

Schutz und Wasseralter einer komplexen Karstquelle: Hydrogeologie, Isotopen- ($^{18}\text{O}/^{2}\text{H}$, ^3H , ^{14}C) und Gastracermessungen (^3He , FCKW11,-12,-113, SF6)

Thomas Zwack¹ & Martin Kralik²

1) mjp Ziviltechniker GmbH, Bachwinkl 126, A-5760 Saalfelden am Steinernen Meer

2) Dept. f. Umweltgeowissenschaften, Universität Wien, Althanstr. 14, A-1090 Wien

Zusammenfassung

Zur Absicherung der Wasserversorgung der Gemeinde Radstadt wurde 2010 die Walchhof-Hauptquelle gefasst und in das Versorgungsnetz eingebunden. Um den Schutz der neuen Fassungsanlage sicherzustellen, wurde bereits ein zweistufiges Schutzgebiet, unter anderem auf Basis von Tracerversuchen im unmittelbaren Einzugsbereich des Wasserspenders, ausgewiesen. Zum weiteren Schutz der Walchhofquelle, die auch eine überregionale Bedeutung als Notwasserversorgung hat, sollte schließlich ein Schongebietsvorschlag ausgearbeitet werden. Eine Abgrenzung des Schongebiets rein anhand des orographischen Einzugsgebietes war im gegenständlichen Fall nicht zielführend, da der erschotete Karstwasserkörper auf Basis der vorliegenden Schüttungsmengen ein weiträumiges ober- und unterirdisches Einzugsgebiet aufweisen muss. Es wurde daher zunächst versucht, eine Abgrenzung auch unter Berücksichtigung des geologisch und hydrologisch abgrenzbaren Karstwasserkörpers durchzuführen. Wegen des komplizierten tektonischen Baus des Untersuchungsraumes sowie mangels Markierungsversuchen auf regionaler Ebene, existieren, bezogen auf die Ausdehnung eines im Untergrund zusammenhängenden Karstwasserkörpers, erhebliche Unsicherheiten. Mit Hilfe von Isotopen- und Gastracermessungen wurden daher das Alter der erschoteten Wässer sowie die mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes ermittelt, um das hydrogeologische Einzugsgebiet der Quellen besser eingrenzen zu können und die Erfordernis eines weiträumigeren Schongebietes abzuklären. Die neuen Untersuchungsergebnisse bestätigen das hydrogeologische Untergrundmodell, wonach ein Großteil der erschoteten Wässer einem weiträumigen und vor allem hochgelegenen Einzugsgebiet zuzuordnen ist, mit einer Mischung aus einem jüngeren 10 - 20 Jahren Anteil und einem sehr alten Anteil von bis zu mehreren 1000 Jahren. Kurzfristige Starkregenereignisse oder Schneeschmelzen können jedoch eine geringe Menge (< 10%) an sehr jungen Wasser zumischen. In Kombination mit Wasserbilanzierungen in den potentiellen Einzugsgebieten in Form von verkarsteten Karbonatvorkommen – denn diese bilden den Hauptwasserspender der Walchhofquellen – konnte das hydrogeologische Einzugsgebiet schließlich eingegrenzt und somit das geplante Schongebiet deutlich verkleinert werden.

Einführung

Die Walchhof-Karstquellen (ca. 910 m ü.A.) befinden sich rd. 4 km südlich der Gemeinde Radstadt (858 m ü.A.) im Taurachtal (Abbildung). Dort treten auf dem Schwemmfächer des Nerggrabens, der die nach Osten abfallende Talflanke unterhalb des Vorderen Labenecks (1.832 m ü.A.) entwässert, mehrere Einzelquellen bis rd. 35 m oberhalb des rezenten Talbodens zu Tage. Die Quellgruppe weist eine Gesamtschüttung von etwa 500 l/s auf, die gefasste Einzelquelle schüttet in etwa 120 l/s.

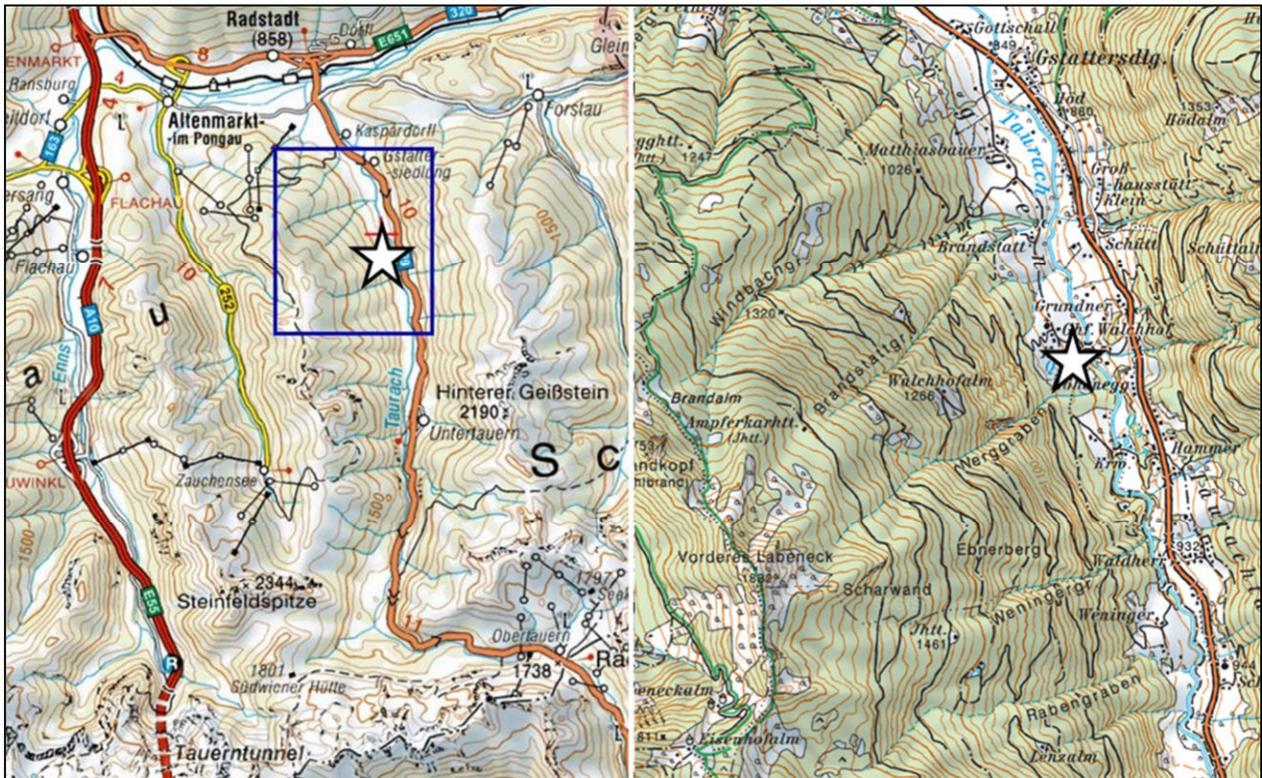


Abbildung 1: Geographischer Überblick mit den Walchhofquellen (Stern) auf der Österreichischen Karte 1:50.000.

Geologie

Großtektonisch können im Einzugsgebiet der Walchhofquellen zwei Deckensysteme unterschieden werden (Abbildung). Das liegende (untere) Stockwerk bildet das unterostalpine Radstädter Deckensystem (RD), welches im Wesentlichen aus triassischen Karbonaten gebildet wird. Darüber liegt das oberostalpine Schladming-Seckau-Deckensystem (SSD), welches durch Quarzphyllite und untergeordnet Quarzite vertreten wird. Als Übergang von quarzitären Gesteinen zu karbonatischen Gesteinen tritt häufig eine gelbbraune poly- und monomikte Rauwacke zu Tage. Rauwacken können jedoch auch innerhalb der Karbonathorizonte auftreten, wenn sie durch starke tektonische Prozesse entstanden sind [14].

In der Tiefenlinie des Taurachtales treten die unterlagernden Karbonate in Form zweier tektonischer Fenster zu Tage, wobei große Areale des Festgesteins von quartären Sedimenten überdeckt werden. Das nördliche dieser beiden Fenster wird als Brandstattwaldfenster bezeichnet. An dessen N' Rand treten die Walchhofquellen zu Tage. Ein zweites Fenster von etwa derselben Größe liegt unmittelbar südlich und wird als Lackengutfenster bezeichnet. Im orographischen Einzugsgebiet der Walchhofquellen bzw. in den unmittelbar angrenzenden Nachbartälern sind noch weitere Karbonatvorkommen des Radstädter

Deckensystems bekannt, die räumlich und geomorphologisch voneinander abgegrenzt werden können (Abbildung 2 & Abbildung 12).

