
Markierungsversuch Tauplitz-West 2023

Organisation, Ablauf, Auswertung, Ergebnisse

Bericht

Verfasser:
Dr. Ralf Benischke

Graz, 12.12.2023

Inhalt

1	Allgemeines	4
1.1	Veranlassung	4
1.2	Problemstellung.....	4
1.3	Projektziel	4
1.4	Projektfinanzierung	5
1.5	Projektdurchführung und -auswertung.....	5
1.6	Projektzeitraum	5
2	Methodik – Normen - Richtlinien.....	5
2.1	Allgemeines	5
2.2	Analytik.....	6
3	Geologischer Rahmen und hydrogeologische Charakteristik	6
4	Hydrometeorologische Situation	9
4.1	Messstationen und Datenbereitstellung.....	9
4.2	Hydrometeorologische Situation vor und während des Markierungsversuchs.....	10
5	Markierungsstoffe	11
6	Einspeisestellen und Durchführung der Einspeisung	12
7	Beobachtungsstellen	13
8	Beprobungsplan	14
9	V Versuchsergebnisse.....	15
9.1	Allgemeines	15
9.2	Ergebnisse mit Uranin	16
9.2.1	Sagtümpel.....	16
9.2.2	Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) und Zauchen-Hauptquelle (ZH)	17
9.3	Ergebnisse mit Sulforhodamin G	18
9.4	Versuchskenndaten	19
9.4.1	Transportzeiten und Transportgeschwindigkeiten	19
9.4.2	Wiederausbringung der Tracer	20
9.5	Vergleich mit den Ergebnissen der Markierungsversuche 1957, 1961 und 1962.....	21
9.6	Diskussion der Ergebnisse	22
	Zusammenfassung.....	25
10	Dank	27
11	Literatur und Unterlagen	28
12	Anhang	29
12.1	Anmerkungen zur Analytik	29
12.2	Pegelschlüssel Sagtümpel.....	29

12.3 Entnahmelisten.....	31
13 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	33

1 Allgemeines

1.1 Veranlassung

Auf Basis neuerer speläologischer Forschungsergebnisse im Bereich der Tauplitzalm ergab sich die Frage, wohin eine frühere oder auch heute noch aktive Entwässerung in den Höhlen dieses Bereiches erfolgte oder noch weiter erfolgt. Ausgangspunkt waren die speläologischen Ergebnisse aus der erst 2014 entdeckten, mittlerweile 1,5 km langen und 259 m tiefen Bullenhöhle (Österr. Höhlenverz. Kat.-Nr. 1622/57), deren Einstieg in unmittelbarer Nähe des Parkplatzes am Ende der Tauplitz-Mautstraße liegt.

Auf Initiative von Robert Seebacher (Obmann des Vereines für Höhlenkunde in Obersteier) und Diskussion unter Mitgliedern des Vereines wurde schließlich die Idee zum gegenständlichen Markierungsversuch konkretisiert und mit erweiterter Fragestellung unter Einbeziehung von Aspekten der Versorgungs- und Entsorgungswasserwirtschaft als Forschungsprojekt formuliert.

1.2 Problemstellung

Das Tauplitzalmgebiet in der Region Bad Mitterndorf gilt seit den 1950er-Jahren als Kerngebiet der touristischen Nutzung dieses Raumes. Damit verbunden waren und sind auch heute noch Fragen der Wasserversorgung sowie der Abwasser- und Müllentsorgung. Die Wasserversorgung der Marktgemeinde Bad Mitterndorf erfolgt u.a. über Quellen an den Abhängen des Tauplitzalmplateaus, die im Laufe der Zeit gefasst worden sind. Im Jahre 1957, 1959 und dann später in den Jahren 1961, 1962 sowie 2014 wurden zur Erkundung der Karstwasserhältnisse dieses Gebietes Markierungsversuche durchgeführt, um die Einzugsgebiete der größeren Karstquellen näher zu bestimmen. Diese Versuche wurden größtenteils mit gefärbten und ungefärbten Bärlappsporen, im Einzelfall auch mit dem Fluoreszenzfarbstoff Uranin sowie mit Salz durchgeführt. Die Ergebnisse mit Sporen erbrachten beim Markierungsversuch 1957 eindeutige Nachweise und Durchgänge an der Karstriesenquelle Sagtümpel, während bei anderen damals beprobten Quellen entweder gar keine oder nur sporadische Einzelnachweise erfolgten. Ein kleinräumiger Sporentriftversuch im Jahre 1959 blieb ergebnislos. Nach einem Einsatz des Fluoreszenzfarbstoffes Uranin 1961 bzw. 1962 wurde über alle möglichen Verbindungen zwischen Riesenbach (W-Hang des Lawinensteins) und Säusenbach (Gretlhütte/Grimmingbachtal) einschließlich Sagtümpel berichtet und darüber auch publiziert (Maurin & Zötl, 1957; 1964). Ein im Jahre 2014 vom Verein für Höhlenkunde in Obersteier durchgeführter Versuch mit Salzeinspeisung in den Schnittlamoos-Ponor erbrachte leider kein verwertbares Ergebnis für den Sagtümpel – wahrscheinlich wegen zu geringer Einspeisemengen. Genaues Studium und kritische Durchsicht der verfügbaren Unterlagen zu den Markierungsversuchen 1957, 1961 und 1962, auf denen dann später das gesamte Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungskonzept der Tauplitz begründet wurde, zeigte, dass zahlreiche Ergebnisse und Schlussfolgerungen nicht immer auf eindeutig interpretierbaren Nachweisen beruhten, und somit eine Revision nahelegten. Mit den damaligen technisch-analytischen Möglichkeiten und in Unkenntnis von zahlreichen Kontaminationsrisiken bei der Verwendung von Sporen sowie Mängeln in der Versuchsdokumentation erschien eine neuerliche Untersuchung mit der Beprobung der damaligen aber auch weiterer, früher nicht einbezogener Entnahmestellen geboten.

1.3 Projektziel

Ziel des Markierungsversuches war eine Neubewertung bzw. Revision bisher publizierter Karstwasserverbindungen zwischen einem Teil der touristisch genutzten Plateaubereiche und den wichtigsten Karstquellen um die Tauplitzalm. In das Mess- und Entnahmeprogramm wurden nach Möglichkeit die damals (1957, 1961 und 1962) beprobten Quellen einbezogen.

Um den technischen und finanziellen Aufwand in Grenzen zu halten, wurde geplant, einen Markierungsversuch „Tauplitzalm-West“ durchzuführen und nach Auswertung auf Basis der erzielten Ergebnisse allfällige weiterführende Untersuchungen oder Markierungsversuche in eine vorausschauende wasserwirtschaftliche Planung anzuregen bzw. aufzunehmen.

Die Durchführung des Versuches 2023, die Analytik von Proben und die Gesamtauswertung einschließlich Dokumentation beruht auf dem derzeit verfügbaren Stand der Technik und den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Tracerhydrologie sowie den Ergebnissen geologischer und speläologischer Forschungen in diesem Gebiet.

1.4 Projektfinanzierung

Die Finanzierung erfolgte wesentlich durch das Land Steiermark, Referat Wasserwirtschaftliche Planung, Abt. 14, Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit (Mag. Dr. Michael Ferstl) und durch die Marktgemeinde Bad Mitterndorf (Bürgermeisterin Veronika Grill) sowie durch den Verein für Höhlenkunde in Obersteier - VHO (Obmann Robert Seebacher).

1.5 Projektdurchführung und -auswertung

Die Projektdurchführung (Organisation, Geländetätigkeiten, Einspeisung), -auswertung und Berichtlegung erfolgte kostenfrei durch Eigenleistung von Mitgliedern des VHO (Robert Seebacher, Andreas Gritzner, Franz Schmidt, Christoph Peer, Anton Kerschbaumer, Ralf Benischke).

Die konkrete Durchführung wurde vor Beginn des Versuches mit den verschiedenen Interessenten kommuniziert, und sowohl Wasserversorger (Wassergenossenschaft Zauchen, Marktgemeinde Bad Mitterndorf) als auch die zuständige Polizeidienststelle informiert.

1.6 Projektzeitraum

Der Beginn des Markierungsversuches wurde für die letzte Juniwoche 2023 für einen Zeitraum von mindestens einer Woche angesetzt mit Option auf Verlängerung um eine weitere Woche sowie einer längeren Nachbeobachtung.

2 Methodik – Normen - Richtlinien

2.1 Allgemeines

Gelände- oder Quellbezeichnungen folgen im Allgemeinen den Angaben der Österreichischen Karte (Blatt 97, Bad Mitterndorf) oder je nach Notwendigkeit auch der entsprechenden Alpenvereinskarte (Blatt 15/2, Totes Gebirge Mitte).

Die Datenerfassung und Kontrollmessungen erfolgten, soweit Normen verfügbar waren, normgemäß und gemäß dem jeweils gültigen Stand der Technik.

