Quelle EPQ13 (Abbildung 5), deren Temperaturschwankungen minimal sind.

Allgemein betrachtet sind die Wässer der Embacher Plaike höher mineralisiert als jene der Embacher Hochebene und der Nachbarplaiken (Abbildung 6). Sie lassen sich wiederum in zwei Bereiche gliedern: Hochmineralisierte Wässer im Osten, niedrigmineralisierte im Westen (Abbildung 5). Die extrem erhöhten Leitfähigkeitswerte sind im östlichen Teil der Plaike primär auf einen erhöhten Sulfatgehalt zurückzuführen, aber auch auf erhöhte Ca^{2+} Werte (Abbildung 6). Nach Furtak und Langguth (1967) lassen sich im Piper Diagramm folgende Wassertypen feststellen (Abbildung 6):

- Erdalkalisch-sulfatische Wässer (hohe Leitfähigkeit)
- Erdalkalisch-karbonatisch-sulfatische Wässer (mittlere Leitfähigkeit)
- Erdalkalisch-karbonatische Wässer (niedrige Leitfähigkeit)

Mit Hilfe des Schöller Diagrammes (Abbildung 6) zeigt sich, dass alle Wässer hohe Ca^{2+} und HCO_3^- Werte aufweisen, was für einen Karbonat beeinflussten Aquifer im gesamten Untersuchungsgebiet spricht. Zusätzlich weisen die Wässer mit hoher Leitfähigkeit hohe SO_4^{2-} und Ca^{2+} Werte auf. Dies weist auf ein zusätzliches Durchfließen von Sulfatgesteinen wie bspw. Gips hin.

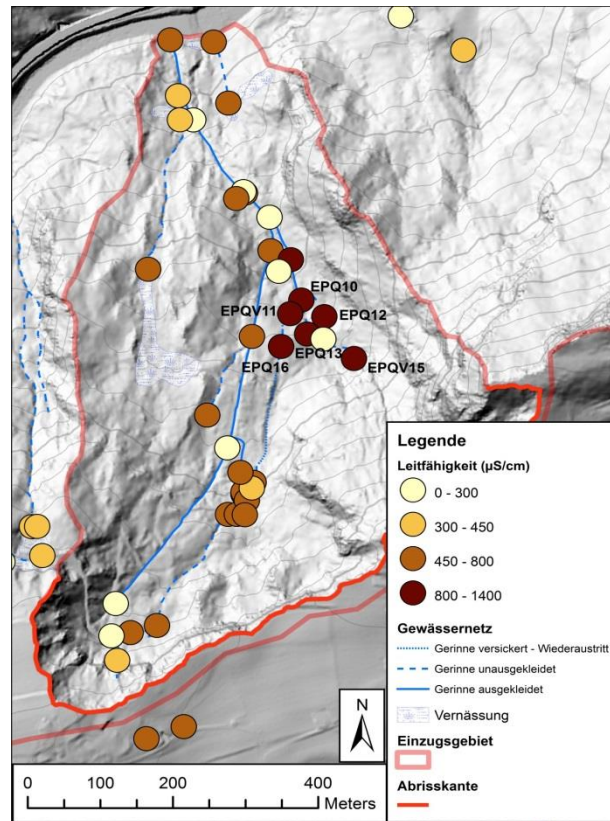


Abbildung 5: Verteilung der elektrischen Leitfähigkeitsbereiche in der Embacher Plaike. Die hochmineralisierten Wässer werden in der Karte benannt.

