

Hydraulische Charakterisierung eines von Massenbewegungen beeinflussten Grundwasserleiters am Beispiel Turiawald, Sattnitz, Kärnten

Hydraulic Characterisation of a mass movement-influenced aquifer, Turiawald, Sattnitz Mountains, Carinthia

F. THALHEIM¹

¹ deutschsprachige Zusammenfassung der englischsprachigen Masterarbeit, erschienen 2016 am Institute of Earth Sciences, NAWI Graz Geocenter, University of Graz, Heinrichstraße 26, 8010 Graz, Austria

Korrespondierender Autor: Felix THALHEIM; felixthalheim1986@hotmail.de

Einleitung/Motivation

Das etwa 6 km² umfassende Turiawald-Plateau befindet sich nahe dem Südrande des Klagenfurter Beckens zwischen dem Wörthersee und der Drau. Dort stellt es den westlichsten Ausläufer der Sattnitzberge dar (Abb. 1a), welche sich auf etwa 30 km in Ost-West-Richtung erstrecken und zum Großteil aus Sattnitzkonglomerat (überwiegend karbonatische Bestandteile) aufgebaut sind. Im Bereiche des Turiawaldes werden diese Sedimente hauptsächlich von feinklastischen limnisch-fluviatilen Sedimenten aus dem oberen Miozän unterlagert, welche als Wasserstauer (Aquiclude) agieren. Da die Schichtgrenze beider Formationen im Durchschnitt leicht Richtung N-NW einfällt, entwässert das auf dem gesamten Plateau infiltrierende Wasser nahezu vollständig in selbige Richtung, zudem liegt kaum ein Oberflächenabfluss vor (POLTNIG et al., 2007). Der nahezu gesamte unterirdische Abfluss des Plateaus kann an drei von den Wasserwerken Velden errichteten und verwendeten Quellen (Roach-, Pleier- und Hojoutz-Quelle, Abb. 1b) erfasst werden. Die Quelfassung der Roach-Quelle liegt am Fuß einer großräumigen Massenbewegung auf einer Seehöhe von etwa 550 m ü. A. (FELLNER, 1993), etwa 100 m unterhalb des angenommenen Kontaktes zwischen Konglomeraten und feinklastischen Sedimenten (STAUNIG, 2011), und entwässert ca. 75 % des Plateaus (POLTNIG et al., 2007). Die beiden anderen Quellen treten in einer Seehöhe von etwa 650 m ü. A. nahe dem Aquiclude aus (WINKLER et al., 2008). Somit ist die Pleier-Quelle nur geringfügig und die Hojoutz-Quelle (gefasst in einem Stollen mit Quellschicht aus dem Jahre 1950 (KAHLER, 1951)) höchstwahrscheinlich gar nicht von Massenbewegungen beeinflusst, obwohl beide dasselbe Gebiet entwässern.

Daraus ergab sich die Hauptfragestellung dieser Arbeit, ob und inwieweit Massenbewegungen die Entwässerungsdynamik beeinflussen und wie sich dieser Einfluss darstellen und charakterisieren lässt.

Im Zuge der Masterarbeit wurde eine umfassende Recherche zur Geologie der Region durchgeführt, auf welche im folgenden Abschnitt kurz eingegangen wird. Die im Laufe dreier Jahre kontinuierlich erfassten Daten der Roach-, Pleier- und Hojoutz-Quelle (Wasserlevel, Wassertemperatur (WT) und elektrische Leitfähigkeit (EC)) wurde für Hydrographanalysen und Auswertungen der beiden natürlichen Tracer verwendet. Ergänzend lagen für Wasserbilanzberechnungen meteorologische Daten einer im April 2011 auf dem Plateau installierten automatischen Wetterstation vor (Abb. 1b).

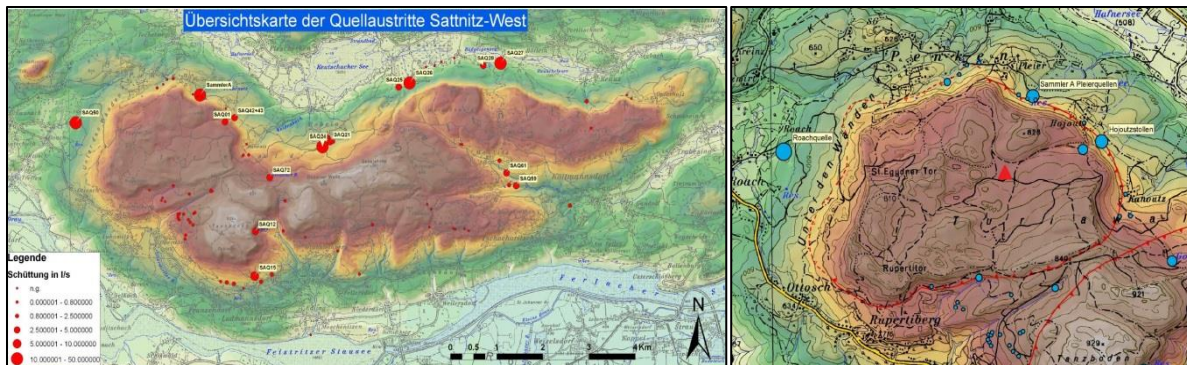


Abbildung 1: **a)** Übersichtskarte sämtlicher Quellaustritte der westlichen Sattnitz; ganz im Westen befindet sich das Turiawald-Plateau **b)** Detailansicht des Turiawald-Plateaus mit den drei Hauptquellen im Westen (Roach-Quelle) und Norden (Pleier-Quelle bzw. Sammler A und Hojoutz-Quelle, blaue Kreise) sowie der Wetterstation oben auf dem Plateau (rotes Dreieck) (modifiziert nach POLTNIK et al., 2007)

Geologie

Das Klagenfurter Becken ist eine weitläufige intramontane Senke im Süden Kärntens, welche eine Fläche von etwa 1400 km² einnimmt. In diesem Becken befinden sich einige der bekanntesten Seen Kärntens wie der Wörthersee, der Ossiacher See und der Faaker See. Die Entstehung des Beckens steht mit der späten alpidischen Orogenese und einer Vielzahl von Störungszonen in Zusammenhang, welche das Becken durchziehen und begrenzen und zu einer relativen Absenkung in Richtung der Periadriatischen Naht (PAL) führten. Letztere ist eine der Hauptstörungen der Alpen, an der das Oberostalpin und die Südalpen kollidieren (u. a. KUHLEMANN et al., 2003).