- Durchfluss: ÖNORM B 2401 (2019-04-15): Hydrologie - Methoden zur Bestimmung des Durchflusses und der Geschwindigkeit in offenen Gerinnen
- Elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur: ÖNORM EN 27888 (1993-12-01)
- pH-Wert: ÖNORM EN-ISO-10523 (2012-04-15)
- Niederschlag, Lufttemperatur: Richtlinien des Hydrographischen Dienstes Österreich bzw. von Geosphere Austria
- ÖWAV-Richtlinien (Regelblatt 201 und 214)

An zwei Beobachtungsstellen, Sagtümpel (SGT) und Zauchen-Sammelgerinne (ZSG), wurde je ein geländetaugliches Lichtleiter-Fluorimeter (LLF-M mit 2 Messkanälen der Fa. GOTSCHY, Hallein)

eingesetzt. An allen Beobachtungsstellen wurden Aktivkohlesäckchen und Wasserproben nach einem zuvor erstellten Beprobungsplan entnommen und dieser Plan in weiterer Folge dem Versuchsablauf angepasst.

An der offiziellen hydrographischen Messstation Sagtümpel wurde die Auswertung auch quantitativ durchgeführt und die Wiederausbringung der nachgewiesenen Markierungsmittel unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten berechnet. Insofern Nachweise auch am Sammelgerinne des Zauchen-Ursprungs (ZSG) erfolgten, wurde auch dort quantitativ ausgewertet, jedoch wegen des Fehlens einer Abfluss-Messstation keine Wiederausbringung des Markierungsmittels berechnet. Bei allen übrigen Messstellen erfolgte die Auswertung qualitativ nach den gemessenen Fluoreszenz-Intensitäten.

2.2 Analytik

Die Messung der entnommenen Proben erfolgte im Labor der JR-AquaConSol GmbH in Graz (Dipl.-Chem. Dr. Albrecht Leis, Ing. Alexandra Geisinger-Haslinger, Ing. Sabine Lindbichler).

Wasserproben wurden im klimatisierten Labor bei Raumtemperatur (25 °C) im Laborfluorimeter (JASCO FP-6500) nach dem Synchron-Scan-Verfahren (Behrens, 1970) in 10 x 10 mm Quarz-Küvetten gemessen. Während die Fluoreszenz von Sulforhodamin G kaum pH-abhängig ist, Uranin aber sehr empfindlich auf pH-Änderungen reagiert, wurden Messproben und Kalibrationsstandards mittels geeigneter Pufferlösung auf einen einheitlichen pH-Wert, bei dem die Fluoreszenz voll entwickelt ist, angehoben. Aktivkohleproben wurden ebenfalls nach dem Synchron-Scan-Verfahren in 10 x 10 mm Quarz-Küvetten gemessen. Weitere Details siehe Abschn. 13.1 im Anhang.

3 Geologischer Rahmen und hydrogeologische Charakteristik

Über die Geologie des Tauplitzgebietes (im Folgenden Versuchsgebiet) in der Umrahmung Mitterndorfer Becken, Teile des Grimmingbachtals im Süden, Salzatal im Westen und Norden sowie bis zur gedachten Linie Ödernalm-Traweng-Gretlhütte im Grimmingbachtal im Osten liegen verschiedene Arbeiten vor (TOLLMANN 1960 und 1985; SCHÖLLNERBERGER 1973; STEIGER 1980; SCHUSTER 2015). Es existiert aber keine geologische Karte nach modernen einheitlichen Kartierungsgrundsätzen, sondern nur eine Kompilation verschiedener Kartierungen, die die Geologische Bundesanstalt (heute GeoSphere Austria) im Jahre 2014 als eine ihrer GEOFAST-Karten herausgebracht hat. Diese Karte (GEOFAST, Blatt 97, Bad Mitterndorf, Ausgabe 2019/08) bildet im Folgenden die Grundlage für die weiteren Ausführungen zur Geologie (Abb. 1).

Das Versuchsgebiet liegt zwischen den beiden weitläufigen Karbonatplattformen Dachsteingebirge im Süden und Totes Gebirge im Norden in einer tektonisch sehr kleinräumig gegliederten, relativ schmalen Zone von etwa 10 km Ost-West- und 8 km Nord-Süd-Erstreckung. Diese Zone besteht tektonisch aus Gesteinen des juvavischen Deckensystems (hier Dachsteindecke), die von einer noch höheren Einheit (Hallstätter Deckschollen im Bereich Rabenkogel - Krahnstein; in der Karte nicht eigens ausgewiesen) überlagert werden. Die Dachsteindecke wiederum ist Gesteinen des tirolischen Deckensystems (hier Totengebirgsdecke) aufgeschoben bzw. überschoben.

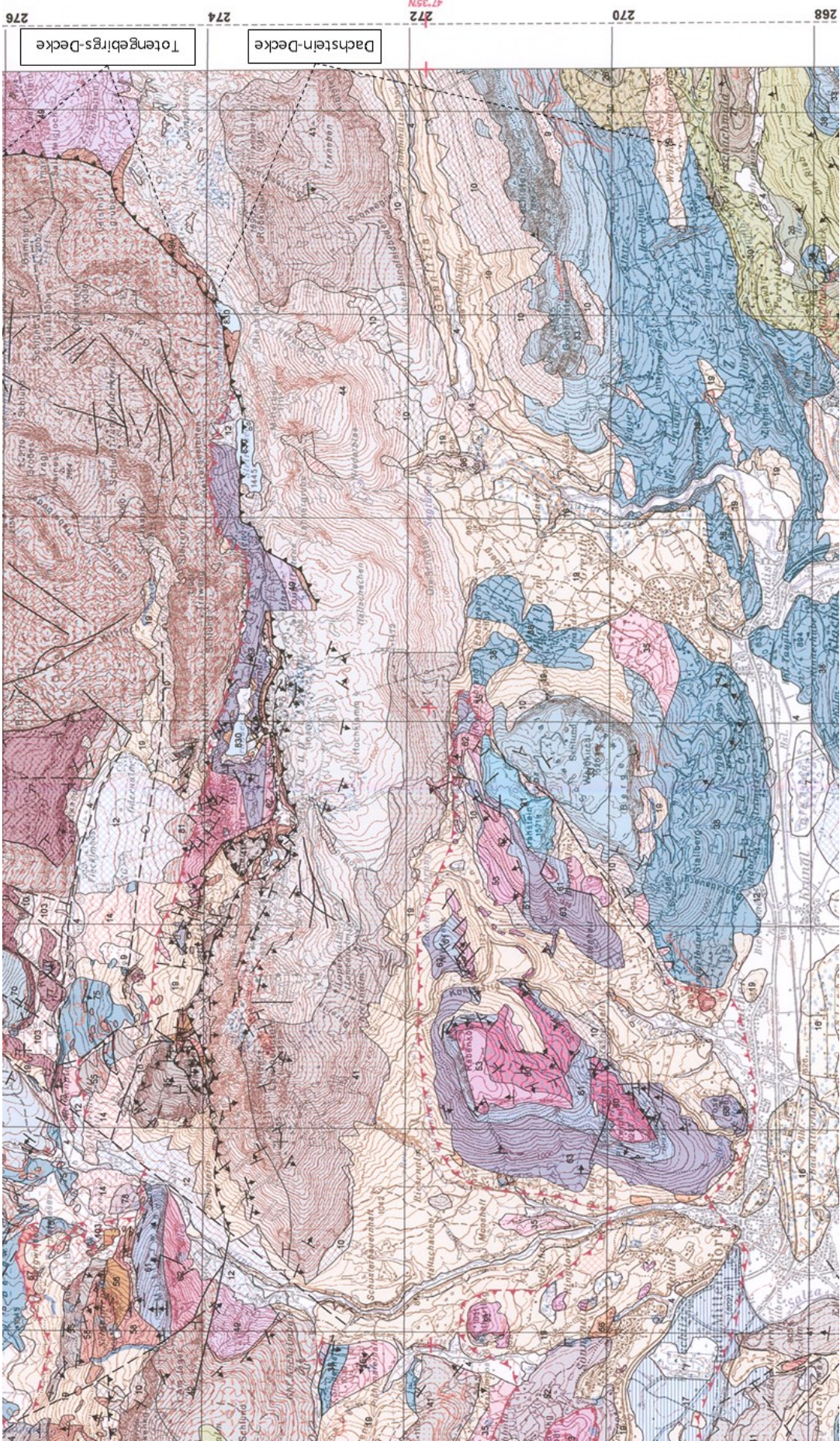


Abb. 1: Ausschnitt aus der Geologischen Karte, GEOFAST, 1: 50.000, Blatt 97, Bad Mitterndorf (Geosphere Austria, 2014, Ausgabe 2019)

Vom Mitterndorfer Becken nach Norden fortschreitend folgen von West nach Ost zunächst im Zug Planwipfel-Rabenkogel-Krahstein bis Tauplitz Gutensteiner Kalke und Dolomite (63)¹, dünn gebankter Plattenkalk der Reiflinger Schichten (61), Hallstätter Kalk (53) und Schreyeralmkalk (60), im Krahsteinblock im Süden Gesteine (Lias Fleckenmergel) der Allgäu-Formation (38), die sich jenseits des Grimmingbachtals im Zug Gwöhnlistein-Hechlstein fortsetzen, dann im Bereich Weißkirchl-Bergerwand Hornstein führende Gesteine der jurassischen Oberalm Formation (33) und am Krahstein selbst Plassenkalk (31).