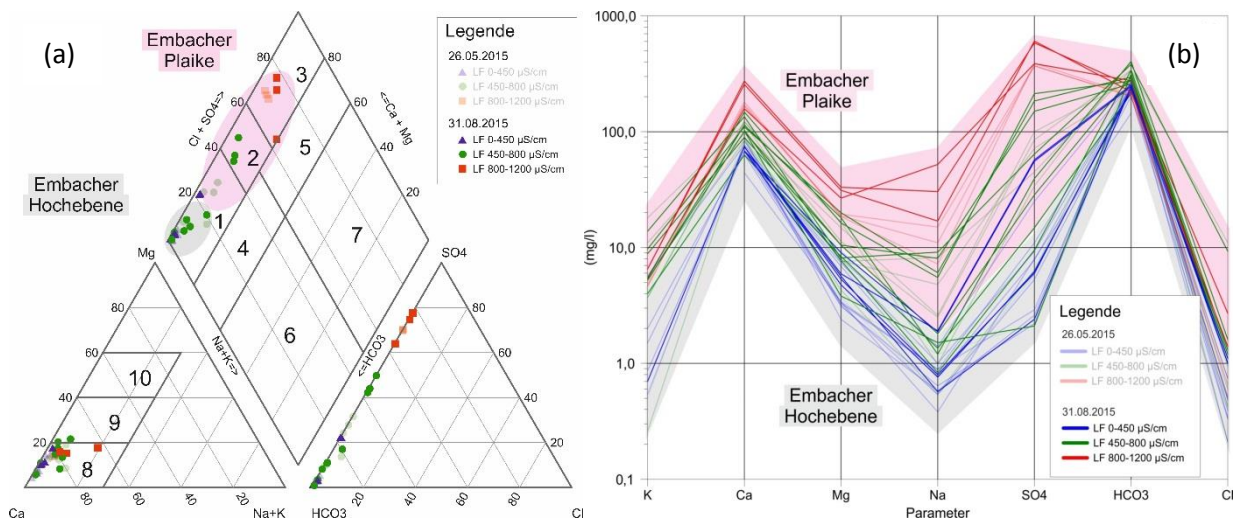


Abbildung 6: Die elektrische Leitfähigkeit der Wässer der Embacher Plaike und Hochebene dargestellt im Piper Diagramm (a) und im Schöller Diagramm (b). Die Gliederung der Wassertypen im Piper Diagramm erfolgt nach FURTAK UND LANGGUTH (1967).

Schwefelisotopie

Drei verschiedene Quellwässer (EPQ13, EPQV15 und EPQ17) aus dem östlichen und westlichen Bereich der Embacher Plaike wurden auf Basis der hydrogeologischen Kartierung sowie der hydrochemischen Analyse für eine schwefelisotopische Untersuchung ausgewählt. Die stabilen Schwefelisotope ^{32}S und ^{34}S dienen der Ermittlung der Herkunft und Geschichte von Sulfaten und Sulfiden in einem hydrogeologischen System.

Das Wasser der Quelle EPQ17 enthielt zu wenig Sulfat, um einen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert bestimmen zu können. Die Proben EPQ13 und EPQV15 weisen einen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von -8,9 auf. Wie in Abbildung 7 ersichtlich schneidet der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert, dargestellt als roter Balken, die sekundären Sulfate, also jene die durch die Oxidation von Sulfiden gebildet wurden (Clark & Fritz, 1997).