Die Lage am Rande der PAL sowie die Nähe zu anderen Störungszonen führte auch dazu, dass das Klagenfurter Becken eine relativ hohe Erdbebendichte aufweist, was wiederum schon früh zu umfassenden Studien und Auflistungen jener Ereignisse führte (HÖFER VON HEIMHALT, 1879). In jüngerer Zeit wurden diese Störungs-Lineamente genau kartiert und auch datiert (KAHLER, 1953; KUHLEMANN et al., 2003). In Bezug auf die westlichen Sattnitzberge und speziell das Turiawald-Plateau konnte im Zuge von Lineament-Analysen festgestellt werden, dass die Hauptstörungszonen, welche das Klagenfurter Becken durchziehen und teilweise mit der Strike-Slip-Tektonik der PAL assoziiert sind, ebenfalls ihre Spuren auf und in den bis zu 200 m mächtigen Konglomeraten hinterlassen haben (WINKLER et al., 2008; STAUNIG, 2011). Von den meisten Autoren wurde ihr Entstehungszeitraum im obersten Miozän/unterem Pliozän verortet (u. a. KRÄINER, 1988; GRIEM et al., 1991; siehe Abb. 2), womit sie als Erosionsprodukte der Haupthebungsphase der Karawanken interpretiert werden. Glaziale Ablagerungen auf den Sattnitzbergen (WINKLER et al., 2008) bestätigen, dass es sich bei den Sattnitzkonglomeraten um vor-eiszeitliche Ablagerungen handelt.

Da es im Klagenfurter Becken einige weitere Konglomeratvorkommen gibt, die ähnlich einzuordnen sind, wurde von einigen Autoren angenommen, dass einst ein Großteil des Beckenraumes von Flussschottern bedeckt war (HÖFER VON HEIMHALT, 1902), von denen aber die meisten nicht verfestigt und/oder im Laufe der Vergletscherungen aufgearbeitet und abgetragen wurden (EICHER, 1982). Jene Talgletscher des Drau-, Möll- und Gailtales erreichten beim letzten eiszeitlichen Maximum vor etwa 26 000 Jahren auch den Ostrand des Klagenfurter Beckens und endeten etwa an der Linie Bleiburg – Ruden – Griffen (HERITSCH, 1905; ANGERER, 1906), wobei die Eismassen die heutige Sattnitz um etwa 200-300 Meter überlagerten (PASCHINGER, 1951; VAN HUSEN, 1987).

In jedem Falle sind die tertiären bzw. miozänen Ablagerungen im Klagenfurter Becken auf dessen Südrand beschränkt, wo sie in Form des Sattnitz-, Bärental- und Bleiberger Konglomerates auftreten.

Der Rest des Klagenfurter Beckens ist hauptsächlich mit bis zu mehreren 100 m mächtigen eiszeitlichen (pleistozänen) und holozänen Sedimenten verfüllt.

Die wasserstauende Penken-Formation letztlich, welcher die unterm Turiawalde diskordant von den Konglomeraten überlagerten, feinklastischen, limnischen Sedimente und Kohlen angehören, wurde auf Basis von Fossil- und Mikrosporenfunden und versuchten Parallelisierungen mit anderen Inkohlungsphasen im Lavanttaler und Steirischen Becken ins Obere Miozän, genauer gesagt ins Pannon/Pont bzw. Torton/Messin (Abb. 2), eingeordnet (MOTTTL, 1955; KLAUS, 1956; PAPP 1957).

Wissenschaftliche Beachtung fanden die Sattnitzkonglomerate sowie die feinklastischen Sedimente schon im 19. Jahrhundert, da in letzteren mehrere Braunkohle und Lignit führende Horizonte auftreten (CANAVAL, 1902). Diese wurden zuerst obertägig, später auch untertägig abgebaut, wodurch schon früh Erkenntnisse über Lagerungs- und Entstehungsverhältnisse sowie über Hangtektonik gewonnen wurden (u. a. VON ROSTHORN & CANAVAL, 1854; UCIK, 1970; WEBER & WEISS, 1983). Die Bildung der Kohlen wird der letzten alpidischen Inkohlungsphase zugeordnet (STEININGER et al., 1988).