Nördlich davon streicht West-Ost der Zug Lawinenstein-Mitterberg-Roßkogel mit gebanktem Dachsteinkalk (41) an der Basis des Lawinensteins im Westen und des Roßkogels im Osten, darüber Hauptdolomit (44). Daran schließt die West-Ost verlaufende Einsenkung der Tauplitzalm mit dem Seenplateau an. Die Seen sind das Ergebnis der weitgehend abdichtenden Wirkung unter- bis mitteltriadischer Einheiten wie Raibler Schichten (94) und Kalken und Dolomiten der Gutenstein-Formation (63). Während unmittelbar nördlich des Großsees und des Steirersees der Übergang zu den Dachsteinkalken der Totengebirgsdecke (Traweng) erfolgt, bricht das Tauplitzplateau zwischen Schneiderkogel und Lawinenstein mit scharfer Kante in das Salztal und zur Ödernalm ab, im Bereich Ödernalm mit Schutt- und Schwemmfächern, an der unmittelbaren Nordseite des Lawinensteins mit tektonisch eingeschuppten Pötschenschichten (55) und Gesteinen der Allgäu-Formation (75).

Am Nordrand des Seenplateaus verläuft von Ost nach West eine tektonische Grenze zwischen der Totengebirgsdecke und der südlich anschließenden Dachsteindecke, wobei entlang der Grenze tieftriadische Gutensteiner Kalke und Dolomite (63) eingeschaltet sind. Zwischen ihnen und dem Lawinenstein-Mitterberg-Roßkogelzug sind in einem schmalen Streifen, in sich wiederum stark tektonisch gestört, Raibler Schichten (94) zwischengeschaltet, die lokale Wasserstauer darstellen. Aufgrund der starken tektonischen Zerlegung ist zu vermuten, dass sowohl bei den Gutensteiner Kalken und Dolomiten (63) als auch bei den Raibler Schichten (94) entlang von Brüchen Nord-Süd gerichtete wasserwegige Verbindungen vorhanden sind, die Wässer entweder nach Süden oder nach Norden ableiten. Hinweise darauf ergaben sich durch die früheren Markierungsversuche (Maurin & Zötl 1957, 1961 und 1962) mit Einspeisungen in eine Schwinde am Nordufer des Steirersees und am Großsee. Die parallel zur Deckengrenze streichenden Störungen und dazu das generelle Einfallen des Hauptdolomits (44) nach Süden lassen auf einen karsthydrographisch engen Zusammenhang (auf Basis nachgewiesener Karstwasserverbindungen) zwischen Schnittlamoos-Ponor bzw. Bullenhöhle mit dem Sagtümpel schließen.

Die Seen des Tauplitzplateaus sind im Wesentlichen durch Niederschläge und kleinere Zuflüsse aus den Hanglagen gespeist und entwässern allesamt unterirdisch, der Schwarzensee mit einer Schwinde am Südufer, der Steirersee mit großer Schwinde am Nordufer, das Abflussgerinne des Großsees mit einer Schwinde am Westfuß des Traweng bzw. beim Öderntörl in Richtung Ödernalm und der Abfluss des kleinen Krallersees am Fuße der Ostflanke des Lawinensteins mit einer Schwinde nordseitig unterhalb des Hollhauses nach Süden. Wie schon aus früheren Quellenaufnahmen und Bearbeitungen (ANDERLE 1964; MAURIN & ZÖTL 1957; BAUER & ZÖTL 1962) des Tauplitzalm-Gebietes bekannt ist, erfolgt die Entwässerung des Versuchsgebietes über größere Karstquellen (z.B. Sagtümpel, Zauchen-Ursprung, Riesenbach, Draxlerbach, Säusenbach) und eine größere Anzahl von kleinen Quellen, gespeist hauptsächlich aus den Schuttkörpern und minder durchlässigen Sedimentgesteinen. Wie die bisherigen Versuche und auch der vorliegende Markierungsversuch gezeigt haben, erfolgt aus dem Westteil des Tauplitzplateaus die Entwässerung vorwiegend zum Sagtümpel und zum Zauchen-Ursprung, aus dem Ostteil (z.B. Einspeisungen in die Schwarzenseeschwinde) auch über den Draxlerbach und den Säusenbach.

¹ Die Zahlen in Klammer beziehen sich auf die in der geologischen Karte angeführten Formationsnummern.

4 Hydrometeorologische Situation

4.1 Messstationen und Datenbereitstellung

Für die Beurteilung der meteorologischen Situation vor und während des Versuches wurden die amtlichen Messstationen Bad Mitterndorf, Greith/Tauplitz-Ort und Ödernalm, die alle in der näheren Umgebung des Versuchsgebietes liegen, herangezogen (Tab. 1, Abb. 2). Die Niederschlagsdaten der Station Bad Mitterndorf wurden von GEOSPHERE Austria (vormals ZAMG, Regionalstelle Steiermark, Mag. Andreas Schopper, Mag. Christian Pehsl) und der Stationen Tauplitz/Greith sowie Ödernalm im Salztal vom Hydrographischen Dienst Steiermark (Sebastian Wiesmair, MSc) zur Verfügung gestellt. Die Daten der Pegelstation Sagtümpel (Abflussmessungen, Wasserstand, elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur) wurden vom Hydrographischen Dienst Steiermark (Mag. Barbara Stromberger) übermittelt.

Tab. 1: Übersicht über die verwendeten meteorologischen und hydrographischen Messstationen. Koordinaten im System UTM 33 N, N = Niederschlag (Ombrometer oder Ombrograph; in mm), LT = Lufttemperatur (°C), W = Pegel/Wasserstand (cm), LF = Elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$; 25 °C), WT = Wassertemperatur (°C).

Station	Sh (m ü. A.)	Rechtswert (m)	Hochwert (m)	Betreiber	Parameter	Betrieb seit
Bad Mitterndorf	814	419852	5267207	ZAMG (Nr. 9700)	N, LT, N-Dauer	01.11.1983
Greith/ Tauplitz-Ort	945	426436	5268880	HZB (NL 106641)	N, SH, NSH, LT	01.01.1994
Ödernalm	1130	423313	5273878	HD-Stmk (NL 1090)	N, LT	01.01.1999
Sagtümpel	970	427053	5270304	HZB (Nr. 395863)	W, LF, WT	29.06.1998

Leider standen keine meteorologischen Daten vom Plateau der Tauplitzalm selbst zur Verfügung, da dort nur Messstationen (Lawinenstein, Schneiderkogel, Bergstation Sessellift) des Lawinenwarndienstes Steiermark vorhanden sind, die nur Schneehöhen und einige weitere Parameter aufzeichnen aber keine Regenniederschläge.

Die im Ortsgebiet von Bad Mitterndorf befindliche meteorologische Station der GEOSPHERE Austria (vormals ZAMG) war daher für den Markierungsversuch die wichtigste, da sie Niederschlagshöhe, Niederschlagsdauer und Lufttemperatur im Ein-Stundenintervall aufzeichnet. Von den Stationen Greith (Ombrometer) und Ödernalm (Ombrograph) wurden Tagessummen des Niederschlags übermittelt, von der Abflussmessstation Pegel Sagtümpel die im 15-Minutenintervall erfassten Durchflussdaten einschließlich der elektrischen Leitfähigkeit und der Wassertemperatur.

Für die Pegelstation Sagtümpel (im September 2019 neu gebaut) wurden vom Hydrographischen Dienst Steiermark auch die seither durchgeführten Durchflussmessungen übermittelt und daraus ein vorläufiger Pegelschlüssel (Beziehung Wasserstand-Durchfluss) erstellt, der allerdings für den Hochwasserbereich mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Die Daten für den erstellten Pegelschlüssel sind dem Anhang (Abschn. 13.2) zu entnehmen.