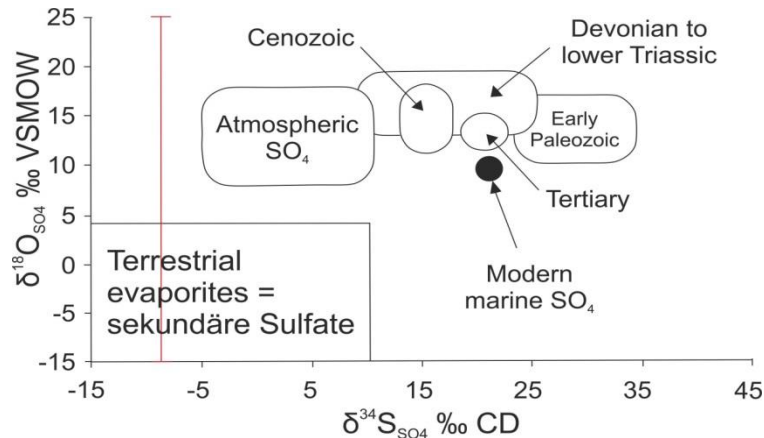


Abbildung 7: $\delta^{34}\text{S}$ geplottet gegen $\delta_{18}\text{O}$ zur Charakterisierung von terrestrischen Sulfaten, atmosphärischen und verschiedenen marinen Sulfaten (nach CLARK & FRITZ, 1997). Der rote Balken deutet die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Embacher Plaike von -8,9 an.

Abflussmessungen

Von Juni bis Oktober wurde einmal monatlich an drei verschiedenen Stellen den Kirchbach stromabwärts (KB03, KB02 und KB01 als tiefstgelegene Messstelle) mit Hilfe der Salzverdünnungsmethode Abflussmessungen durchgeführt. Dabei wurden auch stets die Abflussmengen der oberirdischen Zuflüsse zum Kirchbach separat mittels Behältermessung aufgenommen.

In Abbildung 8 sind die Abflussmessungen entlang des Kirchbaches ersichtlich. Im Juni waren die Abflüsse an allen drei Messstellen (KB03, KB02, KB01) am höchsten. In den Monaten Juli bis Anfang September sank die Schüttung um mehr als die Hälfte und ab Anfang Oktober steigt sie wieder leicht an. Die Schüttungszunahme von KB03 bis KB01 kann nicht mit oberirdischen Zuflüssen in den Kirchbach erklärt werden. Es muss somit ein vorrangig unterirdischer Zufluss vorhanden sein.

Der Gesamtabfluss in der Embacher Plaike wurde während des Untersuchungszeitraumes viermal gemessen, wobei die Werte je nach Monat zwischen 1,72 und 4,33 l/s schwanken. Der mittlere, gesamte Oberflächenabfluss beträgt 3,1 l/s.

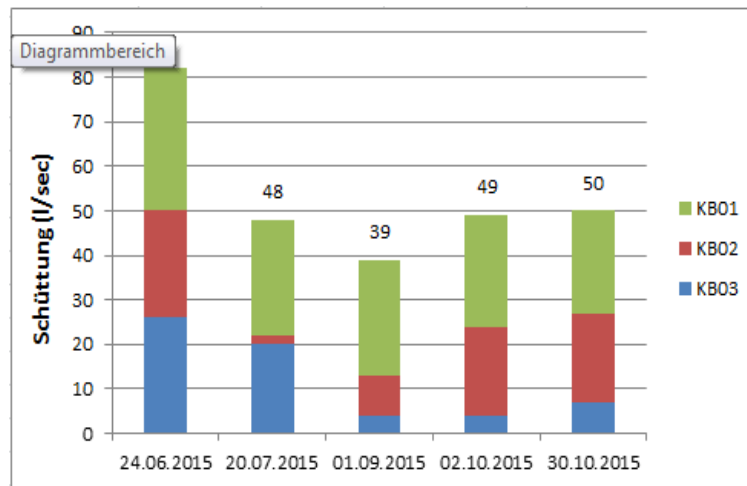


Abbildung 8: Die Schüttung des Kirchbaches an 3 verschiedenen Messstellen für 5 verschiedene Messtage.

Wasserbilanz

Mit Hilfe der Wasserbilanz wurde der mögliche Abfluss in der Embacher Plaike bezogen auf das Einzugsgebiet der Plaike eruiert. Die Evapotranspiration wurde dabei nach Thornthwaite (1955) und Turc (1961) berechnet, sowie aus dem digitalen hydrologischen Atlas Österreichs entnommen. In Tabelle 1 sind die aus der Wasserbilanz berechneten Abflüsse ersichtlich. Es zeigt sich, dass der Oberflächenabfluss für das Einzugsgebiet zu gering ist, es muss also einen hohen Anteil an unterirdischem Abfluss geben.