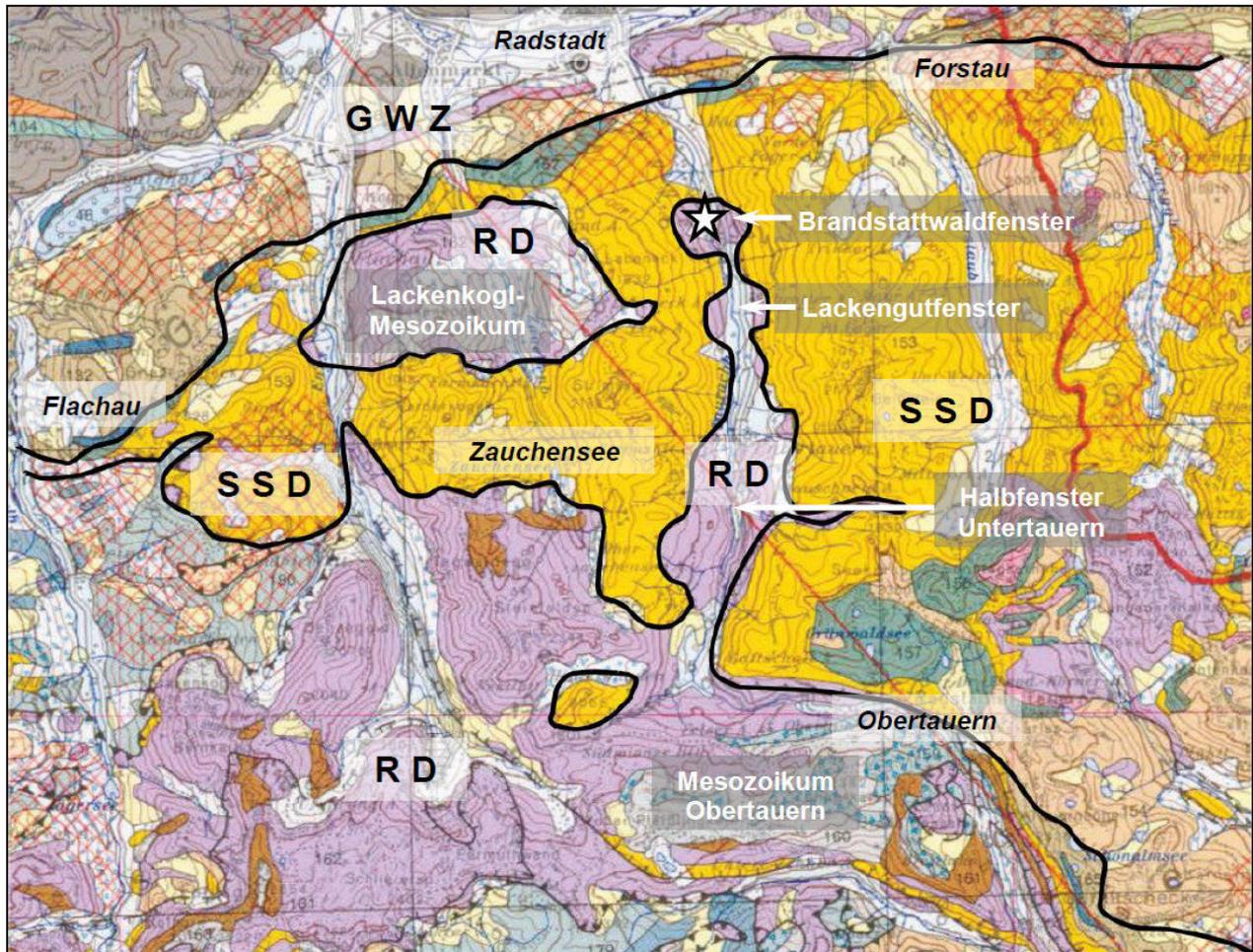


Abbildung 2: Geologischer Überblick mit den Walchhofquellen (Stern) anhand eines Ausschnittes aus der Geologischen Karte von Salzburg (1:200.000) [2]. Legende: Großtektonische Einheiten - GWZ = Grauwackenzone, SSD = Schladming-Seckau-Deckensystem, RD = Radstädter Deckensystem, Gesteinsformationen - gelb-orange: Alpiner Verrucano und Lantschfeldquazit, violett: Triassische Karbonate, grau: Hauptdolomit und Kössen-Formation. Weiße Beschriftung: Maßgebliche Karbonatvorkommen innerhalb des Radstädter Deckensystems.

Die gefasste Walchhof-Hauptquelle liegt auf dem ausgedehnten Schwemmfächer am Ausgang des Nerggrabens, der aus grob-, untergeordnet gemischtkörnigen Wildbachablagerungen sowie Murstoßsedimenten aufgebaut wird. Die angrenzenden Wiesenflächen werden von Grundmoränenablagerungen eingenommen, die vermutlich älteren quartären Ablagerungen und/oder dem anstehenden Festgestein auflagern (Abbildung 3).

Das anstehende Festgestein in Form unterschiedlichster, teils intensiv verkarsteter Karbonat-Abfolgen und Rauwacken des Radstädter Deckensystems tritt erst im Bereich der Schwemmfächerwurzel offen zutage. Ab dort hat der Nerggraben eine klammartige Schluchtstrecke in den Karbonaten geschaffen, die bis auf rd. 1.260 m Seehöhe reicht. Oberhalb ist das Gerinne nur noch flach eingetieft und der Untergrund wird bis in die Gipfelregion des Vorderen Labenecks (1.832 m ü.A.) im Wesentlichen von Quarzphylliten aufgebaut.

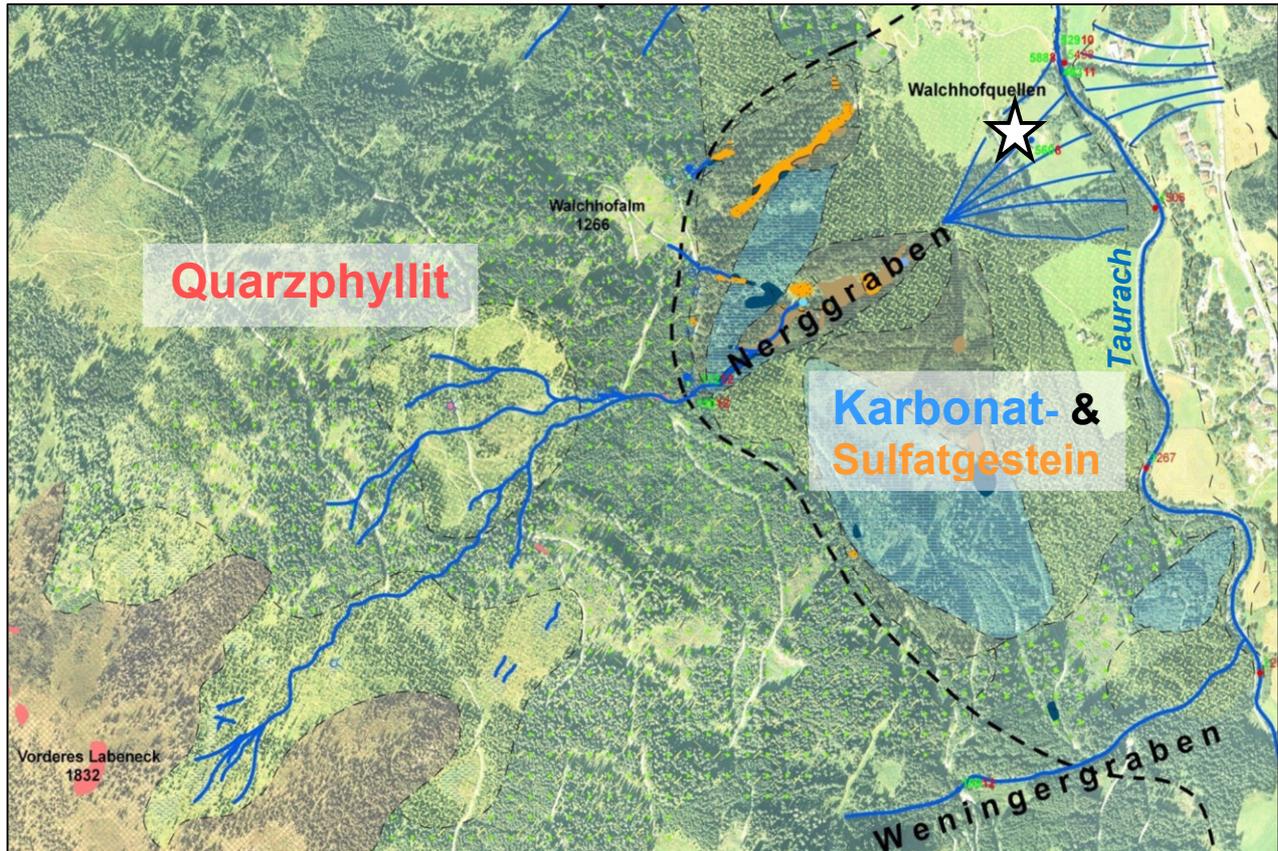


Abbildung 3: Geologische Karte des Nerggrabens, der das unmittelbare orographische Einzugsgebiet westlich der Walchhofquellen (Stern) bildet mit der tektonischen Grenze (schwarz strichliert) zwischen dem RD und dem SSD.