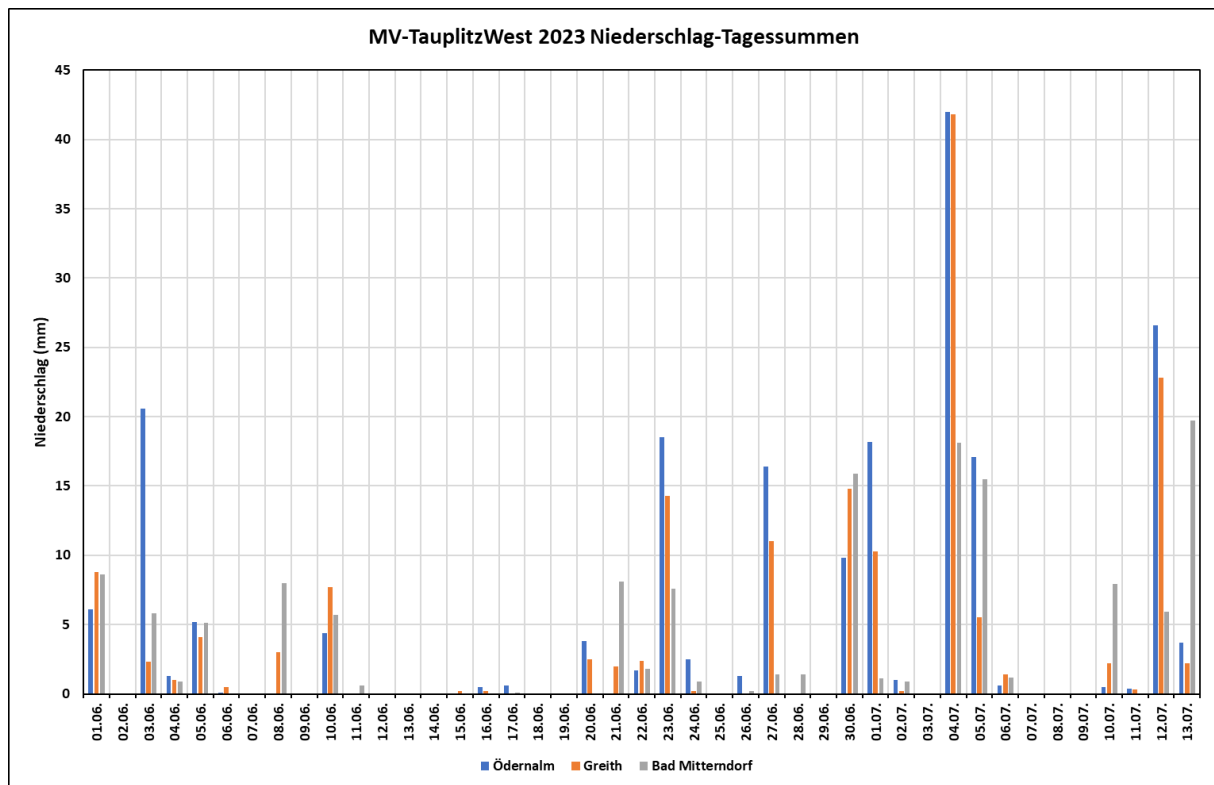


Abb. 2: Übersicht zu den Tagesniederschlägen der Stationen Bad Mitterndorf, Ödernalm und Greith/Tauplitz für den Zeitraum 01.06.-13.07.2023. Tagessummen des Niederschlags (in mm) für Bad Mitterndorf und Ödernalm von 0 bis 24 Uhr, bei der Station Greith/Tauplitz von 7 Uhr morgens bis 7 Uhr des Folgetages.

4.2 Hydrometeorologische Situation vor und während des Markierungsversuchs

Die Wettersituation vor und während des Markierungsversuchs war geprägt durch häufig wechselnde Phasen von Trockenwetter und gewittrigen Regenschauern. Dies führte bei den großen Karstquellen Sagtümpel und Zauchen-Ursprung zu einer ausgeprägten Abflussschwankung mit Niederwasserphasen und Abflussspitzen, somit zu stark schwankenden Abfluss-Ganglinien. Mit Beginn des Markierungsversuches war die Schneeschmelze in den höheren Lagen insbesondere auf der Tauplitzalm weitgehend abgeschlossen.

Vom 11.-19.06.2023 waren an den Niederschlagsstationen Ödernalm, Greith/Tauplitz und Bad Mitterndorf keine oder nur vernachlässigbare Einzelniederschläge (max. 0,6 mm) zu verzeichnen. Diese neuntägige Schönwetterperiode führte zum mehr oder weniger vollständigen Abschluss der Schneeschmelze. Dies zeigte sich insbesondere an den relativ niedrigen Durchflusswerten am Pegel Sagtümpel.

Vom 20.-24.06.2023 herrschte regnerisches Wetter mit einzelnen gewittrigen Schauern. Die höchsten Tagessummen wurden an der Station Ödernalm mit 18,5 mm registriert. Nach einem regenfreien Tag am 25.06.2023 folgte regnerisches Wetter am 26.06.2023, am Tag vor der Einspeisung der Markierungsmittel.

Am Einspeisetag (27.06.2023) gab es am Tauplitzplateau noch vor der Einspeisung leichten Regen. Auf der Ödernalm wurden an diesem Tag 16,4 mm, an der Station Greith/Tauplitz-Ort 11 mm registriert. Im Mitterndorfer Becken waren sehr geringe Mengen (1,4 mm) zu verzeichnen. Im Laufe des Tages klarte es auf und zur Zeit der Einspeisungen war es regenfrei bzw. sonnig.

Die Niederschläge am Tauplitzplateau vom 27.06.2023 führten zu einer Abflussspitze (Steigerung von etwa 30 L/s auf 450 L/s) am Sagtümpel am Folgetag. Danach waren bis einschließlich 29.06.2023 bei allen drei Stationen entweder gar keine oder nur geringfügige Niederschläge zu verzeichnen. Dies führte zu einem deutlichen Durchflussrückgang an der Pegelstation Sagtümpel, der bis zum 30.06.2023 andauerte. An diesem Tag setzten neuerlich relativ starke Niederschläge ein, die offensichtlich von Westen über das Mitterndorfer Becken und die Tauplitzalm zogen, mit geringeren Mengen auf der Ödernalm und größeren Mengen in Bad Mitterndorf und Greith/Tauplitz. Dies führte zu einer leichten Durchflusserhöhung am Pegel (von etwa 45 L/s auf 110 L/s) und zu einem bis zum Morgen des 01.07.2023 dauernden Durchflussrückgang. Die offensichtlich schon in der Nacht vom 30.06.2023 auf den 01.07. 2023 einsetzenden stärkeren Niederschläge führten dann ab 01.07.2023 08:00 bis Mittag zu einer ausgeprägten Durchflussspitze von etwa 1300 L/s an der Pegelstation Sagtümpel.

Am 03.07.2023 konnte die Beprobung der Beobachtungsstellen und das Auslesen der Messgeräte gerade noch vor Einsetzen starken Gewitterregens beendet werden, der allerdings schnell wieder zu Ende war. Das Gewitter scheint im Wesentlichen nur das Mitterndorfer Becken in enger lokaler Begrenzung betroffen zu haben, da die drei Niederschlagsstationen keinen Niederschlag registriert haben und auch am Sagtümpel keine Durchflusserhöhung zu verzeichnen war.

Am 04.07.2023. waren an allen drei Stationen heftige gewittrige Niederschläge zu verzeichnen mit Regenmengen von etwa 40 mm auf der Ödernalm und in Greith/Tauplitz-Ort und von ca. 18 mm in Bad Mitterndorf, die dann am selben Tag ab ca. 18 Uhr zu einem Hohenwasserereignis am Sagtümpel mit einer Durchflusserhöhung von ca. 65 L/s auf etwa 2100 L/s innerhalb von 2 h geführt haben. Nach kurzem Durchflussrückgang bis Mitternacht auf etwa 1100 L/s und neuerlichen relativ starken Niederschlägen am 05.07.2023 erhöhte sich der Durchfluss an der Pegelstation wieder innerhalb von 2 h auf 2800 L/s, diesmal zur absoluten Durchflussspitze um etwa 01:00 nachts. Bis 18:00 fiel die Schüttung dann auf 300 L/s ab, um danach wieder auf 2100 L/s anzusteigen. Die nachfolgenden Tage vom 07.-09.07.2023 waren niederschlagsfrei, danach setzte am 10.07.2023 neuerlicher, aber relativ geringer Niederschlag ein. Am 10.07.2023 wurden die Lichtleiterfluorimeter abgebaut, da der wesentliche Tracerdurchgang vorbei war. Am 12.07.2023 wurden nochmals größere Regenmengen an Ödernalm und Greith/Tauplitz-Ort bzw. am 14.07.2023 an der Station Bad Mitterndorf verzeichnet. Bis zum Ende der Aktivkohlebeprobung wurde das Niederschlagsgeschehen nicht mehr im Detail beobachtet, da die Aktivkohlen den ganzen Zeitraum vom 10.07. bis 04.08.2023 an den Messstellen verblieben, somit keine genauere Zeitauflösung erfolgen konnte.

Wie später noch gezeigt wird, hatten die gewittrigen Regenschauer und damit verbunden die ausgeprägten Hochenergieereignisse einen signifikanten Einfluss auf den Tracertransport, wie an der Durchgangskurve am Sagtümpel (Abb. 6, Abb. 8) zu erkennen ist.

5 Markierungsstoffe

Als Markierungsstoffe (Tracer) wurden eingesetzt (Tab. 2):

Tab. 2: Übersicht zu den eingesetzten Markierungsstoffen. C.I. = Colour Index Nr. zur chemisch eindeutigen Tracer-Identifizierung.

Tracer	C.I. Nr.	Handelsname	Hersteller	Einspeiseort
Sulforhodamin G	45 220	ORCOACID Sulpho-Rhodamine G ex. conc.	Organic Dyestuffs Corp., USA	Schnittlamoos-Ponor
Uranin	45 350	Uranin AP (Fluorescein Natrium)	AppliChem GmbH, BRD	Bullenhöhle

Die beiden Tracer sind Fluoreszenzfarbstoffe, die seit mehr als 100 Jahren (Uranin) bzw. seit vielen Jahrzehnten (Sulforhodamin G) in der Tracerhydrologie mit Erfolg eingesetzt werden. Sie sind gut

wasserlöslich, besitzen eine extrem gute Nachweisempfindlichkeit und bieten weder öko- noch humantoxikologische Risiken ([Deutsches] Umweltbundesamt, 1997), sodass sie auch bei bestehenden Trinkwassernutzungen eingesetzt werden können. Uranin wird zudem auch in der Augenheilkunde als Kontrastmittel verwendet. Da aber im Vorhinein kaum je bekannt ist, in welchen Konzentrationen und wo ein Farbstoff wieder ausgebracht wird, kann es vorkommen, dass eine vorübergehende Färbung von Wasservorkommen eintritt.