Tabelle 1: Monatliche Durchschnittswerte der berechneten Abflussergebnisse aus der Wasserbilanz basierend auf Datensätzen von 2007 (digHAO) und 2010-2014 (THORNTHWAITE und TURC) sowie der Gesamtabflussmessungen in der Plaike. digHAÖ = digitaler hydrologischer Atlas Österreichs.

Methode	BERECHNETE Abflüsse aus der Wasserbilanz			GEMESSENER Oberflächenabfluss
	digHAÖ	Thornthwaite	Turc	Kübelmessung
Abfluss (l/sec)	14,86	12,50	11,38	3,1

Markierungsversuch

Mit Hilfe des Markierungsversuches soll eine potentielle hydraulische Verbindung des versickernden Wassers des Salaterbaches sowie des Kirchbaches zu den Quellen in der Plaike festgestellt werden. Für den Markierungsversuch wurden daher zwei künstliche Tracer ausgewählt: Uranin und Amino G-Acid. Das Amino G-Acid wurde in den verbauten Kirchbach eingespeist, während das Uranin in den Salaterbach eingespeist wurde.

Weder einen Monat nach der Einspeisung noch nach der Schneeschmelze im Frühjahr konnte Uranin oder Amino-G-Acid in den Sammelproben (mittels Aktivkohle) über diese Zeiträume in der Embacher Plaike und Nachbarplaike nachgewiesen werden.

Interpretation

Für die Fragestellung einer hydraulischen Verbindung zwischen Kirch- und Salaterbach zur Embacher Plaike lassen sich die Ergebnisse aus den Untersuchungen dieser Masterarbeit wie folgt interpretieren. Aus den Untersuchungen in Kombination mit der Literatur ergibt sich folgende hydrogeologische Modellvorstellung.

Mit der Zunahme der Schüttung entlang des Kirchbaches, welche nicht allein durch oberirdische Zuflüsse abgedeckt werden kann, lassen sich effluente Fließbedingungen ableiten, d. h. das Grundwasser der Embacher Hochebene fließt dem Kirchbach zu. Des Weiteren konnte durch den Markierungsversuch keine hydraulische Verbindung zwischen Kirch- und Salaterbach zur Embacher Plaike festgestellt werden. Überdies deutet eine für das Einzugsgebiet der Embacher Plaike aufgestellte Wasserbilanz auf keinen zusätzlichen Wasserzufluss über die Gebietsfläche der Plaike hin. Der daraus berechnete Abfluss deckt sich im Großen und Ganzen mit dem tatsächlich gemessenen Abfluss in der Plaike.

Die Embacher Hochebene und die Embacher Plaike stellen demnach zwei voneinander im Wesentlichen entkoppelte hydrogeologische Systeme dar. Dieser Ansatz wird als Arbeitshypothese für das konzeptionelle hydrogeologische Modell angenommen, welches sich daher nur auf die Embacher Plaike beschränkt. Die konzeptionellen Vorstellungen werden anhand zweier Profilschnitte durch die Embacher Plaike dargestellt (Abbildung 9).

Die Bohrungen der InSond Ges.m.b.H auf der Embacher Hochebene, welche mit einer Tiefe von 80 m das Grundgebirge nicht angetroffen haben, geben Anlass zu der Annahme, dass das Grundgebirge zum Kirchbach hin abfällt. Im Großen und Ganzen ist das oberirdische und unterirdische Einzugsgebiet der Embacher Plaike ähnlich groß. Als Grundwasserleiter gelten dabei die quartären Ablagerungen sowie das Hangschuttmaterial, welches auf dem Grundgebirge aufliegt. Das Grundgebirge an sich dient als Grundwasserstauer, höchstens in Zerrüttungsbereichen, welche viele Trennflächen aufweisen, kann es als Grundwasserleiter fungieren. Die Überlagerungsmächtigkeit des Hangschuttes auf dem Grundgebirge wurde auf Basis der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen der Geoconsult ZT – GmbH inter- bzw. extrapoliert (Abbildung 9).