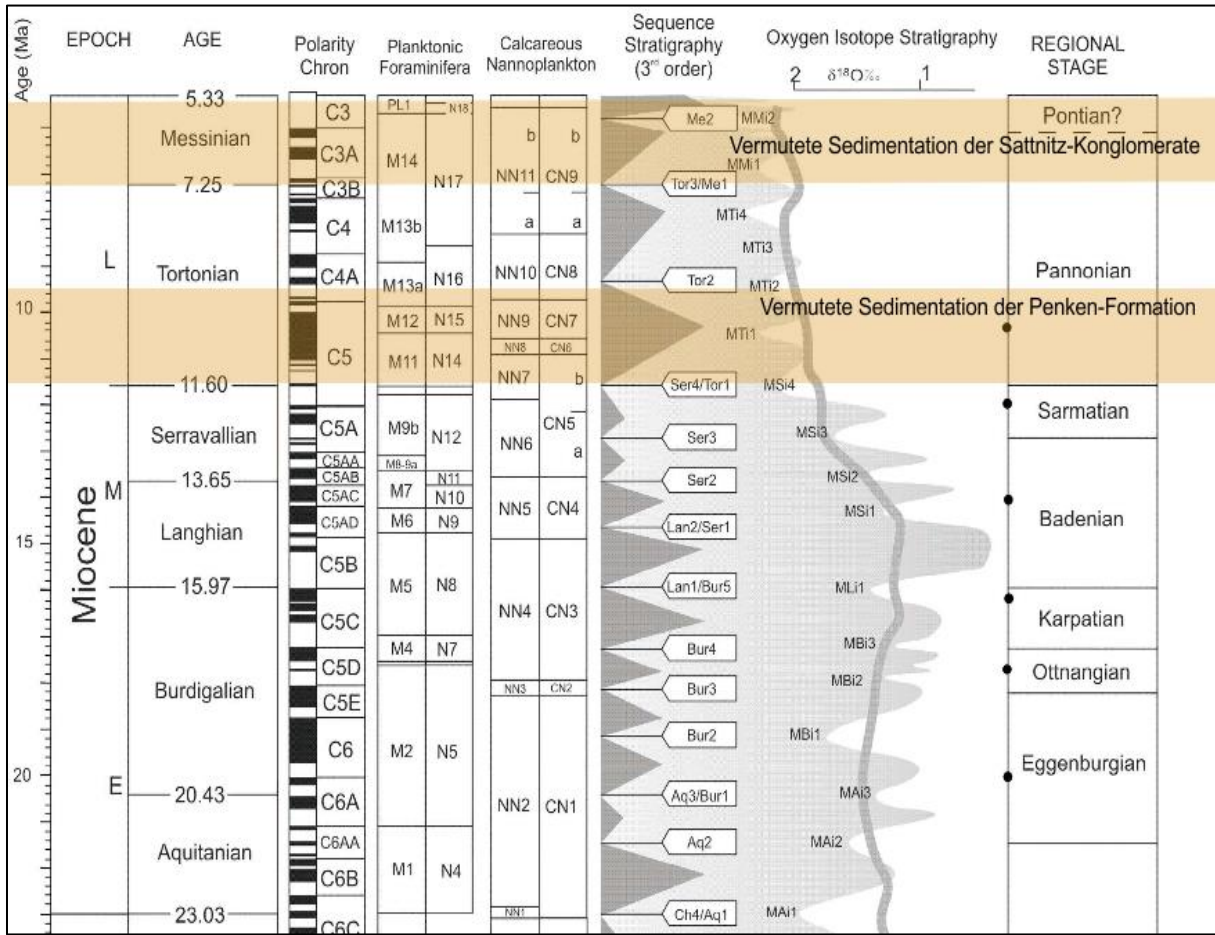


Abbildung 2: die Stratigraphie des Miozäns im Überblick, die orangen Bereiche kennzeichnen grob die vermuteten Ablagerungszeiträume der Penken-Formation sowie der Sattnitz-Konglomerate (modifiziert nach PILLER et al., 2007)

Methodik

Während der ersten Jahre der Datenerhebung für diese Arbeit (ab 2012) wurden mehrere Geländeaufenthalte durchgeführt, um die hydrogeologische Situation zu erfassen. Für die Erstellung der Schüttungsganglinien stellte die Wehr-Geometrie aller drei Quellen eine Herausforderung dar. Für die Pleier- und Hojoutz-Quelle waren ergänzend zu den kontinuierlich erfassten Wasserständen Kalibrationsmessungen der Schüttung möglich, durch welche Schlüsselkurven erstellt werden konnten. Bei der Roach-Quelle war dies nicht der Fall, weswegen eine Schlüsselkurve verwendet wurde, die Resultat eines früheren Forschungsprojektes war (POLTNIG et al., 2007).

Nach abgeschlossener Datenaufbereitung sowie Literaturrecherche erfolgte die analytische Auswertung der gesammelten Daten.

Hierfür wurden folgende Methoden verwendet:

- Ermittlung der Schüttungs-Variabilität
- Analyse der natürlichen Tracer WT und EC
- Hydrograph-Analyse

Nachfolgend wurde herausgearbeitet, inwiefern sich die drei Quellen hinsichtlich der analysierten Aspekte unterscheiden und inwieweit dies mit dem Einfluss der Massenbewegungen zusammenhängen kann.

Ergebnisse

Der Vergleich der Hydrographen sowie der Wassertemperatur und elektrischen Leitfähigkeit der drei Quellen zeigt ein unterschiedliches Verhalten. Abb. 3 stellt die jeweiligen Schüttungsganglinien, Temperaturkurven der Wasser- sowie Lufttemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit aller Quellen gegenüber.

Die Roach-Quelle führt im Durchschnitt etwa eine Zehnerpotenz mehr Wasser als die Hojoutz- und Pleier-Quelle zusammen (Tab. 1), zudem hat die Roach-Quelle die mit Abstand höchste Schüttungs-Variabilität, gefolgt von Pleier- und Hojoutz-Quelle. Des Weiteren weisen die Kurven der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit klare Unterschiede auf, da sie sich zwar auf einem ähnlichen Niveau bewegen, aber doch durch eine unterschiedliche Dynamik, Saisonalität und Amplitude gekennzeichnet sind (Abb. 3). So verhält sich die WT der Hojoutz-Quelle sehr gedämpft und weist nur geringfügige Schwankungen im Jahresverlauf auf, Temperaturspitzen treten fast ausschließlich nach dem Sommer während erster starker Herbstniederschläge auf, wovon die allgemeine saisonale Dynamik allerdings kaum beeinflusst wird.