Schüttung und Chemismus der gefassten Walchhof-Hauptquelle

Die Schüttung der gefassten Walchhof-Hauptquelle steigt im aktuellen Beobachtungszeitraum von 2016 bis 2019 jeweils im März-April von 112-116 l/s um 5-10 % auf 122-127 l/s zwischen Mai bis September an (Abbildung). Dieser Anstieg ist wahrscheinlich auf die Erhöhung des hydrostatischen Drucks im Reservoir und/oder auf den Zufluss jüngerer Wässer über den Nerggraben bzw. dessen Schwemmfächer im Zuge der Schneeschmelze zu erklären. Hinweise für einen Direktzufluss liefern positive bakteriologische Befunde während der Schneeschmelze im Zeitraum zwischen März und Mai sowie die Ergebnisse zweier Tracer-Versuche mit Eosin und Uranin zur Ermittlung des Einflusses von versickernden Oberflächenwässern des Nerggrabens. Bei der Einspeisung im Bereich einer Versickerungsstelle in den Karbonaten während einer Niedrigwasserphase wurde auch nach 4 Wochen kein Durchgang in der Hauptquelle festgestellt, wohingegen bereits 5 Stunden nach der Einspeisung innerhalb der Lockergesteine auf dem Schwemmfächer ein Signal gemessen wurde, jedoch sehr stark verdünnt [11].

Interessant ist eine geringfügige Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit von 571 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die gleichzeitig mit der Schüttungserhöhung im Jahre 2019 auftrat, während die Wassertemperatur mit 6,85-6,88°C nahezu konstant bleibt. Die hohe Mineralisation ist auf Sulfat (193 mg/l) und Hydrogencarbonat (154 mg/l) zurück zu führen sowie die Kationen Magnesium (28 mg/l) und Calcium (84 mg/l). Der pH-Wert von 7,41 und gelöster Sauerstoff von 5,51 mg/l wurde nur einmal gemessen und entspricht einem Grundwasser mit längerer Verweilzeit. Diese Ergebnisse entsprechen den sehr konstanten Werten, die im Median seit 1995 mit 6,90°C, 599 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 7,8 und 6,33 mg/l bis 2018 in engen Grenzen gleich geblieben sind [4].

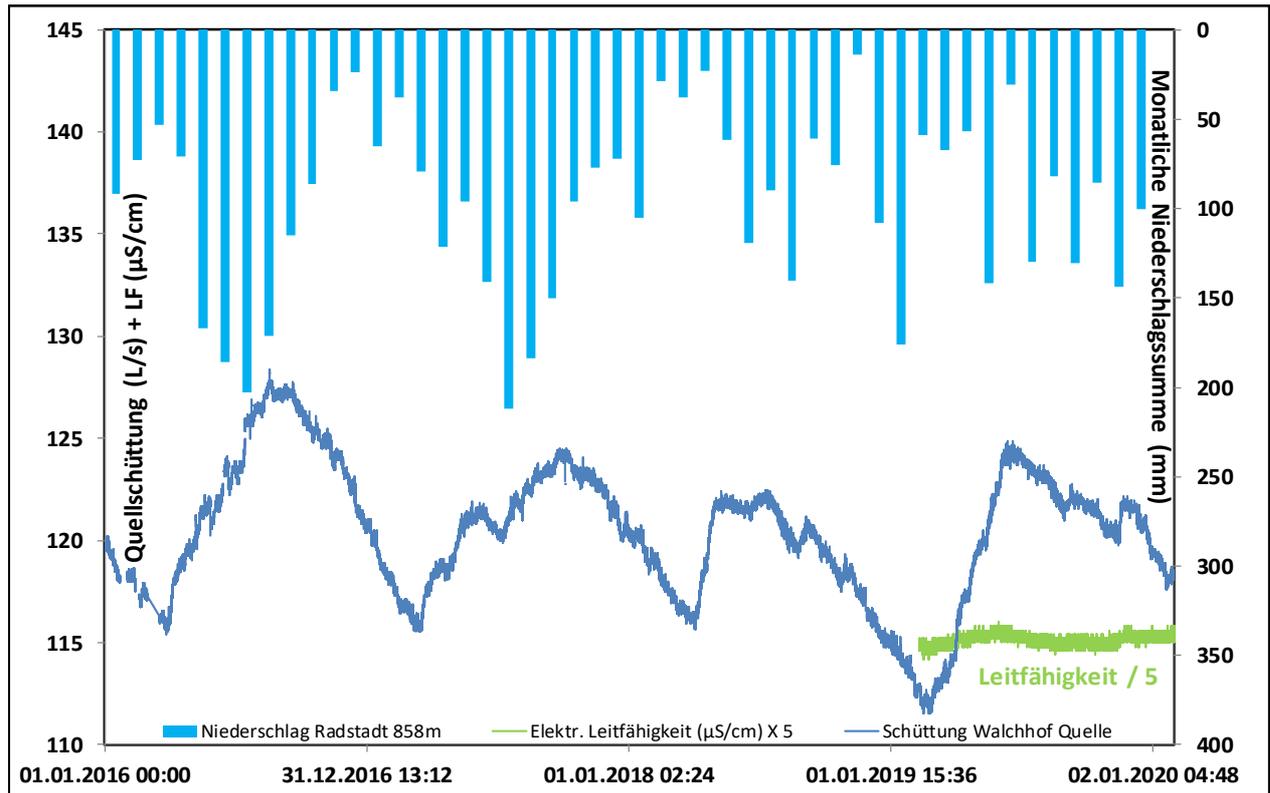


Abbildung 4: Monatliche Niederschlagssummen Radstadt (blaue Säulen; ZAMG und Hydrographischer Dienst), Quellschüttung (Gemeinde Radstadt) und der Leitfähigkeit der gefassten Walchhof-Hauptquelle [10].

Hydrogeologisches Modell

Aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen sind folgende Schlussfolgerungen als Basis für das hydrogeologische Modell für die Walchhofquellen maßgeblich:

- Die Wasseraustritte der Quellgruppe treten auf einem ausgedehnten Schwemmfächer an der orographisch linken Talflanke des Taurachtales zutage.
- Die Walchhofquellen liegen im orographischen Einzugsgebiet eines Karbonatfensters des RD. Die dort auftretenden Dolomite, Rauwacken, Kalke und Kalkschiefer weisen aufgrund ihrer teils hohen Verkarstungsfähigkeit eine, im Vergleich zu den im oberen Hangabschnitt des Nerggrabens auftretenden Quarzphylliten, deutlich höhere Gebirgsdurchlässigkeit auf.
- Im oberen Hangabschnitt des Nerggrabens (Quarzphyllite und deren Verwitterungsprodukte) dominiert der Oberflächenabfluss gegenüber der Versickerung. Im mittleren Hangabschnitt überfließt der Nerggraben Gesteine des RD (Kalke, Rauwacken und Dolomite), die aufgrund ihrer Verkarstungsfähigkeit eine höhere Gebirgsdurchlässigkeit aufweisen und der Nerggraben bei Niedrigwasser (geschätzt bis zu 10 l/s Abflussfracht) in den Karbonaten vollständig versickert. Nur bei Mittel- und Hochwasser kann der Nerggraben bis zum Schwemmfächer – die Karbonate überfließend – abfließen, wobei er aufgrund der hohen Durchlässigkeit des Schwemmfächermaterials nur bei außergewöhnlichen Hochwasserführungen bis zur Taurach vorstoßen kann.

- Das Karbonatfenster im unteren Teil des Nerggrabens ist Teil weiterer tektonischer Fenster, die einerseits am Hangfuß taleinwärts des Taurachtales bis nach Obertauern auftreten, zum anderen auch westlich des Projektstandortes außerhalb des orographischen Einzugsgebietes im sog. Lackenkogel-Mesozoikum beschrieben sind.
- Nördlich des Projektstandortes treten keine Karbonatfenster im Taurachtal auf. Dort reicht der Quarzphyllit bis in den Talboden.
- Stichtagsmessungen der elektrischen Leitfähigkeit (el. LF) entlang der Taurach von Untertauern bis unterhalb der Walchhofquellen sowie an den seitlichen Zubringern und Quellaustritten [6] zeigen, dass ein Zufluss von hochmineralisierten Quellwässern (el. LF > 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) konzentriert auf einen Flussabschnitt von rd. 600 m Länge, der sich ausgehend von den Walchhofquellen taleinwärts erstreckt, erfolgt. Hierdurch erhöht sich die Leitfähigkeit der Taurach von konstanten Werten um rd. 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ausgehend von Untertauern bis auf über 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ unmittelbar flussabwärts der Walchhofquellen.

Aus den oben beschriebenen Punkten wurde das folgende Hydrogeologische Modell abgeleitet:

- Der Wasserträger für die Walchhofquellen sind Karbonate des RD (Kalke, Dolomite und Rauwacken), die am Hangfuß im Taurachtal auftreten und über weite Strecken von eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Lockergesteinen überlagert werden.
- Der hohe Sulfatgehalt des Quellwassers wird auf gelösten Gips, welcher ursprünglich in den Rauwacken vorhanden war bzw. noch vorhanden ist, zurückgeführt.
- Die Karbonate im Nerggraben sind nicht der Hauptwasserträger für das Wasser der Walchhofquellen. Demzufolge liegt das Einzugsgebiet des Wasserträgers südlich der Fassungsanlage im Taurachtal.
- In den Karbonaten des Radstädter Deckensystems ist ein mächtiges, ergiebiges Bergwasservorkommen vorhanden. Dies resultiert aufgrund der hohen Gebirgsdurchlässigkeit der verkarstungsfähigen Ausgangsgesteine und deren großer oberflächlicher Verbreitung taleinwärts der Taurach bis in den Großraum der Gnadentalalm bzw. Obertauern.
- Aufgrund der Tatsache, dass talaustrwärts der Walchhofquellen der Bergwasserleiter in Form der Karbonate von gering durchlässigen Gesteinen der Radstädter Quarzphyllite abgeriegelt wird, ist das Bergwasser gezwungen, vergleichbar einer Überlaufquelle, dem hydraulischen Gradienten folgend, an die Oberfläche auszutreten.
- Dass dies punktförmig passiert, wird auf eine zum Teil lückenhafte Grundmoränenbedeckung am Hangfuß zurückgeführt, die aufgrund ihrer sehr geringen Wasserdurchlässigkeit das Bergwasser in den unterliegenden Karbonaten abdämmt und gleichsam gespannte Bergwasserverhältnisse verursacht.
- An den Schwemmfächer des Nerggrabens ist ein weiteres Grundwasservorkommen („interflow“) gebunden, welches auf die Walchhofquellen einen geringen Einfluss hat. Dieses Grundwasservorkommen, welches vom versickernden Nerggraben gespeist wird, fließt vermutlich auf der unterhalb der Schwemmfächerablagerungen stauenden Grundmoräne ab.