Die hydrogeochemischen Analysen geben Auskunft über die Wassertypen und Fließwege der Quellwässer. Man kann dadurch zwischen $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ Wässern (EPQD02, EPQ17) und $\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ Wässern (EPQ13, EPQV15, EPQ10), die ebenso einen hohen HCO_3^- -Gehalt aufweisen, unterscheiden. Erstere fließen durch die quartäre Ablagerung mit der kalkhaltigen Matrix der Konglomerate sowie durch das Lockermaterial, welches in der Plaike auf dem Grundgebirge liegt. Die Herkunft des Sulfates wurde durch die Schwefelisotopie eruiert. Demnach stammt das Sulfat von oxidiertem Sulfid, welches wahrscheinlich in Klüften gelöst wurde. Anhand dieser Erkenntnis kann auf eine tiefere Zirkulation der $\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ Wässer durch die quartäre Ablagerung und in die obersten Zonen des Grundgebirges angenommen werden (Abbildung 9). Zudem weisen die geringen Wassertemperaturschwankungen der EPQ 13 während des Untersuchungszeitraumes ebenso auf tiefer zirkulierende Wässer hin.

Der Grundwasserspiegel in der Plaike wurde in den Profilen an die Morphologie, die Überlagerungsmächtigkeit und den Untergrund angepasst.