6 Einspeisestellen und Durchführung der Einspeisung

Einspeisestellen (Tab. 3) für die Tracer waren der Schnittlamoos-Ponor (Österr. Höhlenverz. Nr. 1622/55) nordseitig unterhalb des Hollhauses und die Bachschwinde in der im Jahre 2014 entdeckten und aktuell auf ca. 1,5 km Länge und bis in 259 m Tiefe vermessenen und erforschten Bullenhöhle (Österr. Höhlenverz. Nr. 1622/57) unterhalb des Parkplatzes am Ende der Tauplitzalm-Mautstraße (siehe Karte Abb. 14).

Tab. 3: Übersicht über die Einspeisestellen. Zur besseren Orientierung ist auch die Lage des Einganges zur Bullenhöhle angeführt. Koordinaten nach System UTM 33 N.

Station	Seehöhe (m ü. A.)	Rechtswert (m)	Hochwert (m)
Schnittlamoos-Ponor	1589	423760	5271789
Bullenhöhle-Eingang	1570	423585	5271403
Bullenhöhle-Einspeisepunkt	1325	423708	5271163

Die Einspeisungen wurden aus organisatorischen und personellen Gründen zwar am selben Tag (27.06.2023) aber zeitlich nacheinander durchgeführt.

Beide Eingabestellen (Abb. 3, Abb. 4) lagen an aktiven Gerinnen, wodurch eine ausreichende Vorspülung und Benetzung gewährleistet war. Während das Gerinne in der Bullenhöhle nur eine sehr geringe, aber immerhin ausreichende Schüttung (Tab. 4) aufwies, wurden beim Schnittlamoos-Ponor 2,07 L/s gemessen, die aus dem ca. 0,8 km² großen Einzugsgebiet zwischen Kriemandl im Westen, Schneiderkogel im Norden, der Linie Schneiderkogel-Lärchkogel im Osten und der Linie Lärchkogel-Kriemandl-Hollhaus im Süden mit dem Hauptzubringer aus dem Abfluss des Krallersees fließen.

Tab. 4: Einspeisedaten. SRG = Sulforhodamin G, UR = Uranin. Die Dauer der Einspeisung - ESP (ohne Nachspülvorgang) nahm nicht mehr als maximal 3 min in Anspruch. Vor- und Nachspülung erfolgten durch die aktiven Gerinne.

Einspeisestelle	Tracer	Tracermenge (g)	Abfluss (L/s)	ESP-Beginn (MEZ)	ESP-Ende (MEZ)	Durchführung
Schnittlamoos-Ponor	SRG	1000	2,07	10:13	10:15	Franz Schmidt
Bullenhöhle (vor Endsiphon)	UR	800	0,025	14:59	15:02	Andreas Glitzner



Abb. 3: Einspeisung von Sulforhodamin G in den Schnittlamoos-Ponor. Auflösung des Tracers in 2 x 15 L Schwidenwasser. Einspeiser F. Schmidt in Schutzkleidung (Foto: R. Benischke).



Abb. 4: Einspeisung von Uranin etwa 50 m vor dem derzeitigen Endsiphon in der Bullenhöhle in das aktive Höhlengerinne. Einspeiser A. Glitzner (Foto: R. Seebacher).

7 Beobachtungsstellen

Insgesamt wurden 12 Beobachtungs- bzw. Entnahmestellen (Tab. 5) ausgewählt. Zum Teil waren die Quellen bzw. ablaufenden Fließgewässer schon im Messprogramm von 1957 und 1961 bzw. 1962. Die exakten Mess- bzw. Probenahmepositionen bei den älteren Versuchen konnten jedoch nicht mehr rekonstruiert werden, z.B. ob 1957 direkt im damals vorhandenen Sagtümpelteich oder abstromig im daran anschließenden Gerinne des Quellablaufes gemessen oder beprobt wurde.

Tab. 5: Übersicht zu den Beobachtungsstellen. Die Entnahmepunkte für ZK und ZS waren im Hochbehälter der Zauchen-WVA und nicht an den tatsächlichen Quellfassungen (ZK-F und ZS-F) situiert. Koordinaten im System UTM 33 N (entnommen aus GIS-Stmk) bzw. eigenen GPS-Messungen. In der Spalte MV 1957/61/62 wurden jene Stellen angekreuzt, die bei den Versuchen 1957, 1961 bzw. 1962 im Messprogramm waren.

Nr.	Bezeichnung	Kurzbez.	Seehöhe (m ü.A.)	Rechtswert (m)	Hochwert (m)	MV 1957/61/62
1	Salza-Ursprung/Öderntal	SU	1166	423553	5273813	X
2	Riesenbach oberhalb früherer Kneippanlage	RB	839	419726	5269115	X
3	Zauchen-West	ZW	1228	423066	5270309	
4	Zauchen-Hauptquelle	ZH	1256	423060	5270426	X
5	Zauchen-Sammelgerinne	ZSG	1189	422977	5270075	
6	Zauchen-WVA (Kohlstattquelle)	ZK	891	421678	5268088	
	Kohlstattquelle Fassung	ZK-F	1230	422054	5270092	
7	Zauchen-WVA (Schacherbauer)	ZS	891	421678	5268088	
	Schacherbauerquelle Fassung	ZS-F	979	422001	5268980	
8	Schusterrin-WVA-Bad Mitterndorf	SR	949	419808	5272917	X
9	Freibergbach-Ost	FO	968	426123	5260557	X
10	Sagtümpel (Pegelstation)	SGT	970	427058	5270285	X
11	Draxlerbach bei Mühle	DBM	960	427739	5269952	X
12	Säusenbach/Gretlhütte	SGH	986	428587	5270162	X

8 Beprobungsplan

Der bei Versuchsbeginn vorgesehene Beprobungsplan wurde während des Versuches an den realen Ablauf angepasst (Tab. 6), d.h. dass z.B. am Sagtümpel neben dem Lichtleiter-Fluorimeter sowohl Wasser- als auch Aktivkohleproben entnommen wurden, wegen des mit freiem Auge deutlich sichtbaren Tracer-Durchgangs aber auf die weitere Analyse der Aktivkohleproben verzichtet wurde. An anderen Stellen wurden auch die ursprünglichen Expositionszeiten für die Aktivkohle angepasst oder zusätzlich Wasserproben entnommen. Am 18.06.2023 wurde zunächst am Sagtümpel eine Wasserprobe für Nullmessungen entnommen und bei allen Messstellen Aktivkohlesäckchen exponiert. Einen Tag vor der Einspeisung, am 26.06.2023, erfolgte eine physiko-chemische Basismessung (Tab. 7), eine weitere Wasserprobenentnahme und ein Wechsel der Aktivkohlesäckchen sowie die Installation der Lichtleiter-Fluorimeter am Sagtümpel (SGT) und am Zauchen-Sammelgerinne (ZSG). Neben der Tracer-Einspeisung wurden am Einspeisetag (27.06.2023) zur Vermeidung von Kontaminationen keine weiteren Manipulationen an den Beprobungs- bzw. Messstellen vorgenommen. Ungewöhnlich hohe Wassertemperaturen waren wegen der hohen sommerlichen Temperaturen nur bei sonnenexponierten Messstellen an Oberflächengerinnen zu verzeichnen, die außerordentlich geringe Abflussmengen hatten. Die gemessenen pH-Werte lagen alle im erwartbaren Bereich für Wässer aus karbonatbetonten Einzugsgebieten, wegen der zunehmenden Entgasung von gelöstem CO₂ am höchsten an Messstellen der Oberflächengerinne. Die elektrischen Leitfähigkeiten lagen am niedrigsten bei den größeren Karstquellen (SU, ZH, SGT, SGH und DBM), etwas höher bei den Messstellen, die über längere Strecken mit Schutt- bzw. Moränenmaterial in Kontakt sind, am höchsten war die Leitfähigkeit bei ZW am Rande der Mitterstein-Schিপiste. Entnahmelisten mit der Angabe, welche Wasser- und Aktivkohleproben entnommen wurden und welche qualitativ bzw. quantitativ analysiert wurden sind dem Abschn. 13.3 im Anhang zu entnehmen.

Tab. 6: Übersicht zum finalen Entnahmeprogramm. Die Teilsummen geben die Gesamtanzahlen der entnommenen Wasserproben und Aktivkohlesäckchen wieder.