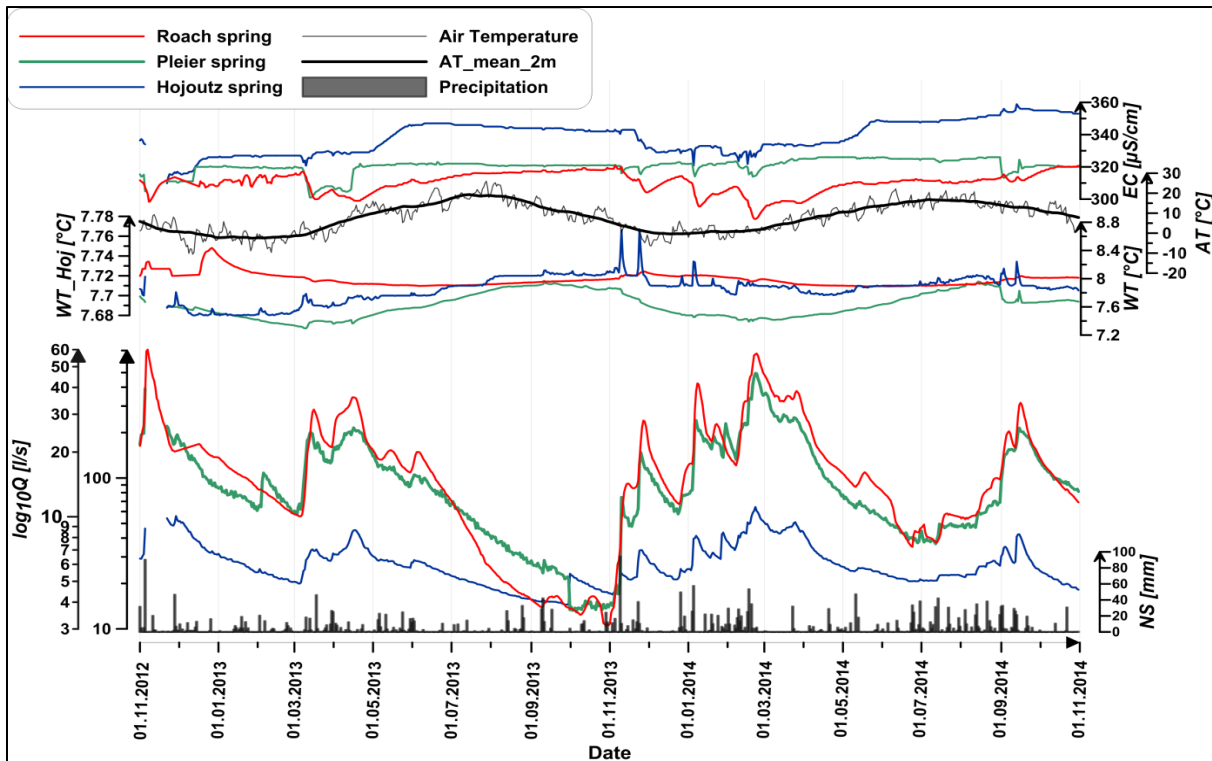


Abbildung 3: Vergleich der Schüttung, EC und WT der drei Quellen sowie der Lufttemperatur

Die EC der Hojoutz-Quelle zeigt bei stärkeren Grundwasserneubildungsereignissen nur geringfügige Reaktionen, allerdings ist ein saisonaler Trend erkennbar, der sich in zwei unterschiedlichen Niveaus der EC zeigt: einem höheren Niveau im Sommer- und einem niedrigeren im Winterhalbjahr, wobei der Unterschied etwa 15-20 µS/cm beträgt. Die Pleier-Quelle zeigt bei der WT eine weitaus höhere Amplitude ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) sowie eine klare Saisonalität, Niederschlagsereignisse zeichnen sich allerdings nur geringfügig ab. Letzteres trifft auch auf die EC zu, welche allgemein am wenigsten schwankt. Bei der Roach-Quelle schwankt die WT bei klar erkennbarer Saisonalität zwar nur gering und weist bei Neubildungsereignissen nur minimale Extrema auf, dafür aber springt die EC viel stärker an, weist bei fast jedem stärkeren Schüttungsereignis ein entsprechendes Minimum auf. Für die genauen Streuungen der Parameter siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: wichtigste Parameter, die für die Quellen ermittelt wurden

Haupt-Parameter		Max	Min	ϕ	Saisonaler Shift [Monate]	Timelags [h]	ϕ Schüttung [l/s]
Roach-Quelle	WT [°C]	8.18	7.87	8.005	4 to 6	53	130
	EC [µS/cm]	325	287	312		54	
Pleier-Quelle	WT [°C]	8.12	7.15	7.67	1 to 2.5	3	13.4
	EC [µS/cm]	329	297	320		4	
Hojoutz-Quelle	WT [°C]	7.79	7.68	7.708	0 to 4.5	10	5.73
	EC [µS/cm]	355	309	338		4.5	

Für die weitere genauere Analyse der Dynamik der drei Quellen wurden bestimmte Zeitbereiche bzw. auffällige Ereignisse (Events) ausgewählt. Im Falle der Analyse der natürlichen Tracer waren dies

Grundwasserneubildungsereignisse, bei denen es zu relativ markanten Minima und Maxima der WT sowie EC kam, und im Falle der Analyse der Auslaufkoeffizienten wurden Zeitbereiche selektiert, welche möglichst ungestörte Auslaufkurven aufwiesen. In untenstehender Abbildung (Abb. 4) sind beispielhaft die jeweiligen bei der Roach-Quelle ausgewählten Ereignisse und Zeitbereiche eingezeichnet. Allgemein wurde im Hinblick auf die Vergleichbarkeit darauf geachtet, möglichst bei allen Quellen die gleichen Bereiche und Ereignisse auszuwerten.