Isotopen und Gastracer

5.1 Probenahme

Das Quellwasser der gefassten Walchhof-Hauptquelle wurde über ein Jahr (Feb. 2019-Feb. 2020) wöchentlich beprobt und davon wurden monatlich 15 Proben auf Sauerstoff-18 und Wasserstoff-2 Isotope ($\delta^{18}\text{O}$, ^2H) analysiert. Tritium/Helium-3, Kohlenstoff-13, Radiokarbon (^{14}C) Isotope und FCKWs wurden von den Proben im April und Oktober 2019 untersucht. Ebenso wurden die im Brandstattwaldfenster liegenden Hammerquellen an der östlichen Taurachtalflanke einmalig beprobt sowie 6 Mal, die auf 1.850 m über Obertauern liegende Plattenkarquelle, zur Höhen-Kalibrierung beprobt und analysiert [7]

5.2 Sauerstoff-18/Wasserstoff-2 ($\delta^{18}\text{O}/^2\text{H}$)-Messungen

Die Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) Werte der Walchhof Quelle stiegen über die letzten 23 Jahre (1996-2019) im Mittel um 0,3 ‰ an. Das ist häufig in österreichischen Quellen und auf den Klimawandel zurückzuführen.

Im Jahre 2019 sinken vom Februar bis Juli die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von -12,96 auf -13,14 ‰ (Abbildung 5 & Abbildung). Abhängig von der Zusammensetzung der Winterniederschläge bzw. des Schneeschmelzwassers ($\delta^{18}\text{O}$ -15 bis -20 ‰) bedeutet das eine **Zumischung von 3-10%**.

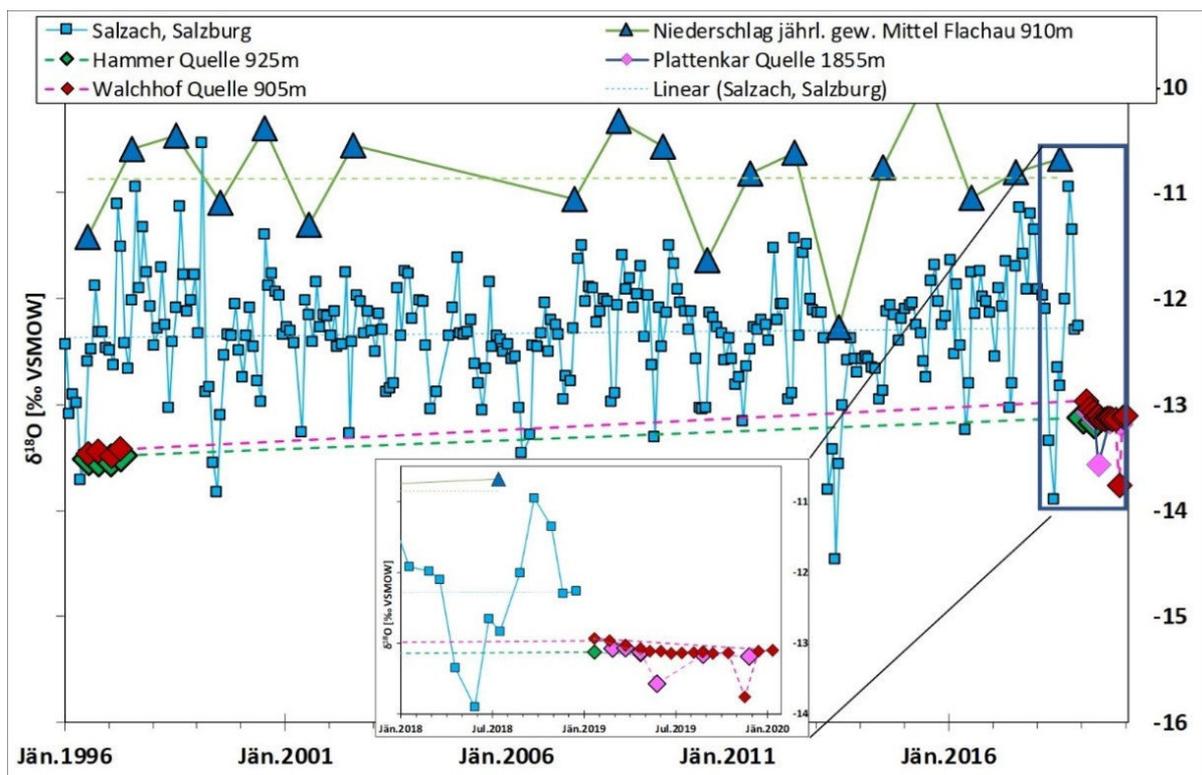


Abbildung 5: $\delta^{18}\text{O}$ -Messwerte der untersuchten Quellen im Vergleich zu den Jahresmittelwerten der Niederschlagsstation Flachau und den Monatswerten der Salzach [1] von 1996-2018. Die Messwerte der Walchhof- und Hammer Quelle von 1996-1997 stammen von [8].

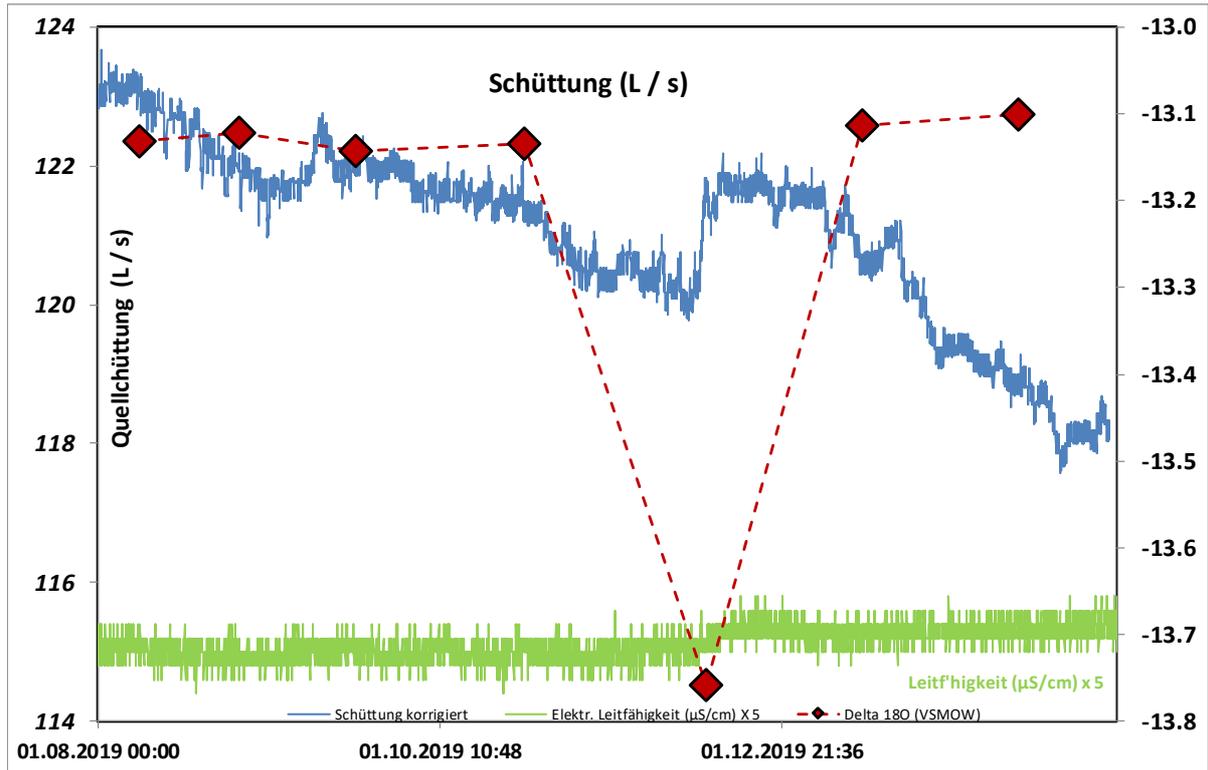


Abbildung 6: $\delta^{18}\text{O}$ -Messwerte im Vergleich zu den Schüttungs- und Leitfähigkeitsdaten der Walchhof Quelle im Zeitraum von August 2019 – Jänner 2020. Am 18.11.2019 war der $\delta^{18}\text{O}$ -Messwert signifikant abgereichert, während gleichzeitig die Schüttung kurzfristig von 120 auf 122 l/s (2 %) und die elektrische Leitfähigkeit geringfügig (575 auf 577 $\mu\text{S}/\text{cm}$) anstieg.