Messstelle/Entnahmestelle	Kurzbez.	18.06.		26.06.		27.06.		28.06.		29.06.		⇨	03.07.		04.07.		05.07.		06.07.		07.07.		08.07.		09.07.		10.07.		⇨	04.08.		Summe		
		LLF		So		Mo		Di		Mi			Do		Mo		Di		Mi		Do		Fr		Sa		So			Mo			Fr	
		Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak		Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak	Dir	Ak		Dir	Ak		Dir	Ak
Salza-Ursprung (Quellengesamtablauf)	SU			1	1	1																												
Riesenbach ober alter Kneippanl.	RB			1	1	1																												
Zauchen-West	ZW			1	1	1																												
Zauchen-Hauptquelle	ZH			1	1	1																												
Zauchenbach-Sammelgerinne	ZSG	1		1	1	1																												
Zauchen-WVA (Kohlstattqu.)	ZK			1	1	1																												
Zauchen-WVA (Schacherbauerqu.)	ZS			1	1	1																												
Schusterin-WVA	SR			1	1	1																												
Freibergbach-Ost	FO			1	1	1																												
Sagtümpel-Quelltümpel	SGT	1	1	1	1	1																												
Draxlerbach/Mühle	DBM			1	1	1																												
Säusenbach/Gretlhütte	SGH			1	1	1																												
Teilsummen		2	1	12	10	12					6	1		7	12				4	1							6	12				39	50	

Dir = Wasserprobe, Ak = Aktivkohleprobe, LLF = Lichtleiter-Fluorimeter

LLF-Abbau am 10.07.2023 bei SGT und ZSG, bei ZSG Stromausfall ab 07.07.2023/18:48

Ziffern markieren die Wasserprobenentnahme und die Exposition von Aktivkohlesäckchen bzw. deren Wechsel

Tab. 7: Übersicht zu den Basismessungen vom 26.06.2023. Uhrzeit (MEZ). Q = Abfluss/Schüttung, LF = elektrische Leitfähigkeit, bezogen auf 25 °C, WT = Wassertemperatur.

Nr.	Bezeichnung	Kurzbez.	Uhrzeit	Q (L/s)	LF (µS/cm)	WT (°C)	pH-Wert
1	Salza-Ursprung/ Öderntal	SU	09:30	~ 20	208	7.9	7.4
2	Riesenbach oberhalb alter Kneippanlage	RB	11:02	> 20	301	12.4	8.3
3	Zauchen-West	ZW	12:30	~ 2	402	11.0	8.1
4	Zauchen-Hauptquelle	ZH	12:05	~ 5	255	5.3	7.6
5	Zauchen-Sammelgerinne	ZSG	12:35	~ 5	382	14.2	8.3
6	Zauchen-WVA (Kohlstattquelle)	ZK	11:30	4.17	374	7.9	7.7
7	Zauchen-WVA (Schacherbauer)	ZS	11:27	5.67	322	7.5	7.6
8	Schusterin-WVA	SR	10:30	~ 20	347	6.8	7.5
9	Freibergbach-Ost	FO	16:20	~ 4	310	21.6	8.2
10	Sagtümpel (Quelltümpel)	SGT	14:30	43.6	254	6.4	8.0
11	Draxlerbach bei Mühle	DBM	15:55	~ 80	261	8.3	7.9
12	Säusenbach/Gretlhütte	SGH	15:30	~ 15	244	5.8	7.9

9 Versuchsergebnisse

9.1 Allgemeines

Vorweg kann festgestellt werden, dass die zeitlich hochaufgelösten Messdaten der beiden Lichtleiter-Fluorimeter (SGT und ZSG) sehr detailreich den Tracertransport bei einer hohen Abflussdynamik an den beiden Quellen zeigen. Neben den rein hydrologischen Einflüssen auf den Tracertransport (z.B. auf Transportzeiten und -geschwindigkeiten) zeigte sich ein Einfluss sowohl der Wassertemperatur als auch der Lufttemperatur auf die Fluoreszenz der beiden Tracer. Erstere beeinflusst direkt die Fluoreszenz des jeweiligen Tracermoleküls, allerdings in recht geringem Ausmaß, letztere überlagert durch ihren Einfluss auf die Messgerätemperatur bzw. auf die elektronischen Komponenten oder die Lichtleiter selbst ebenfalls die Messergebnisse. Die durch die Wassertemperatur beeinflusste Fluoreszenz lässt sich rechnerisch durch Bezug auf eine einheitliche Referenztemperatur kompensieren. Der durch die Lufttemperatur verursachte Einfluss auf die elektronischen Gerätekomponenten oder die Lichtleiter ist praktisch nicht kompensierbar, da z.B. die direkte Sonneneinstrahlung auf das Messgerät bzw. sein Schutzgehäuse oder auf eine Messhütte, in der ein Gerät steht, im Laufe des Tages und je nach Wetterlage variiert. Hier könnte ein Monitoring der Lufttemperatur oder der Gerätemperatur direkt am Messort oder in der Messhütte einige Verbesserung bringen. Nach Auskunft des Fluorimeter-Herstellers haben Temperaturänderungen im

Lichtleiter selbst den größten Einfluss. Durch die hohen Tracerkonzentrationen ist allerdings der Temperatureinfluss auf die Fluoreszenz des Tracers selbst und damit auf das Gesamtergebnis vernachlässigbar.

Neben den Ergebnissen der Lichtleiter-Fluorimetrie wurden an allen Beobachtungsstellen entsprechend dem Probenahmeplan (Tab. 6) Wasser- und Aktivkohleproben (von zuvor über einen definierten Zeitraum exponierten Aktivkohlesäckchen) entnommen und im Labor analysiert. Die Ergebnisse waren vor allem bei den Aktivkohleproben, die den Tracer während der Expositionsdauer akkumulieren, nicht weiter auswertbar. Wegen des extrem hohen Messuntergrundes, verursacht durch einen hohen Gehalt an Humin- und Fulvinsäuren, waren bis auf die beiden Hauptbeprobungsstellen (SGT und ZSG bzw. ZH) keine weiteren Tracernachweise zu erhalten, sodass bei erster Beurteilung nicht entschieden werden konnte, ob nicht zu der einen oder anderen Messstelle doch ein Tracer transportiert worden ist. Ähnlich verhielt es sich z.T. mit den Wasserproben. Die Ergebnisse des Versuches 2023 werden im Folgenden getrennt für jeden Tracer dargestellt.

9.2 Ergebnisse mit Uranin

Das in der Bullenhöhle eingespeiste Uranin konnte nur im Sagtümpel (SGT), im Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) und in der Zauchen-Hauptquelle (ZH) nachgewiesen werden, nicht jedoch in den übrigen Messstellen. In der Zauchen-Hauptquelle (ZH) erfolgte der Nachweis nur über Wasserproben, die nicht weiter quantifiziert wurden, da die Quellwässer ohnedies bei der Messstelle ZSG erfasst wurden.

9.2.1 Sagtümpel

Am Sagtümpel (SGT) war der Durchgang des Uranins (Abb. 6) mit freiem Auge zu beobachten (Abb. 5). Die Intensität der Uranin-Fluoreszenz war so stark, dass sie die gleichzeitig stattfindende Sulforhodamin G-Fluoreszenz völlig überdeckte. Die mit freiem Auge sichtbare Grün-Färbung durch Uranin hielt mit abnehmender Intensität bis etwa 09.07.2023 an.



Abb. 5: Intensive Grünfärbung des Sagtümpels (SGT) am 03.07.2023 durch Uranin (Foto: R. Seebacher).