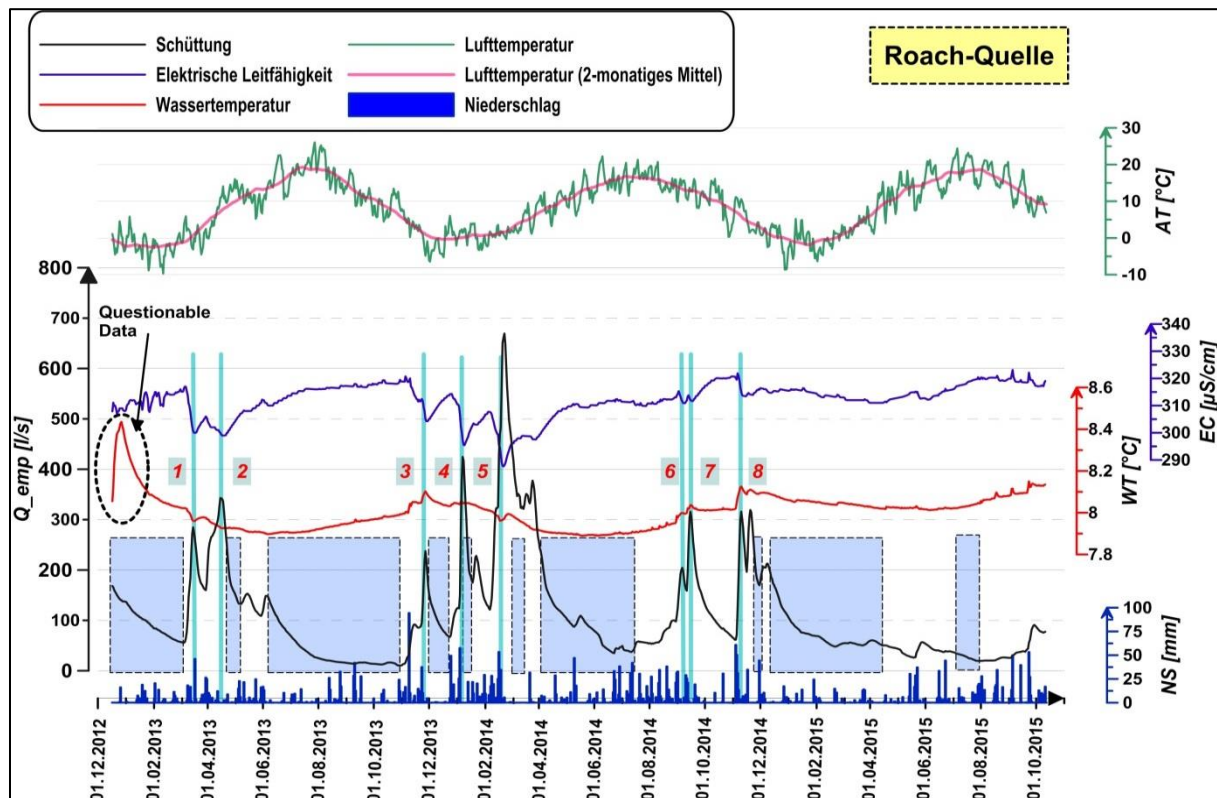


Abbildung 4: Schüttung, natürliche Tracer und Lufttemperatur der Roach-Quelle; Linien mit Nummern zeigen die für die Analyse der natürlichen Tracer ausgewählten Events an, bläuliche Rechtecke die Zeitbereiche für die Analyse der Auslaufkoeffizienten

Die Analyse der natürlichen Tracer hat gezeigt, dass die drei Quellen in der Tat unterschiedlich auf Grundwasserneubildungsereignisse reagieren und zudem eine unterschiedliche Saisonalität aufweisen. Dies ist in Tabelle 1 ersichtlich, wo der saisonale Shift der WT gegenüber der AT angeführt ist sowie die jeweiligen Timelags, welche die durchschnittliche Reaktionszeit der Quellen auf jeweilige GW-Neubildungsereignisse anzeigen. Im Wesentlichen ist dabei auffällig, dass die Pleier- sowie Hojoutz-Quelle sehr schnell auf Niederschlag reagieren. Der rasche Schüttungsanstieg weist auf eine rasche Infiltration und somit hydraulische Anregung des Grundwasserkörpers hin. Die Abnahme der elektr. Leitfähigkeit lässt auf einen geringen Prozentsatz gering mineralisierten Niederschlagswassers schließen, welches innerhalb weniger Stunden an den Quellen ankommt. Bei der Roach-Quelle verhält sich dies anders, da hier eine relativ starke zeitliche Verzögerung auftritt und das Event-Wasser erst nach mehr als 2 Tagen an der Quelle anlangt. Des Weiteren ist der saisonale Shift bei der Roach-Quelle besonders stark ausgeprägt, da die jeweiligen Maxima und Minima der WT um 4-6 Monate gegenüber der AT verschoben sind. Das bedeutet allgemein, dass die WT an der Roach-Quelle im Sommer am niedrigsten und im Winter am höchsten ist. Die Pleier-Quelle zeigt ebenfalls eine ausgeprägte Saisonalität, allerdings beträgt die Zeitverschiebung hier nur 1 bis 2 ½ Monate. Bei der Hojoutz-Quelle ist die WT sehr konstant, dennoch ist eine gewisse geringfügige

Saisonalität festzustellen, die zwischen wenigen Tagen (bei Minima im Winter) und bis zu 4 ½ Monaten (im Sommer) schwankt. Die AT zeichnet sich hier im Winter also weitaus schneller ab als im Sommer.

Bezüglich der Auslaufkoeffizienten ließ sich feststellen, dass alle 3 Quellen zumindest 3 unterschiedliche entwässerungsdynamische Komponenten aufweisen, welche als Quick-, Middle- und Baseflow bezeichnet wurden (Abb. 5, Tabelle 2). Weiterhin ist auffällig, dass die Auslaufkoeffizienten der Roach-Quelle mehr als doppelt so hoch sind wie bei den anderen beiden Quellen. Da der Auslaufkoeffizient die Einheit 1/Tag hat, ergibt sich aus seinem Kehrwert die Anzahl der Tage, welche es bei gleichbleibendem Auslaufverhalten und fehlendem Niederschlag dauerte, bis die Quellen trocken fielen. Das ist vor allem für die Interpretation der Baseflow-Werte relevant, da diese im vorliegenden Falle bedeuten, dass die Roach-Quelle bei starken, ungewöhnlichen Dürreperioden zuerst kein Wasser mehr liefern würde, dann die Pleier-Quelle, dann die Hojoutz-Quelle. Dass dies allerdings nicht zwangsläufig der Fall sein muss und wie sich die anderen Ergebnisse interpretieren lassen, wird im folgenden Abschnitt diskutiert.