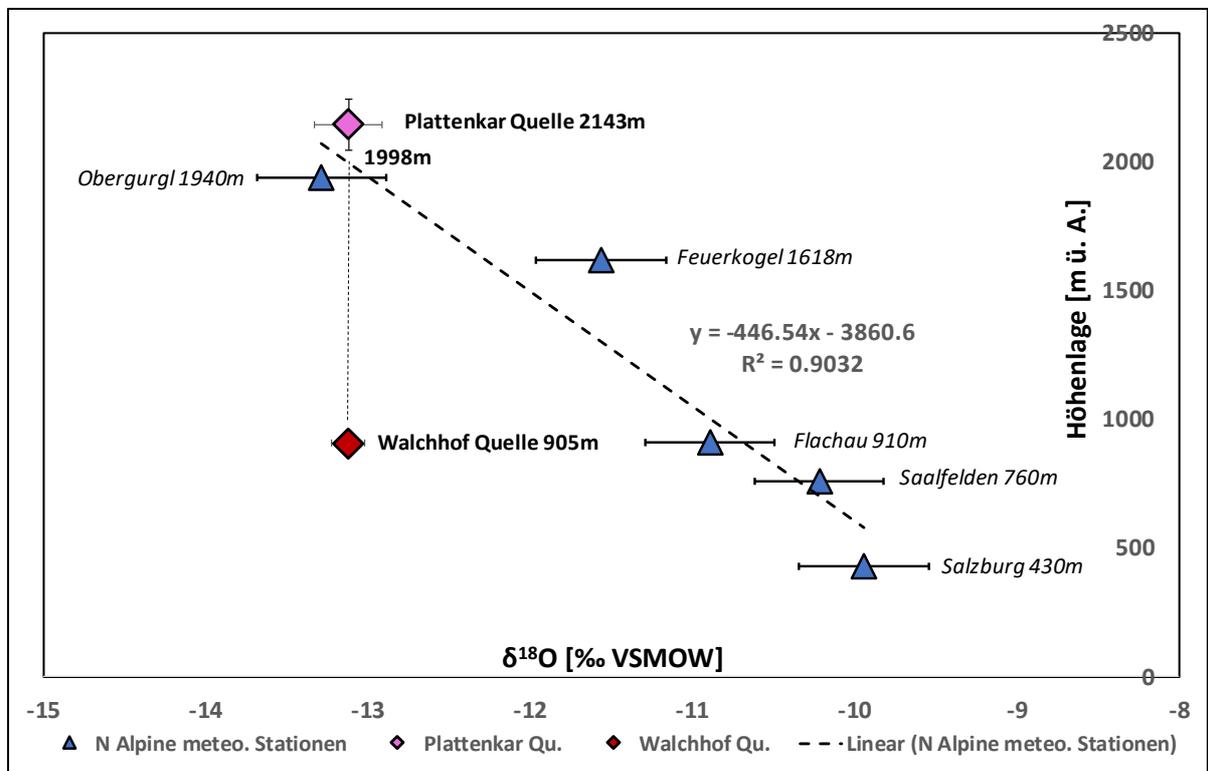


Abbildung 7: $\delta^{18}\text{O}$ - vs. Höhenlage von meteorologischen Stationen im Raum Salzburg, Oberösterreich und Tirol in guter Übereinstimmung mit den mittleren Daten der Plattenkar Quelle (Obertauern). Daraus lässt sich die mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes der Walchhofquellen (2000 ± 200 m) abschätzen.

Der mittlere jährliche $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Walchhof Quelle von $-13,12 \pm 0,18 \text{ ‰}$ erlaubt es, die mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes des Quellwassers abzuschätzen. Die hier untersuchte Plattenkar Quelle (Obertauern) mit enger definierter Einzugsgebietshöhe sowie die zehnjährigen Mittel von 5 meteorologischen Stationen [1] erlauben es, eine Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert und Niederschlagshöhe zu erstellen. Daraus lässt sich die mittlere **Höhenlage des Einzugsgebietes** der Walchhofquellen mit **2000 \pm 200 m** ableiten (Abbildung 7).

Die 650 m weiter südöstlich liegenden Hammer Quellen haben ähnliche $\delta^{18}\text{O}$ -Werte und daher vermutlich ähnliche Einzugsgebietshöhen. Bloß deuten die erheblich erhöhten Leitfähigkeits- und Sulfatwerte [4] der Hammer Quellen auf längere oder intensivere Kontakte mit gipsführenden Karstformationen hin.

5.3 Tritium- und Helium-3/Helium-4 Messungen

Der Tritiumgehalt der Walchhof-Hauptquelle mit 5,2 Tritiumeinheiten (TE) ist geringer als der gegenwärtige Niederschlag in den meteorologischen Stationen Flachau und Saalfelden bzw. im Flusswasser der Salzach. Die Abnahme der hohen Tritiumwerte in den Jahren 1996/97 sowohl der Walchhof- als auch der Hammer Quelle ist durch den radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit von 12,32 Jahren) und den komplexen Mischungsverhältnissen im Einzugsgebiet zu erklären. Dank dieser alten Tritiumdaten lässt sich mittels „lumped parameter“ Modellen wie dem Exponential Piston-flow (EPM) und dem Dispersions Modell (DM) [7], wenigstens für den jüngeren tritiumhaltigen Anteil, eine „mittlere Verweilzeit“ im Untergrund von 11 Jahren berechnen (Abbildung 8).

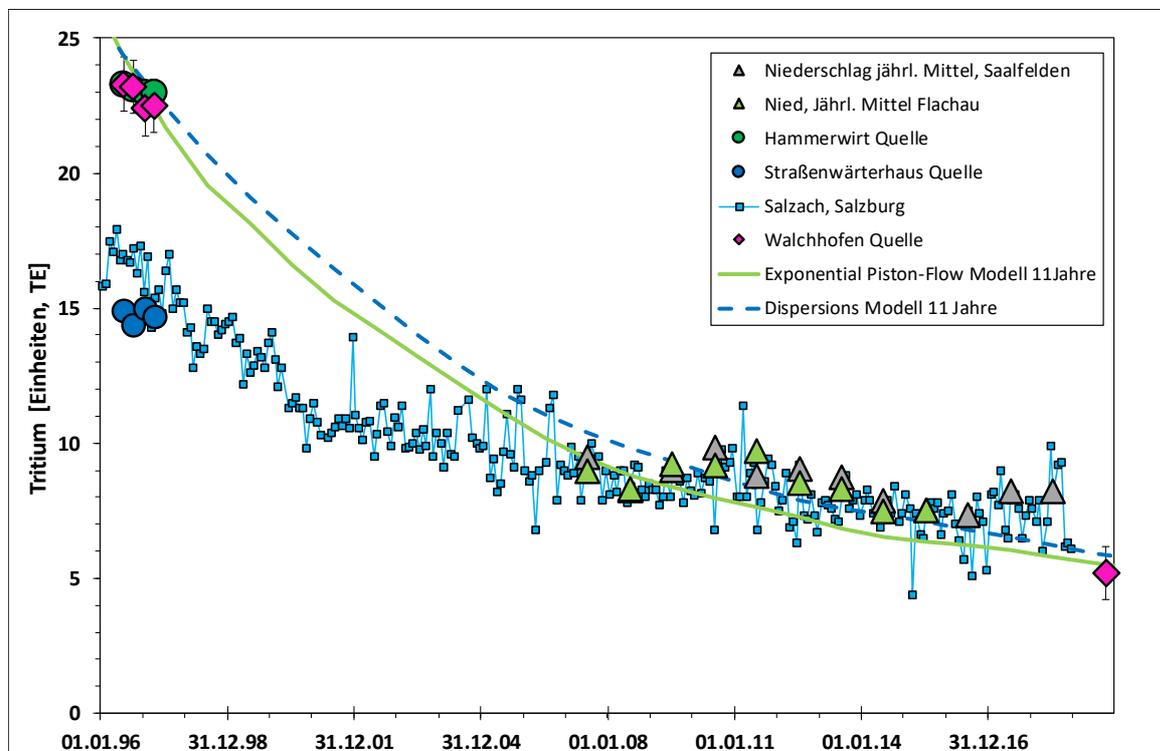


Abbildung 8: Tritium (^3H)-Messwerte der untersuchten Quellen im Vergleich zu den Jahresmittelwerten und den mittleren Jahreswerten der Niederschlagsstationen Flachau und Saalfelden [1] von 2007-2018. Die Messwerte der Quellen der Jahre 1996-1997 stammen von [8]. Die Linien zeigen die Altersentwicklung (11 Jahre mittlere Verweilzeit) des Exponential Piston-flow Modells (EPM in grün) und des Dispersion Modells (DM in blau).

Da Tritium zu dem Edelgas Helium-3 zerfällt, kann man bei der gleichzeitigen Messung beider mit den gleichen „lumped parameter“ Modellen für den jüngeren tritiumhaltigen Anteil eine mittlere Verweilzeit berechnen. Dies ergibt jedoch ein signifikant höheres Modellalter von 23 Jahren (Abbildung 9). Daher ist die beste Schätzung des **jüngeren Anteils des Walchhof Quellwassers 10 bis 20 Jahre**.