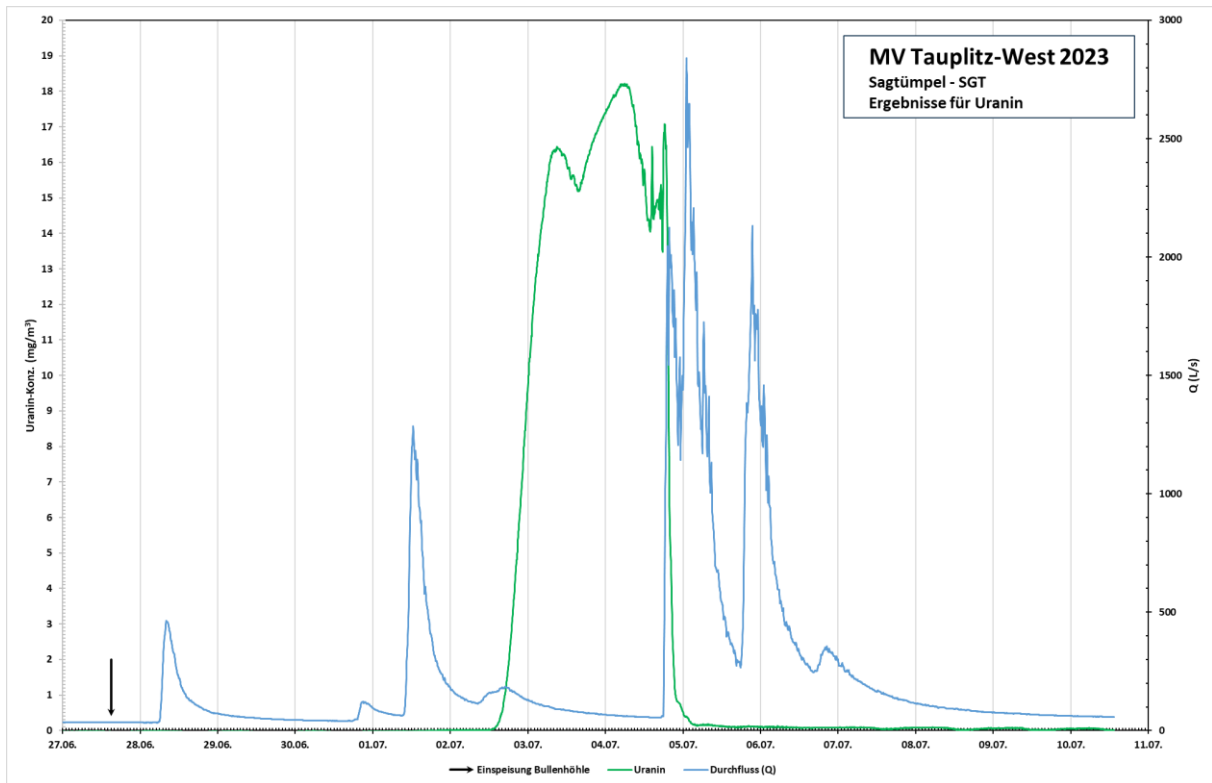


Abb. 6: Uranin-Durchgang (grün; in mg/m^3) im Sagtümpel (SGT) mit Schüttungsganglinie (blau; Q in L/s), Pfeil markiert den Zeitpunkt der Einspeisung in der Bullenhöhle, Zeitraum 27.06 – 11.07.2023.

9.2.2 Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) und Zauchen-Hauptquelle (ZH)

Durch die relative Nähe der Einspeisestelle in der Bullenhöhle zum Zauchen-Ursprung war unter Voraussetzung, dass eine Verbindung besteht, ein relativ rascher Nachweis bzw. Tracer-Durchgang zu erwarten. Das Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) erfasst sowohl den gesamten Abfluss der Hauptquelle (ZH) als auch das kleine Nebengerinne ZW sowie die aus dem Bereich Brentenmöser aus dem vernässten Angelände austretenden Kleinstquellen.

In Ermangelung von Abflussdaten an der Messstelle ZSG wurden die Niederschlagsdaten der Station Bad Mitterndorf (Geosphere Austria) herangezogen, um im Zusammenhang mit dem Tracerdurchgang zumindest den Einfluss des Niederschlages auf den Tracertransport zu charakterisieren. Die Konzentrationsspitzen sind, ähnlich wie beim Sagtümpel (SGT), offensichtlich mit entsprechenden Abflussereignissen korreliert, wie sie am Sagtümpel aufgezeichnet werden konnten. Die Datenaufzeichnung an der Messstelle ZSG erfolgte nur bis zum 07.07.2023 18:48, da durch einen Ausfall der Stromversorgung (Anschluss an die Stromversorgung der Talstation der Mitterstein-Seilbahn) ein weiterer Betrieb nicht möglich war.

An der Zauchen-Hauptquelle (ZH) wurden entsprechend dem Beprobungsplan nur Wasser- und Aktivkohleproben entnommen. Das Aktivkohlesäckchen für die Nullprobe wurde bei einem Hochwasserereignis weggerissen, alle übrigen Aktivkohleproben an dieser Messstelle konnten analysiert werden.

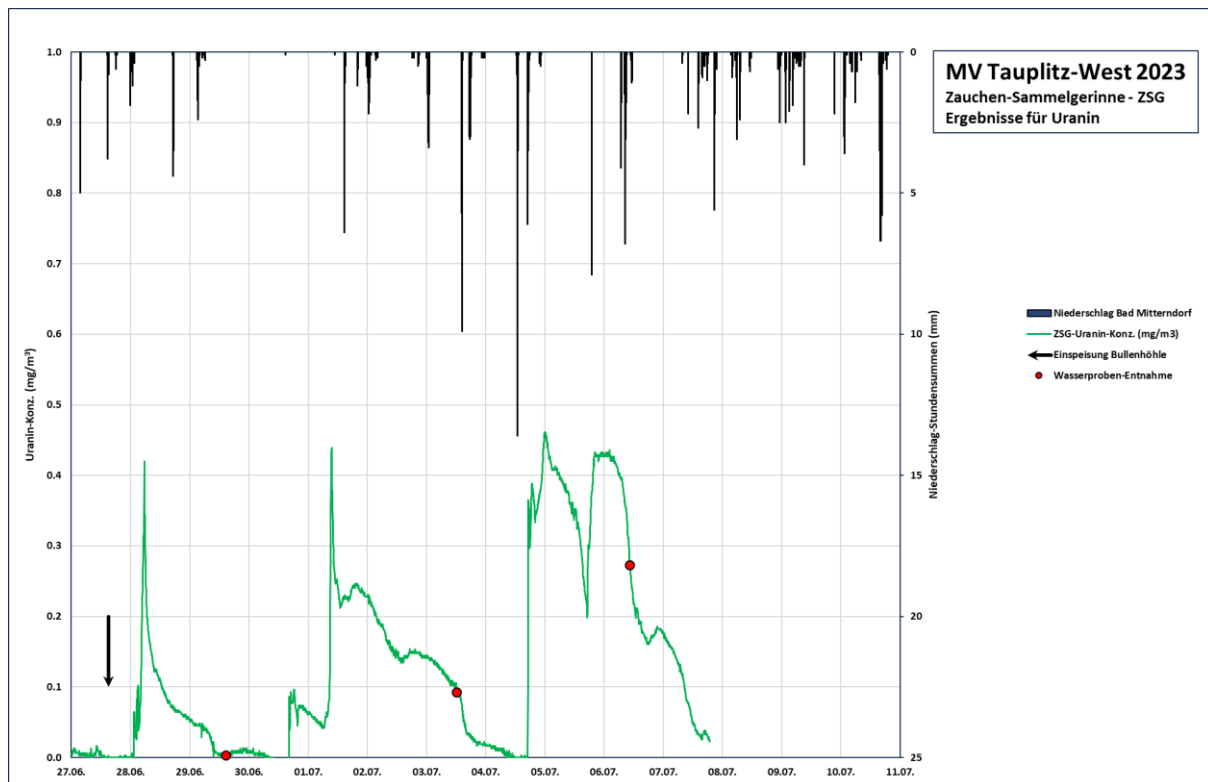


Abb. 7: Uranin-Durchgang an der Messstelle Zauchen-Sammelgerinne (ZSG). Zeitraum 27.06. – 11.07.2023. Unten: Uranin-Konzentration (grüne Linie), rote Punkte kennzeichnen die Zeitpunkte von Wasserprobenentnahmen und ihre Position auf der Durchgangskurve, der vertikale Pfeil markiert den Zeitpunkt der Uranin-Einspeisung in der Bullenhöhle. Oben: Verlauf der Niederschläge (Stundenwerte) zwischen 27.06. und 11.07.2023 an der Station Bad Mitterndorf.

9.3 Ergebnisse mit Sulforhodamin G

Das in den Schnittlamoos-Ponor eingespeiste Sulforhodamin G konnte nur im Sagtümpel (SGT), nicht aber in den anderen Beobachtungsstellen, wie z.B. im Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) oder in der Zauchen-Hauptquelle (ZH), nachgewiesen werden. Auch bei den übrigen Messstellen war in den Wasser- und Aktivkohleproben kein Sulforhodamin-G-Nachweis möglich.

Die Durchgangskurve für Sulforhodamin G (Abb. 8) am Sagtümpel zeigt im Anstieg einen für Tracerdurchgänge erwartbaren Verlauf. Nach Überschreiten des Konzentrationsmaximums erfolgt aber ein eher untypischer extremer Abfall der Konzentration, der nur durch den Einfluss der plötzlich einsetzenden Abflussereignisse, verursacht durch starke Gewitterniederschläge, erklärt werden kann. Demnach kam es zu einer extremen Verdünnung der Konzentration. Der weitere Verlauf der Durchgangskurve zeigt nur mehr Tracerkonzentrationen auf relativ niedrigem Niveau bis zum Ende der Beobachtungen bzw. Messungen. Unmittelbar vor dem Konzentrationsabfall wurde durch eine Abflussspitze ein kurzzeitiger, eine Stunde lang andauernder Konzentrationsanstieg zum absoluten Maximum (04.07.2023 19:00) verursacht, dem ein steiler etwa 6 Stunden dauernder Konzentrationsrückgang folgte. Der mit dem Lichtleiter-Fluorimeter erzielte Erstdurchgang von Sulforhodamin G erfolgte am 01.07.2023 15:55. Danach gehen die Konzentrationen bis 02.07.2023 14:50 zurück, anschließend kommt es zu einem massiven Durchgang mit steilem Konzentrationsanstieg und einer ersten Spitze am 04.07.2023 14:35, nach einem kurzfristigen Konzentrationsrückgang ein Anstieg zur absoluten Spitze am 04.07.2023 19:05.