Tabelle 2: Auslaufkoeffizienten der drei Quellen

	Quickflow [1/d]	Middleflow [1/d]	Baseflow [1/d]
Roach-Quelle	0.079	0.0286	0.0127
Pleier-Quelle	0.024	0.0104	0.0058
Hojoutz-Quelle	0.021	0.0079	0.0031

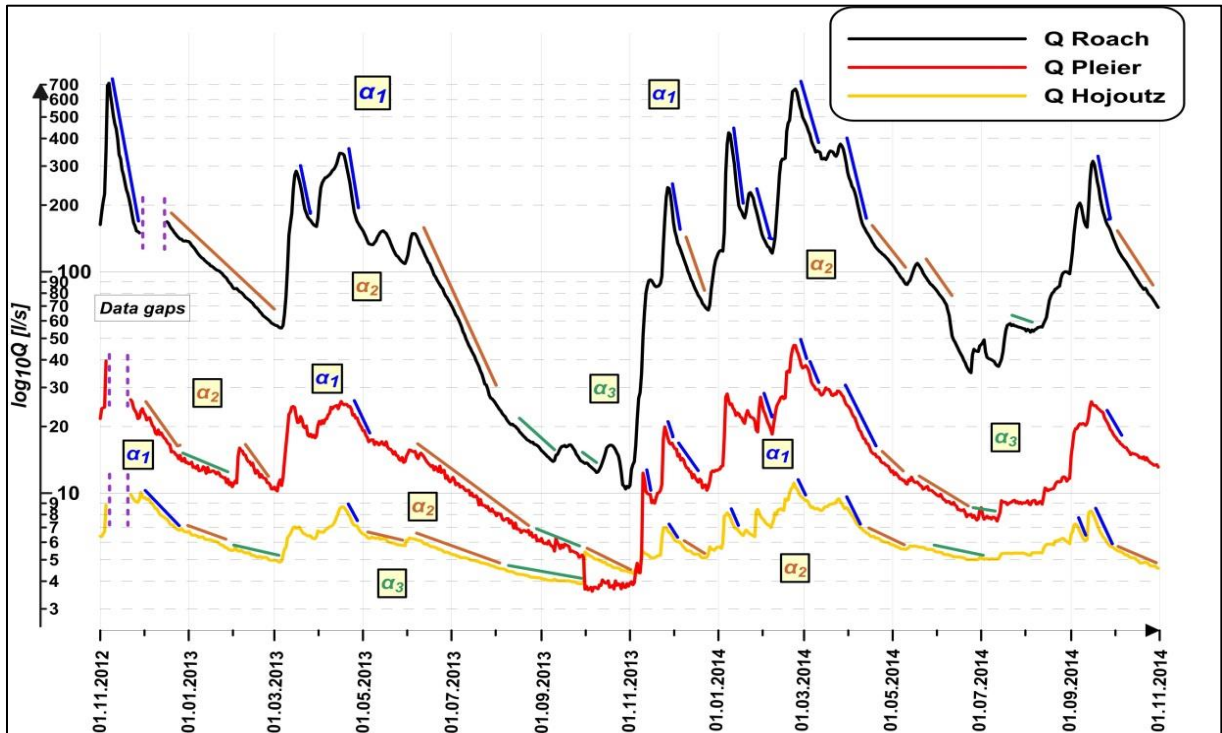


Abbildung 5: Vergleich der Hydrographen der Quellen und deren drei Entwässerungskomponenten sowie Auslaufkoeffizienten

Interpretation/Diskussion

Der Einfluss der Massenbewegungen auf die Entwässerungsdynamik des Turiawald-Plateaus ist vor allem an der Roach-Quelle sehr stark ausgeprägt. Das zeigt sich besonders in der Verschiedenheit der

Reaktionszeiten (Timelags) auf Grundwasserneubildung, die bei der Roach-Quelle mehr als zehnfach länger sind. Wohingegen bei der Pleier- und Hojoutz-Quelle der größte Anteil des Wassers eines Grundwasserneubildungsereignisses schon nach wenigen Stunden ankommt, dauert dies bei der Roach-Quelle durchschnittlich mehr als 2 Tage. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Ablagerungen der Massenbewegung einen zusätzlichen Aquifer darstellen, der durchflossen wird und somit das Wasser 100 Höhenmeter unterhalb der eigentlichen Stauergrenze (Konglomerat – Penken-Formation) austritt. Diese zusätzliche Fließstrecke liegt bei den beiden anderen Quellen, die in etwa an der Stauergrenze austreten, nicht vor. Zusätzlich könnte es im Zuge der Massenbewegung durch Rotations- und Translationsbewegungen der massiven, großen Konglomeratblöcke in den unterlagernden Stauerschichten zur Ausbildung von beckenartigen Strukturen gekommen sein, welche sich ähnlich wie Rückhaltebecken auswirken, indem sie die Verweildauer des Grundwassers erhöhen.

Bemerkenswert ist dabei, dass die hydraulische Anregung auf Neubildungsereignisse ähnlich schnell wie bei den anderen Quellen ist, die Schüttungs-Maxima an der Roach-Quelle aber verzögert auftreten. Dies lässt auf eine gute Durchlässigkeit des Massenbewegungsmaterials (Grobsedimente wie Kies, Steine und Blöcke) schließen, was eine schnelle Infiltration des Wassers im Bereiche der Massenbewegung bewirkt und eine rasche Abflusskomponente erzeugt, bevor dann Reaktionen auf das am Plateau infiltrierte Wasser an der Quellschüttung zu sehen sind.