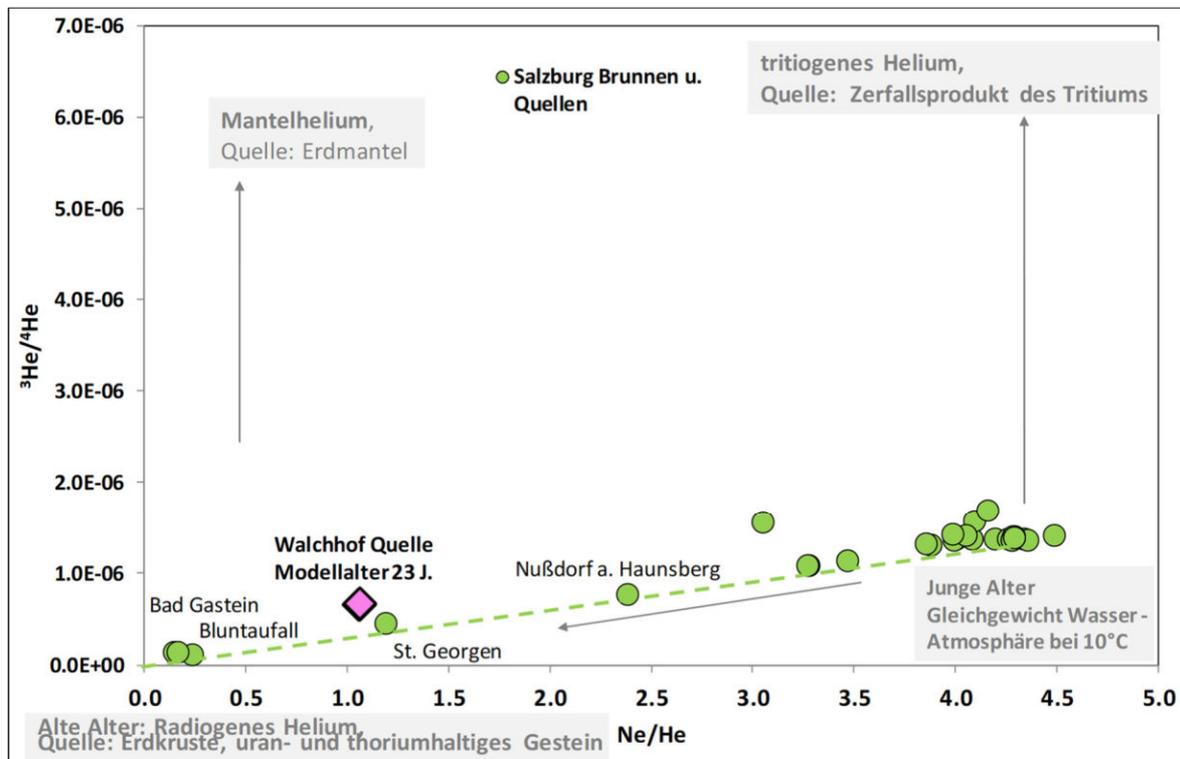


Abbildung 9: Neon/Helium vs. Helium-3/Helium-4-Verhältnisse in Salzburger Brunnen- und Quellwässern. Identische hohe Helium-4-Gehalte im April und Oktober 2019 in den Walchhof Quellwässern bestätigen einen konstanten hohen Anteil an sehr alten Wässern. Das Modellalter des jüngeren, tritiumhaltigen Anteils beträgt 23 Jahre.

5.4 CFC-11, CFC-12, CFC-113 und SF₆ Messungen

Die Abschätzung der mittleren Verweilzeit des Quellwassers beruht darauf, dass sich die jeweilige Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW = CFC)-konzentrationen in der Atmosphäre in dem versickernden Niederschlagswasser entsprechend der Temperatur und Höhenlage lösen. Bei Kenntnis der Konzentrationsentwicklung (USGS 2019) kann der Zeitpunkt der Einleitung ins Quellwasser abgeschätzt werden. Wenn die gemessenen Konzentrationen nicht nahe der Konzentrationsentwicklung liegen, dann gab es nahe dem Einzugsgebiet eine anthropogene Kontamination oder es kam zur Mischung verschieden alter Quellwässer.

Im Fall der Walchhofquellen liegen die CFC-(=FCKW) Messwerte nahe einer Mischungslinie zwischen einem alten CFC-freien (>80 Jahren) und einem jungen CFC-haltigen Anteil (Abbildung 10 A-C). Je nachdem bei welcher Konzentration man den jungen Anteil (1995-2019) annimmt, so lässt sich ein Anteil von **40-58% an altem CFC-freien (>80 Jahren) Quellwasser** berechnen.

Die Analyse der Schwefelhexafluorid (SF₆)-konzentration von 39,7 (fmol/kg) bezeugt nur einen signifikanten Überschuss, dessen Daten zur Alterseinschätzung nicht genutzt werden können. Vermutlich sind Kristallingesteine im Einzugsgebiet eine natürliche Quelle dieses SF₆-Überschusses.

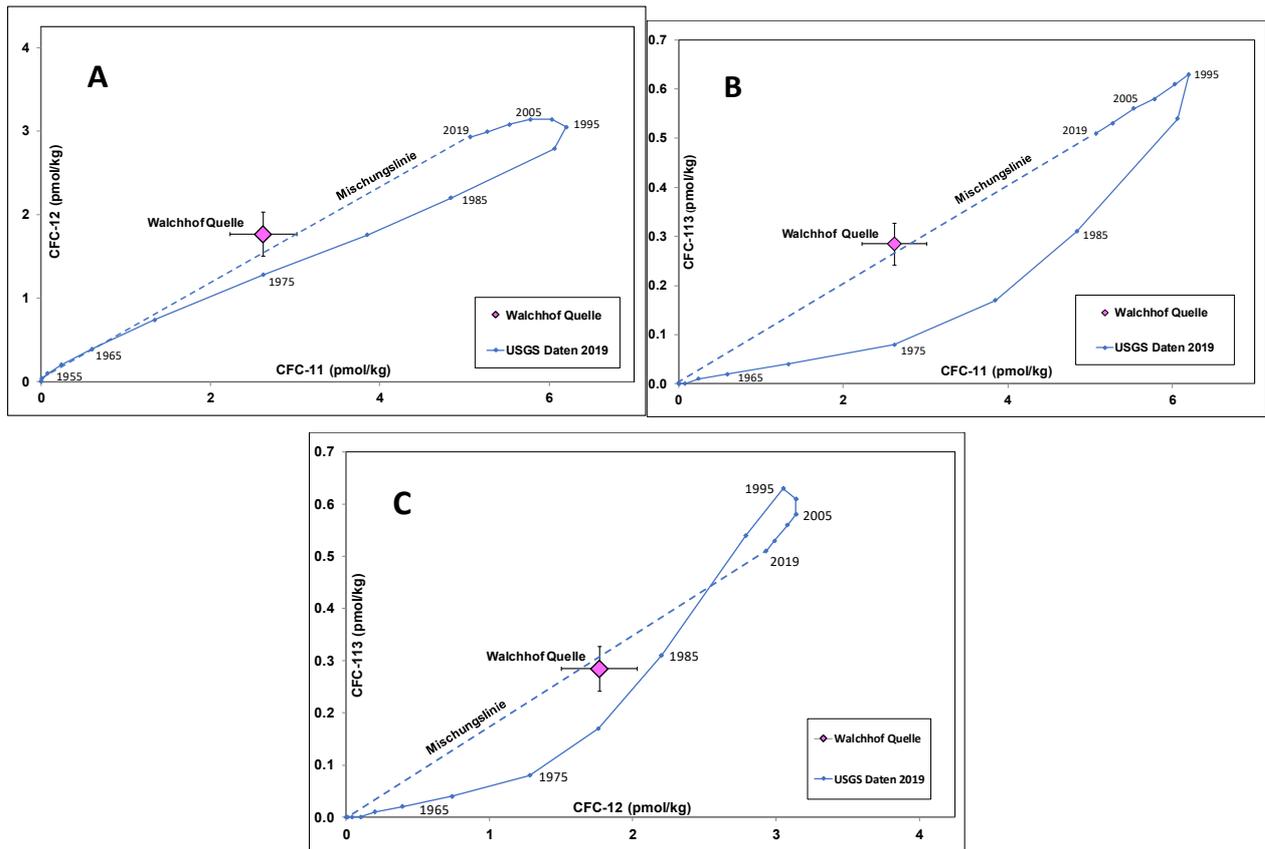


Abbildung 10: FCKW = CFC-11, CFC12 und CFC113 gelöst in Wasser (pmol/kg) bei 4 °C und 2000m Höhe berechnet nach den Konzentrationsmessungen des USGS (2019) über die Jahre 1940 – 2019 und die Konzentration im Walchhof Quellwasser. Mischungslinie zwischen CFC-freien alten und jungen Wässern. A) CFC-11 vs. CFC-12, B) CFC-11 vs. CFC-113, C) CFC-12 vs. CFC-113.

5.5 Kohlenstoff-13 ($\delta^{13}\text{C}$) und Radiokarbon (^{14}C) –Messungen

Der Kohlenstoff-13 des anorganischen gelösten Kohlenstoffs (DIC) wird gemessen, um abschätzen zu können wie viel von dem ursprünglich infiltrierten Kohlenstoff durch die Lösung mit ^{14}C -freien Karbonatgesteinen verdünnt wird. Die Werte der Grundwässer des Wr. Beckens und der Oberösterreichischen Molassezone deuten darauf hin, dass, je länger die Wässer unterwegs sind (geringere ^{14}C -Gehalte), desto mehr ^{14}C -freier Kohlenstoff wird aus den Karbonaten gelöst und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werten verschieben sich mehr zu den für marine Karbonate typischen Wert von 0 ‰.