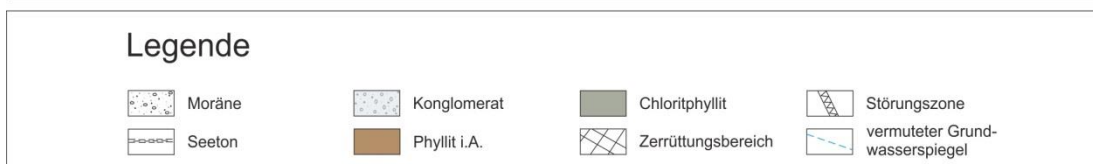
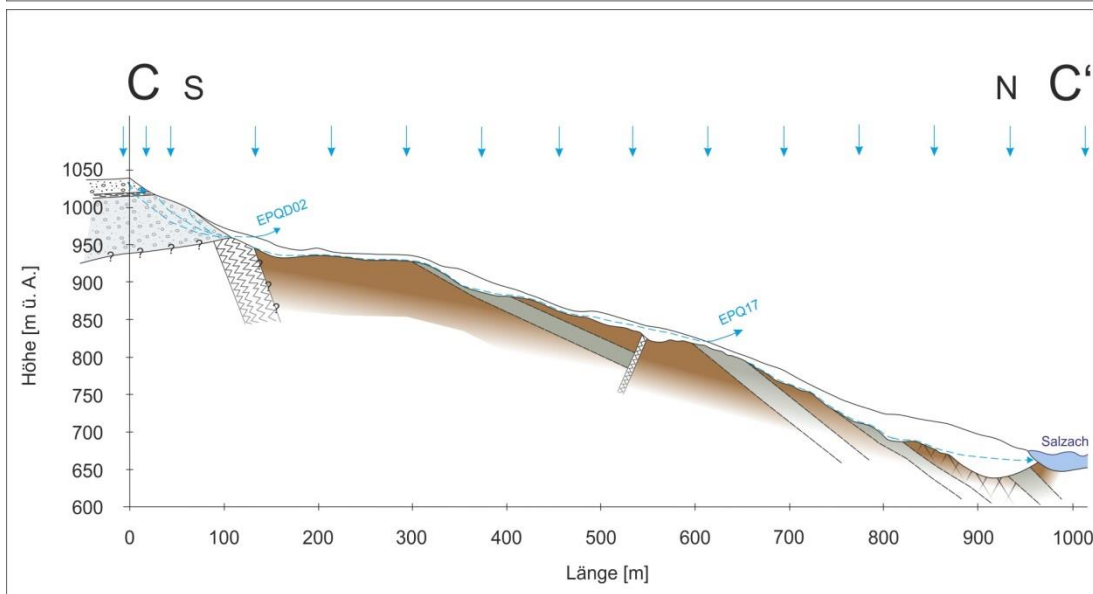
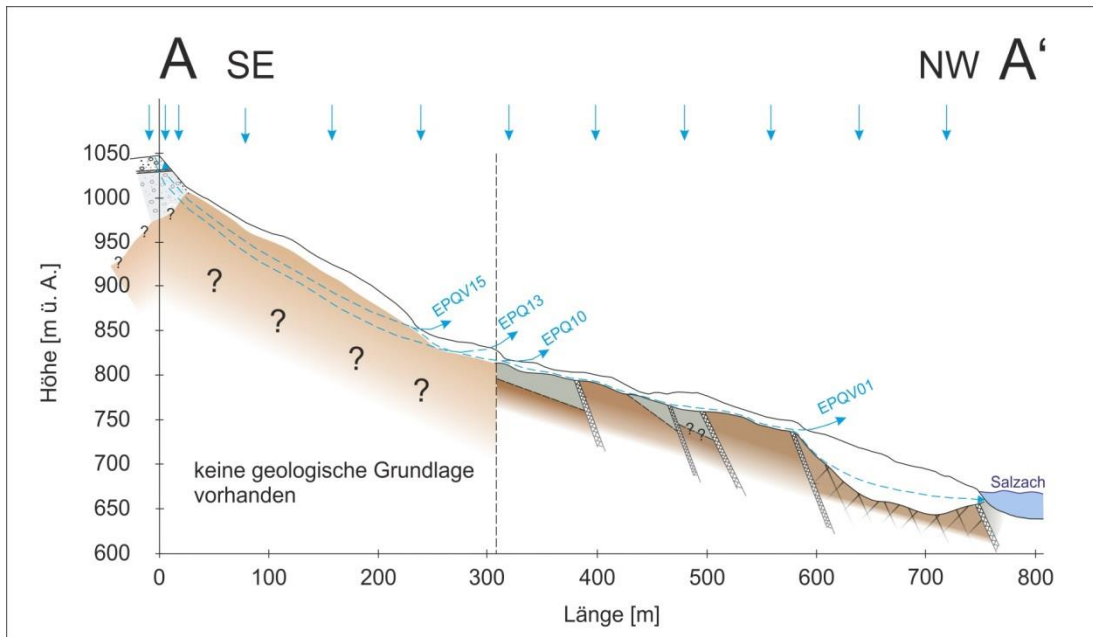
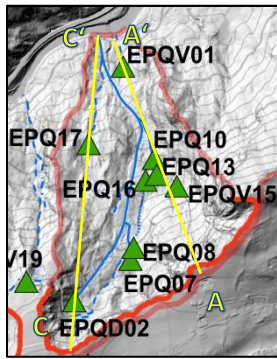


Abbildung 9: Profilschnitte durch die Embacher Plaike sowie Lageplan der Profile.

Ausblick

Im Zuge der Untersuchungen rund um die Embacher Plaike und Hochebene ergaben sich weitere Fragestellungen. Großes Interesse besteht in der Erkundung des Kontaktes zwischen Grundgebirge und quartären Ablagerungen von der Abrisskante der Embacher Plaike hin zum Kirchbach. Die 4 Bohrungen der InSond Ges m b H stellen keine ausreichende Erkundung dar. Mit geophysikalischen Methoden wäre eine flächendeckende Untergrunderkundung gewährleistet. Zudem sollten Optimierungen in Bezug auf das Abflussverhalten in der Embacher Plaike und der Wasserbilanz angestrebt werden. Ein Messwehr für kontinuierliche Aufzeichnungen des Gesamtabflusses würde helfen, das Abflussverhalten des Gewässers mit Hilfe einer Abflussganglinie zu typisieren. Zudem ist eine kontinuierliche Messung von Lufttemperatur und Niederschlag vor Ort für eine genauere Berechnung der Wasserbilanz von Vorteil. Im Weiteren würden Wasserstoff- und Sauerstoffisotopie Auskunft über die Verweilzeit des Grundwassers geben. Zudem würde die Isotopie noch Informationen über die Herkunft des Grundwassers sowie die Höhe des Einzugsgebietes liefern.