Dies wird durch die Ergebnisse der Hydrographanalysen bekräftigt, die für die Roach-Quelle deutlich höhere Auslaufkoeffizienten als bei den anderen Quellen ergaben (Tab. 2 und Abb. 5). Es ist anzunehmen, dass das eigentliche Abflusssignal, welches durch die Infiltration des Wassers auf dem Plateau erzeugt wird, durch den Schuttkörper/Massenbewegungskörper überprägt wird. Der Großteil des Einzugsgebiets der Roach-Quelle umfasst Bereiche des Plateaus selbst, wodurch auch das Abflussverhalten dieser Bereiche analog den anderen beiden Quellen (v. a. der Hojoutz-Quelle) an der Roach-Quelle vorliegen sollte. Dies zeigt sich auch in den Abflusskomponenten Middle- und Baseflow der Roach-Quelle, die dem Quick- und Middleflow der beiden anderen Quellen ähnlich sind. An der Hojoutz-Quelle lässt sich hierzu eine weitere wichtige Beobachtung machen: Obgleich das Wasser in einer Quellschüttung im Konglomerat gesammelt wird und das Gestein im Bereich der Quellschüttung keine größeren Störungsbereiche zeigt, weist die schnelle Reaktion von Schüttung und natürlichen Tracern auf eine rasche Infiltrationskomponente hin, die nicht durch Porenmatrix und Kleinklüfte erklärbar ist. Vielmehr ist anzunehmen, dass Niederschlagswasser teilweise über eine Bruchzone in Nahelage zum Fassungsstollen in den Untergrund infiltrierte und bei der Quelle ankommt. Aufgrund der Vielzahl der Bruchzonen auf dem gesamten Turiawald-Plateau ist dies ein für diese Konglomerate durchaus charakteristisches Verhalten, das sich auch für das Einzugsgebiet der Roach-Quelle annehmen lässt. Entlang der vermutlich störungsgebundenen Lineamente am Plateau sind karstmorphologische Erscheinungen wie Dolinen und Ponore zu erkennen, welche eine schnelle und stärkere Infiltration ermöglichen. Diese führt im Zusammenspiel mit den hydraulischen Bedingungen der Massenbewegung zum charakteristischen, Karstquellen nicht unähnlichen Auslaufverhalten der Roach-Quelle.

Des Weiteren ist der geringe Verdünnungseffekt auch bei starken GW-Neubildungsereignissen markant, was sich in nur geringen Absinken der EC (um maximal 10 %) selbst bei starkem Schüttungsanstieg (um fast das Zehnfache) zeigt. Das bedeutet, dass das neu infiltrierte Niederschlagswasser nur einen sehr geringen Anteil der Quellschüttung ausmacht, der in den meisten Fällen weit unter 10 % liegt. Das spricht für eine allgemein längere Verweilzeit des Wassers im Aquifer und unterstreicht somit die Analysen der durchschnittlichen Isotopenalter, welche

zwischen 5 und 7 Jahren lagen (POLTNIG et al., 2007). Das wiederum ist ein Indikator für ein sehr großes Speichervolumen, welches in diesem Konglomerat-Aquifer vorliegt.

Es lässt sich in jedem Falle festhalten, dass der Schuttkörper der Massenbewegung zusätzliche Abflusskomponenten erzeugt, welche sich mit denen der Konglomerate des Turiawald-Plateaus überlagern. Das ist bei den Auslaufkoeffizienten des Baseflows besonders deutlich, denen zufolge die Roach-Quelle doppelt bis vierfach so schnell trocken fallen würde wie die Pleier- und Hojoutz-Quellen. Da der Baseflow aber eigentlich der Abflussdynamik des Konglomerats entsprechen sollte, welches einen Großteil des Einzugsgebiets der Roach-Quelle umfasst, ist anzunehmen, dass der Baseflow der Plateaukonglomerate in ähnlicher Größenordnung auch an der Roach-Quelle vorliegt. Vermutlich ist der eigentliche Baseflow bei den bisher untersuchten Niedrigwasserbedingungen nur noch nicht erreicht worden, da zuvor eine neuerliche Grundwasserneubildung erfolgte.

Ausblick

Im Zuge der Masterarbeit wurden die geologischen Grundlagen gründlich aufgearbeitet, wodurch sich aufgrund einiger Widersprüche in der Literatur Fragen für künftige Untersuchungen ergaben.

Ein wesentlicher Aspekt wäre, eine Bestätigung für eine mögliche miozäne marine Transgression ins Klagenfurter Becken zu finden, welche von einem Forscher in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auf Basis von Foraminiferenfunden angenommen wurde (KAHLER, 1929 und 1931).

Des Weiteren benötigen die verschiedenen Konglomerate, welche im Miozän, Pliozän und Pleistozän im Klagenfurter Becken abgelagert wurden, eine Neubewertung ihres Ablagerungsalters, wozu unter Umständen neue Datierungsmethoden hinzugezogen werden könnten (OSTERMANN et al., 2006).

Mit den Ergebnissen dieser Arbeit wurden wichtige Grundlagen geschaffen, die als Basis für weiterführende Untersuchungen bezüglich Einfluss von Massenbewegungen auf das hydrogeologische System dienen. Als nächster Untersuchungsschritt werden die Entwässerungskomponenten der drei Quellen eingehender untersucht, wozu z. B. verschiedene Möglichkeiten der Zeitreihenanalyse angewandt werden. Die kontinuierlichen Messungen an den drei Quellen werden fortgeführt, sodass längere Datenreihen hoffentlich einen umfassenderen Einblick in die hydrogeologischen Systeme des Konglomeratplateaus und der Massenbewegung gewähren. Ein zusätzliches Augenmerk wird bei dabei auf die mögliche Verkarstung einiger Teilbereiche des Turiawald-Plateaus gelegt.