Das hier untersuchte Walchhof Quellwasser liegt auf einem ähnlichen Trend (Abbildung 11 A).

Die Darstellung der Tritiumwerte gegen die Radiokarbonwerte (Prozent modernen Kohlenstoffs), zeigt, dass viele der hier untersuchten Grundwässer des Wr. Beckens und der Oberösterreichischen Molasse eine Mischung aus „jüngeren“ tritiumhaltigen Wässern (jünger als 70 Jahre) und einem sehr altem tritiumfreien Grundwasser sind. Nach der $\delta^{13}\text{C}$ -Korrektur des Radiokarbonmesswerts von 44,4 % modernen Kohlenstoffs wird eine Verschiebung auf 71 % berechnet. Der korrigierte Wert passt gut zu den Trends der oben erwähnten Grundwassergebiete (Abbildung 11 B).

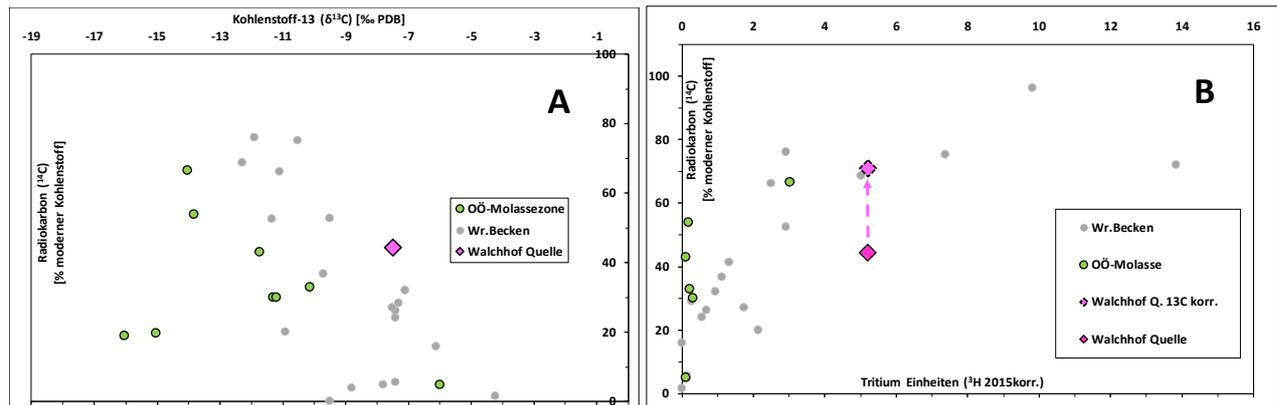


Abbildung 11: A) Kohlenstoff-13 ($\delta^{13}\text{C}$) gegen Radiokarbon (^{14}C)-Messungen und B) Tritium (^3H) gegen Radiokarbon (^{14}C)-Messungen des gelösten anorganischen Kohlenstoffs der Walchhofquelle. Zum Vergleich werden Werte von Grundwässern des Wiener Beckens und der Oberösterreichischen Molassezone dargestellt. Die Tritiumwerte wurden zu Vergleichszwecken auf das Jahr 2015 zerfallskorrigiert.

Berechnet man eine mittlere Verweilzeit mit einem **Radiokarbonwert von 71 % modernen Kohlenstoffs so kommt man auf 1500 bis 3000 Jahre**. Berücksichtigt man jedoch die Erkenntnisse der FCKW Untersuchungen, nämlich, dass der alte Anteil der Quellwassermischung zwischen 40 – 58 % betragen könne, dann muss man davon ausgehen, dass dieser alte Anteil eine Verweilzeit von mehr als 10000 Jahren haben kann.

Wasserbilanz und hydrogeologisches Einzugsgebiet

Mit Hilfe der neuen Erkenntnisse aus den Isotopen- und Gastraceruntersuchungen (Punkt 5) sowie den durchgeführten Wasserbilanzierungen konnte das potentielle Einzugsgebiet des Wasserspenders nach hydrogeologischen Kriterien eingegrenzt werden. Demnach sind Flächen zwischen rd. 2.000 +/- 200 m ü.A. (Abbildung 7) mit verkarstungsfähigen Gesteinen (i.W. Karbonate) des RD maßgeblich für die Grundwasserneubildung bzw. die Alimentation der Walchhofquellen.

In einem GIS-Projekt wurden daher Karbonatflächen des RD im potentiellen Einzugsgebiet der Walchhofquellen mit dem Geländemodell bzw. dem Höhenbereich über 1.800 m verschnitten, wobei drei Höhenstufen ausgeschieden wurden (Abbildung 12). Aufgrund der strukturellen und tektonischen Rahmenbedingungen, den hydrographischen bzw. morphologischen Gegebenheiten (Entwässerungsstrukturen mit abflusslosen Senken, Dolinen, Uvalas, etc.) sowie den durchgeführten Wasserbilanzierungen wurde das potentielle hydrogeologische Einzugsgebiet der Walchhofquellen im Bereich des Mesozoikums von Obertauern schließlich nach Süden, über den Hauptkamm von Pleißling im Westen bis zur Kesselspitze im Osten, erweitert (Abbildung 12). Beispielsweise stellt das Wildseekar und der Pleißlingkessel eine teils Seen erfüllte Aneinanderreihung von Großdolin ohne oberirdischen Abfluss dar [13]. Eine maßgebliche Alimentation aus dem Lackenkogl-Mesozoikum im Westen der Walchhofquellen kann aufgrund der ausgeglichenen Wasserbilanz für das Zauchbachtal ausgeschlossen werden.

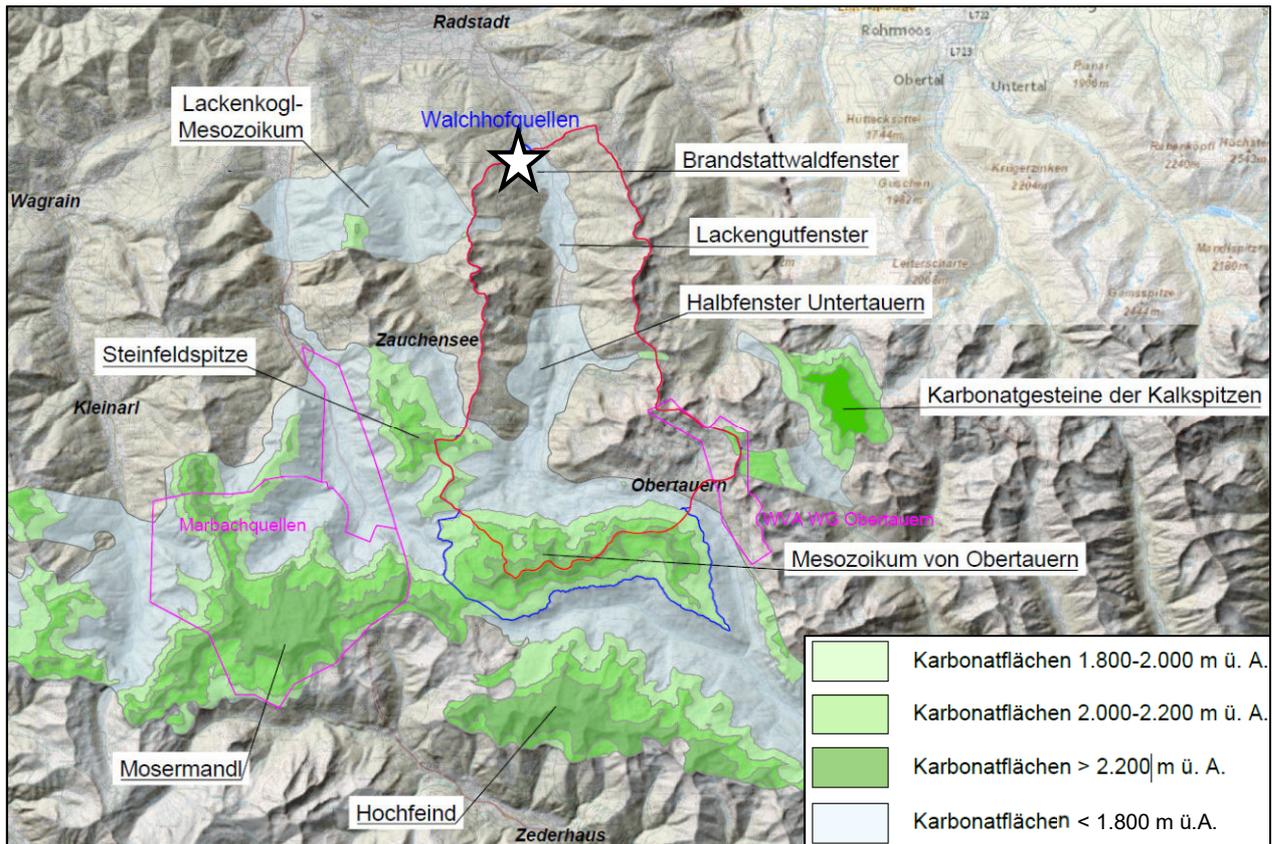


Abbildung 12: Karbonatvorkommen im Umfeld der Walchhofquellen (Stern) untergliedert nach Höhenstufen mit dem orographischen EZG der Taurach auf Höhe der Walchhofquellen (rot), dem nach Süden erweiterten hydrogeologischen EZG (blau) und bestehenden Schongebieten (pink).