Danksagung

Allen voran möchte ich mich bei meinem Betreuer Gerfried Winkler für die tatkräftige Unterstützung und den großen Lerneffekt im Zuge der Masterarbeit bedanken. Ebenfalls gebührt mein Dank Sylke Hilberg für die Zweitbetreuung und die hilfreichen, konstruktiven Anregungen. Des Weiteren bedanke ich mich bei Ludwig Fegerl vom Landesgeologischen Dienst Salzburg und bei Franz Anker von der WLV Zell am See für ihre Unterstützung und die Initiative zu dieser Masterarbeit sowie bei Gerhard Schuster von der GBA für die Untersuchung der Schwefelisotopie und bei Ralf Benischke für die Unterstützung im Rahmen des Markierungsversuches. Bedanken möchte ich mich auch beim hydrographischen Dienst Salzburg für die Bereitstellung von Daten und beim Ingenieurbüro Moser-Wasser. Ein besonderer Dank gilt zudem meiner Familie, meinen Studienkollegen sowie den Lehrenden und Mitarbeitern des Institutes für Erdwissenschaften (KFU Graz) und des Institutes für Angewandte Geowissenschaften (TU Graz).

Referenzen

- Clark I. D., & Fritz P. (1997): Environmental isotopes in hydrogeology. CRC press.
- Dietrich M. (1988): Geologischer Bericht zum aktuellen Zustand der Embacher Plaike. Erstellt im Zuge der Dissertation von Herrn Michael Dietrich an der TU-München mit dem Titel „Geologische Untersuchungen der Hangbewegungen im Bereich der Taxenbacher Enge (Land Salzburg)“.
- Exner C. (1979): Geologie des Salzachtales zwischen Taxenbach und Lend. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 122, 1-73.
- Furtak H., & Langguth H. R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. - Mem. IAH Congress Hannover 1965 VII: 86-96.
- Gebietsbauleitung für Wildbach- und Lawinenverbauung, (1962): Unveröffentl. Verhandlungsschrift. Bezüglich des Teilverbauungsprojektes für die Regulierung des Kirchbaches und des Salaterbaches. Aufgenommen am 24. Oktober 1962 in Lend.
- Geoconsult ZT-GmbH (1996). Embacher Plaike – Endbericht Sommer (1996): GZ 2501/JKI. Unveröffentl. Bericht. Salzburg.
- Insond Ges.m.b.H. (1970): Sondierbohrungen 1967/68 im Gebiet der Embacher Plaike - Technischer Bericht. Im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung. Unveröffentl. Bericht. Salzburg.
- Pestal G. (Ed.) (2009): Geologie der österreichischen Bundesländer. Erläuterungen zur Geologischen Karte von Salzburg. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Stiny J. (1911). Geologisches Gutachten über das Detailprojekt betreffend die Verbauung der Embacher- und Espangplaike.
- Thornthwaite C. W., & Mather J. R. (1955): The water balance. Drexel Institute of Technology, Publications in climatology, Vol. 8 (1), Centerton New Jersey, 104.

Beiträge zur Hydrogeologie	ISSN 0376-4826	Band 61	2016	72/111
----------------------------	----------------	---------	------	--------

Turc L. (1961): Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. Ann Agron, 12(1), 13-49.