Wesentliche Informationen zur Geometrie der Aquifere und v. a. deren Basis können geophysikalische Untersuchungen im Bereich der Massenbewegung sowie auf dem Plateau in der Nähe einiger Dolinen liefern, da diese zu wichtigen Erkenntnissen sowohl über die Tiefe der Massenbewegung als auch die Lage des Grundwasserstauers führen könnten.

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meinem Betreuer Gerfried Winkler für die Ermöglichung dieser Masterarbeit sowie die Unterstützung bei selbiger bedanken. Des Weiteren danke ich allen herzlich, die mich bei der Arbeit im Büro sowie im Gelände unterstützt haben. Darunter sind die Bediensteten des Instituts für Erdwissenschaften der Uni Graz und meine Genossinnen und Genossen vom Masterstudium. Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Wasserwerkes Velden, welche die drei Quellen warten und immer mit Interesse und Hilfsbereitschaft dabei waren, wenn es wieder an das

Auslesen der Daten ging! Weiterhin sei Herrn Pilz gedankt, welcher sich mit der Wartung unserer Wetterstation beschäftigt.

Referenzen

- Angerer, H. (1906): Neue Studien im Gebiete des Ostendes des diluvialen Draugletschers. *Carinthia II*, pp. 123-140.
- Canaval, R. (1902): Bemerkungen über einige Braunkohlenablagerungen in Kärnten. *Carinthia II*, pp. 116-140.
- Eicher, H. (1982): Zur Flussentwicklung im Klagenfurter Becken und in der Norischen Senke. *Carinthia II*, Issue 172./92.Jahrgang, pp. 153-172.
- Fellner, D. (1993): Die Massenbewegungen der Sattnitz (Kärnten, Österreich). *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, pp. 315-325.
- Griem, W., Wolf, S., Sylvester, H. & Thiedig, F. (1991): Sedimentologie und Sedimentpetrographie des tertiären Sattnitzkonglomerats zwischen Villach und Klagenfurt (Kärnten, Österreich). *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, Band 134, pp. 27-36.
- Heritsch, F. (1905): Die glazialen Terrassen des Drautales I-III. *Carinthia II*, pp. 127-137; 188-192; 215-228.
- Höfer von Heimhalt, H. (1879): Die Erdbeben Kärntens und ihre Stosslinien. *Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe*, Band 42, pp. 1-90.
- Höfer von Heimhalt, H. (1902): Das Conglomerat bei Bleiberg in Kärnten. *Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt*, pp. 291-293.
- Kahler, F. (1929): Karawanken-Studien II. Die Herkunft des Sedimentes der Tertiärablagerungen am Karawanken-Nordrand. *Zentralblatt für Mineralogie*, pp. 230-250.
- Kahler, F. (1931): Zwischen Wörthersee und Karawanken. *Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark*, pp. 83-145.
- Kahler, F. (1951): Über das Kohlenvorkommen des Turiawaldes südlich Velden am Wörther See. *Carinthia*, pp. 45-55.
- Kahler, F. (1953): Der Bau der Karawanken und des Klagenfurter Beckens. *Carinthia II*, pp. 1-78.
- Klaus, W. (1956): Mikrosporenhorizonte in Süd- und Ostkärnten. *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, pp. 250-255.
- Kuhlemann, T., Scholz, T. & Frisch, W. (2003): Postcollisional stress field changes in Eastern Carinthia. *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, pp. 55-61.
- Mottl, M. (1955): Neuer Beitrag zur Säugetierfauna von Penken bei Keutschach in Kärnten. *Carinthia II*, pp. 60-91.
- Ostermann, M., Sanders, D. & Kramers, J. (2006a): 230Th/234U ages of calcite cements of the proglacial valley fills of Gamperdona and Bürs (Riss ice age, Vorarlberg, Austria): geological implications. *Austrian Journal of Earth Sciences*, pp. 31-41.
- Papp, A. (1957): Landschnecken aus dem limnischen Tertiär Kärntens. *Carinthia II*, Issue 147, pp. 85-95.
- Paschinger, V. (1951): Kärntner Heimatatlas A. Geographischer Atlas. Verlag des Geschichtsvereines für Kärnten. Klagenfurt 1951.
- Poltnig, W. et al. (2007): *Hydrogeologie Sattnitzberge - Sattnitzplateau West KA 42/04*, Graz: s.n.
- Staubig, R., 2011. *The Influence of Extensive Slope Tectonics on the Hydrogeological System Roach Spring (Carinthia/Austria)*. Graz: s.n.
- Steininger, F., Rögl, F., Hochuli, P. A. & Müller, C. (1988): Lignite deposition and marine cycles. The Austrian Tertiary lignite deposits - A case history. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse*, pp. 309-332.
- Ucik, F. H. (1970): Lagerstätten und Bergbaue im Gebiet der Sattnitz - eine montangeologische Übersicht. *Kärntner Museumsschriften*, pp. 87-101.
- van Husen, D. (1987): *Die Ostalpen in den Eiszeiten*. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- von Rosthorn, F. & Canaval, J. L. (1854): *Übersicht der Mineralien und Felsarten Kärntens und der geognostischen Verhältnisse ihres Vorkommens*. Klagenfurt: Ferdinand v. Kleinmayr.
- Weber, L. & Weiss, A. (1983): Bergbaugeschichte und Geologie der Österreichischen Braunkohlevorkommen. *Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt*, p. 317.
- Winkler, G., Poltnig, W. & Schlamberger, J. (2008): Hangtektonische und tektonische Beeinflussung des Grundwassersystems Sattnitz - Computeranwendungen in Hydrologie, Hydrogeologie und Geologie, Beiträge zur COG-Tagung Salzburg 2007, Wichmann, Heidelberg: 38-46