Das bedeutet, dass auch Niederschlagswässer, die auf die verkarsteten Regionen südlich des orographischen Einzugsgebiets fallen und unterirdisch entsprechend dem dominierenden N' Schichteinfallen in das Taurachtal abfließen, berücksichtigt werden. In jenen Abschnitten, die in den entsprechenden Höhenstufen über 1.800 m nicht von Karbonaten aufgebaut werden, wurde das hydrogeologische Einzugsgebiet mit dem orographischen Einzugsgebiet ident festgelegt.

Somit ist das maßgebliche Einzugsgebiet südlich der Walchhofquellen in mindestens 10 bis 11 km Entfernung im Raum Obertauern anzusiedeln, was wiederum mit den teils (sehr) hohen Wasseraltern korreliert. Eine mögliche Erklärung für die Zweiteilung in einen relativ jungen Anteil und einen (sehr) alten Anteil der Wässer, ist möglicherweise auf die Struktur des Karstaquifers zurück zu führen, mit Hauptfließwegen in Form von verkarstungsbedingt aufgeweiteten, höhlen- und röhrenförmigen Hohlräumen sowie untergeordneten Fließwegen, die an Trennflächen mit geringen Öffnungsweiten gebunden sind. Entstammen die Wässer also demselben Haupteinzugsgebiet im Raum Obertauern, so kann für die jüngeren Wässer (10-20 Jahre) eine mittlere Mindestfließgeschwindigkeit in der Größenordnung von wenigen Metern pro Tag (rd. 1,4 bis 2,7 m/Tag) und für den (sehr) alten Wasseranteil (1.500 bis 3.000 Jahre) von wenigen Zentimetern am Tag (rd. 1 bis 2 cm/Tag), angenommen werden.

Auch der Einfluss sehr junger Wässer konnte in den neueren Untersuchungen erneut bestätigt werden, was für eine Beeinflussung, durch im Nerggraben bzw. auf dem Schwemmfächer periodisch versickernde Oberflächenwässer im Zuge der Schneeschmelze bzw. Starkniederschlägen, spricht.

Schongebiet

Durch die gewonnenen Erkenntnisse konnte das bestehende hydrogeologische Modell wie unter Punkt 4 beschrieben, im Hinblick auf die Vulnerabilität der Walchhof-Hauptquelle, im Wesentlichen bestätigt werden.

Die älteren Wasseranteile (junge bis sehr alte Wässer), die den Großteil der Quellschüttung ausmachen, sind aufgrund des hohen Alters und der langen Verweilzeiten bereits gut geschützt gegen Verunreinigungen bzw. anthropogene Beeinflussungen. Dabei sind auch die geringe Besiedlung sowie die Ursprünglichkeit im Haupteinzugsgebiet hervorzuheben, weshalb eine Ausdehnung des Schongebietes bis in den Raum Obertauern aus fachlicher Sicht nicht erforderlich ist.

Da die mittlere Einzugsgebietshöhe in (hoch-) alpinen Höhenlagen ermittelt wurde, ist eine maßgebliche Alimentation des Karstaquifers im Bereich der beiden Karbonatfenster im Talbodenbereich nicht gegeben. Zum einen werden die beiden Karbonatfenster über weite Strecken von eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Lockergesteinen überlagert, in denen zumindest im Taltiefsten ein Begleitgrundwasserkörper der Taurach gebunden ist, wodurch der gegenständliche Karstaquifer gut geschützt ist, gegenüber Einträgen und Verunreinigungen von der Oberfläche. Zum anderen beginnt das Lackengutfenster in mehr als 1 km Entfernung zu den Walchhofquellen und sind entsprechend lange Verweilzeiten gegeben bis zu den Walchhofquellen. Daher besteht im Talbodenbereich der beiden Karbonatfenster ein (Rest-) Risiko in quantitativer Hinsicht bei tiefreichenden, bis in den Karstwasserkörper reichenden Bohrungen, da hierdurch theoretisch ein Überlauf bzw. Auslass (artesisch gespannt) geschaffen werden kann.

An den nicht besiedelten und nur durch überwiegend nicht öffentlich zugängliche Forstwege erschlossenen Hangflanken im Bereich der beiden Karbonatfenster (Brandstattwald- und Lackengutfenster) sollte nach Möglichkeit der derzeitige Ist-Zustand mit extensiver Weidenutzung sowie moderater Waldbewirtschaftung weitestgehend erhalten werden, wobei die Gefährdung für die Walchhofquellen außerhalb des engeren Schongebiets (s.o.) als gering beurteilt wird.

Ein „engeres“ Schongebiet, welches den Nerggraben und das Brandstattwaldfenster W' der Taurach samt dem orographischen Einzugsgebiet bis in die Kammregion W' davon einschließt, wurde durch die Erkenntnisse aus den Isotopenuntersuchungen, aus denen die Zumischung von Wässern aus einem sehr nahe gelegenen Einzugsgebiet mit kurzen Verweilzeiten von wenigen Tagen bis Wochen hervorgeht, bestätigt. Diese sehr jungen Wässer stellen für das Quellwasser das größte Gefahrenpotential in qualitativer Hinsicht dar, wobei hier im Wesentlichen Störfälle mit mineralölbetriebenen Maschinen und Fahrzeugen im Bereich der Forstwege sowie im Zuge der Waldbewirtschaftung anzuführen sind.

Schlussfolgerungen

Sorgfältige geologische Kartierungen, hydrogeologische Aufnahmen (Abflüsse, Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen), hydrologische Wasserbilanzen sowie eine Kombination von Wasser-Isotopen- und Gastracerversuchen ermöglichen ein plausibles hydrogeologisches Modell auch für komplexe alpine Karstquellen zu erstellen. Bezüglich der zeitweisen Zumischung von geringen Anteilen sehr junger, potentiell mikrobiologisch belasteter Wässer erwiesen sich die kleinräumigen Fluoreszenz-Tracerversuche sowie die kontinuierliche Aufzeichnung der Quellschüttung und deren Leitfähigkeit in Kombination mit regelmäßiger Isotopenuntersuchungen als erfolgreich.

Referenzen

- [1] ANIP (2019): Austrian Network of Isotopes (^{18}O , ^2H , ^3H) in Precipitation and Surface waters. Ministry of Agriculture, Forestry, Environments and Water management, offices of provincial governments, Austrian Institute of Technology and Environmental Agency Austria, Vienna. <http://www.umweltbundesamt.at>.
- [2] GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2005): Geologische Karte von Salzburg, 1:200.000, Wien.
- [3] GEWÄSSERZUSTANDSÜBERWACHUNGSVERORDNUNG (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.
- [4] H₂O FACHDATENBANK (2019): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLFUW, Sektion VIII/Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; (<http://www5.umweltbundesamt.at/h2ogispub/>).
- [5] HYDROGRAPHISCHER DIENST (2019): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV/4 - Wasserhaushalt (HZB), Marxergasse 2, 1030 Wien, Österreich. (<http://ehyd.gv.at/>).
- [6] JAKOB, C. (2011): Hydrogeologische Verhältnisse der Walchhofquellen im Taurachtal (Salzburger Land).- 82 S., unveröff. Masterarbeit, Technische Universität; München.
- [7] JURGENS, B. (2019): TracerLPM (<https://github.com/bcjurgens>)
- [8] KRÁLIK M, BENISCHKE R, LEIS A, HEISS G, WYHLIDAL S, GRATH J, HADRBOLEC M, ZIERITZ I, PHILIPPITSCH R, (2015). Wasserisotopenkarte Österreichs. Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. <https://secure.umweltbundesamt.at/webgis-portal/isotopen/map.xhtml>.
- [9] KRÁLIK, M. (2020): Bestimmung der Einzugsgebietshöhe und des Wasseralters (Mittlere Verweilzeiten) der Walchhof Quelle mittels Isotopenmessungen ($^{18}\text{O}/^2\text{H}$, ^3H , ^{14}C) und Gastracern (^3He , FCKW11,-12,-113, SF6) – 29 S., unveröff. Bericht; Wien.
- [10] MJP ZIVILTECHNIKER GMBH (2020): Ergänzung Schongebietsvorschlag (GZ 1101007).- 21 S., unveröff. Bericht, Saalfelden.
- [11] MOSER-JARITZ ZT-GMBH (2012): Schutzgebietsvorschlag Walchhofquellen. – 41 S., unveröff. Bericht, Saalfelden.
- [12] MOSER-JARITZ ZT-GMBH (2016): Schongebietsvorschlag Walchhofquellen. – 52 S., unveröff. Bericht, Saalfelden.
- [13] NAGL, H.(1974): Hydrologische Untersuchungen im oberen Ennsgebiet. –Mitteilungen naturwissenschaftlicher Verein Steiermark, Band 104: S. 39-56; Graz.
- [14] ROSSNER, R. (1979): Gebrigsba **Freitag 16.10.2020** **11:15-11:45** Tauernfensters (Nördliche Radstädter Tauern, Österreich).- Jb. Geol. B.-A.: 122: 251-387, Wien.