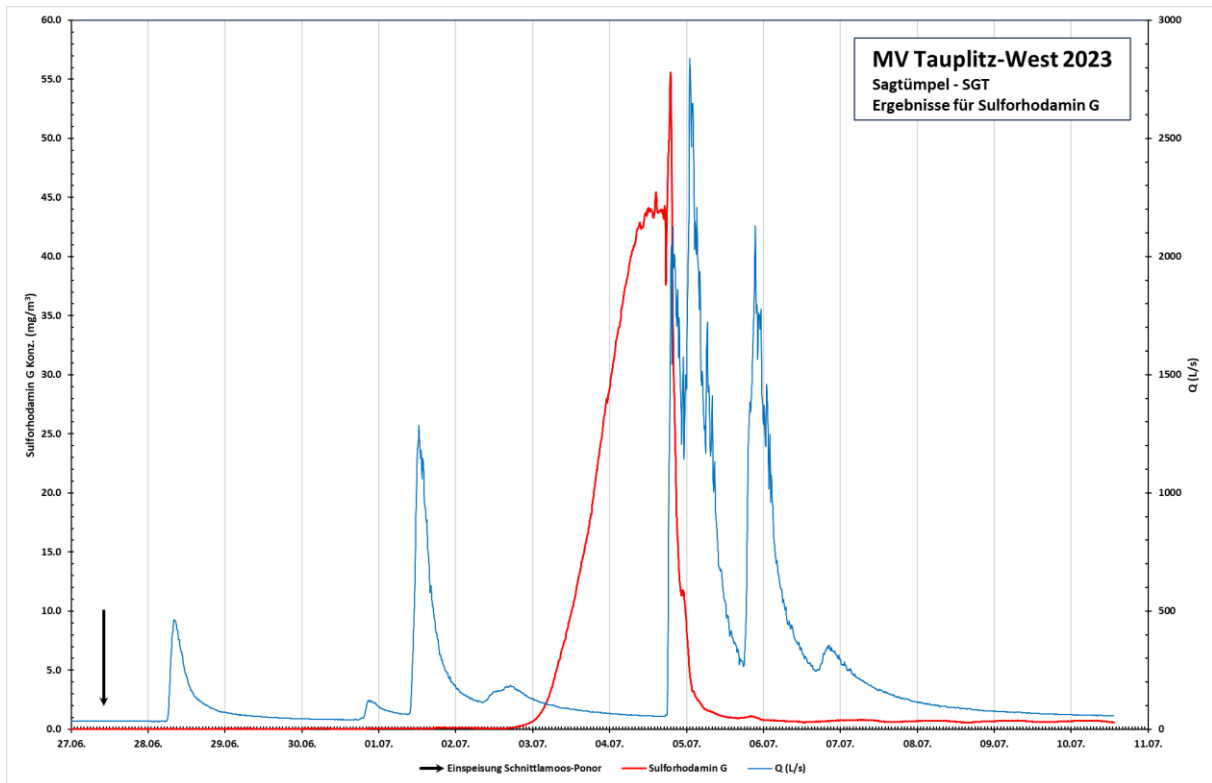


Abb. 8: Sulforhodamin G-Durchgang im Sagtümpel. SRG-Fluoreszenz (rot), Konzentration (mg/m³), Q = Durchfluss (blau) an der Pegelstation in L/s, der Pfeil markiert die Einspeisung in den Schnittlamoos-Ponor.

9.4 Versuchskenndaten

Die angeführten Kenndaten des Versuches sind auf Basis der vorgefundenen Ausgangs- und der dann während der Beobachtungszeit bestehenden Randbedingungen (Hydrometeorologie, Messunsicherheiten bei den Abflussmessungen und bei den gemessenen Konzentrationen) zu bewerten, was auch für die errechneten Wiederausbringungsraten der eingesetzten Tracer zu berücksichtigen ist. Zu berücksichtigen ist auch, dass die mittels Feldgeräten erzielte Nachweisempfindlichkeit für die Tracer geringer ist als die von Laborgeräten.

9.4.1 Transportzeiten und Transportgeschwindigkeiten

Transportzeiten (Tab. 8) sind ein direktes schon im Gelände gewinnbares Messergebnis, Transportgeschwindigkeiten basieren zusätzlich auf der Annahme einer Fließdistanz, die unterschiedlich berechnet werden kann, wie z.B. lineare Horizontaldistanz (Kartenentfernung zwischen Eingabe- und Messort) o. ä.

Tab. 8: Übersicht zu den Transportdistanzen (errechnet aus den Koordinaten, ± 5-10 m). SP: Schnittlamoos-Ponor, BS: Bullenhöhle-Siphon, HD: Seehöhendifferenz, 2D-D: lineare Horizontaldistanz, 3D-D: Schrägdistanz, DD: gedachtes vertikalgestelltes rechtwinkeliges Dreieck (Kathetensumme), alle Angaben in m.

Station	Kurzbez.	Seehöhe (ü. A.)	UTM 33N		HD	2D-D	3D-D	DD	HD	2D-D	3D-D	DD
			RW	HW	SP	SP	SP	SP	BS	BS	BS	BS
Schnittlamoos-Ponor	SP	1589	423760	5271789	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Bullenhöhle-Eingang	BE	1570	423585	5271403	19	424	424	443	-----	-----	-----	-----
Bullenhöhle-Einspeisepunkt	BS	1325	423708	5271163	264	628	681	892	-----	-----	-----	-----
Zauchen-Hauptquelle	ZH	1256	423060	5270426	333	1532	1568	1865	69	981	984	1050
Zauchen-Sammelgerinne	ZSG	1189	422977	5270075	400	1884	1926	2284	136	1311	1318	1447
Sagtümpel (Pegelstation)	SGT	970	427058	5270285	619	3625	3677	4244	355	3463	3481	3818

Da der wahre Transportweg durch den Gesteinskörper unbekannt ist, stellt die Transportgeschwindigkeit (Tab. 9) für den ersten Nachweis nur eine Minimalgeschwindigkeit dar.

Realistischer dürfte sein, wenn man sich zwischen Einspeisepunkt und Probenahme- bzw. Messpunkt ein vertikal stehendes rechtwinkeliges Dreieck denkt und dann die Summe der beiden Katheten bildet. Damit ergeben sich höhere Geschwindigkeitswerte, sodass sich z.B. für den Sagtümpel beim Erstnachweis etwa 712 m/d (bezogen auf die Horizontalstanz/Kartenentfernung) gegenüber etwa 834 m/d (bezogen auf das gedachte Dreieck) ergeben.

Die Geschwindigkeit für den Peak repräsentiert einen für den Zeitpunkt des Konzentrationsmaximums errechneten Wert. Die Schwerpunkt-Geschwindigkeit ist ein näherungsweise Wert für die mittlere Transportgeschwindigkeit.

Tab. 9: Übersicht zu den Transportzeiten und mittlere Transportgeschwindigkeiten (Werte gerundet). Bei ZSG beziehen sich die Daten auf den ersten Peak der aufgezeichneten Durchbruchskurve, m/d = m pro Tag.

Parameter	Einheit	SGT						ZSG		
		Uranin			Sulforhodamin G			Uranin		
		2D-D	3D-D	DD	2D-D	3D-D	DD	2D-D	3D-D	DD
1. Nachweis (nach Eingabe)	h	122			102			10		
1. Nachweis (Geschwindigkeit)	m/h	30	30	35	35	36	42	127	128	140
1. Nachweis (Geschwindigkeit)	m/d	712	722	833	852	864	997	3054	3071	3371
Peak (nach Eingabe)	h	164			177			15		
Peak (Geschwindigkeit)	m/h	22	22	26	21	21	24	90	90	99
Peak (Geschwindigkeit)	m/d	531	539	622	492	499	576	2150	2162	2373
Schwerpunkt (nach Eingabe)	h	157			171					
Schwerpunkt (Geschwindigkeit)	m/h	23	23	27	21	21	25			
Schwerpunkt (Geschwindigkeit)	m/d	555	563	650	509	516	595			

Da bei ZSG eine stark fluktuierende Durchbruchskurve mit drei Peaks (1. Peak nach 15 h, 2. Peak nach 90 h und 3. Peak nach 177 h) auftrat, wurden keine Daten für den Schwerpunkt der Zeit/Konzentrationskurve ausgewiesen.

9.4.2 Wiederausbringung der Tracer

Die Wiederausbringung eines Tracers an einer Messstelle ist abhängig von der hydrometeorologischen Situation während des Versuches und den Messunsicherheiten bei den diversen Verfahrensschritten. An der Messstelle Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) konnte keine Wiederausbringung für den Tracer Uranin berechnet werden, da keine Abflussaufzeichnung erfolgte. Sulforhodamin G konnte an dieser Messstelle überhaupt nicht nachgewiesen werden.

Am Sagtümpel konnte die Wiederausbringung beider Tracer berechnet werden. Uranin wurde zu etwa 48 % wieder ausgebracht. Sulforhodamin G wurde zu etwa 100 % wieder ausgebracht (rein rechnerisch 106 %), was im Rahmen der Messunsicherheiten bei der Konzentrationsbestimmung bzw. der Durchflussdaten (z.B. für 30 cm Wasserstand ergeben sich auf 95%-Vertrauensniveau 710 ± 86 L/s) am Pegel Sagtümpel realistisch erscheint.

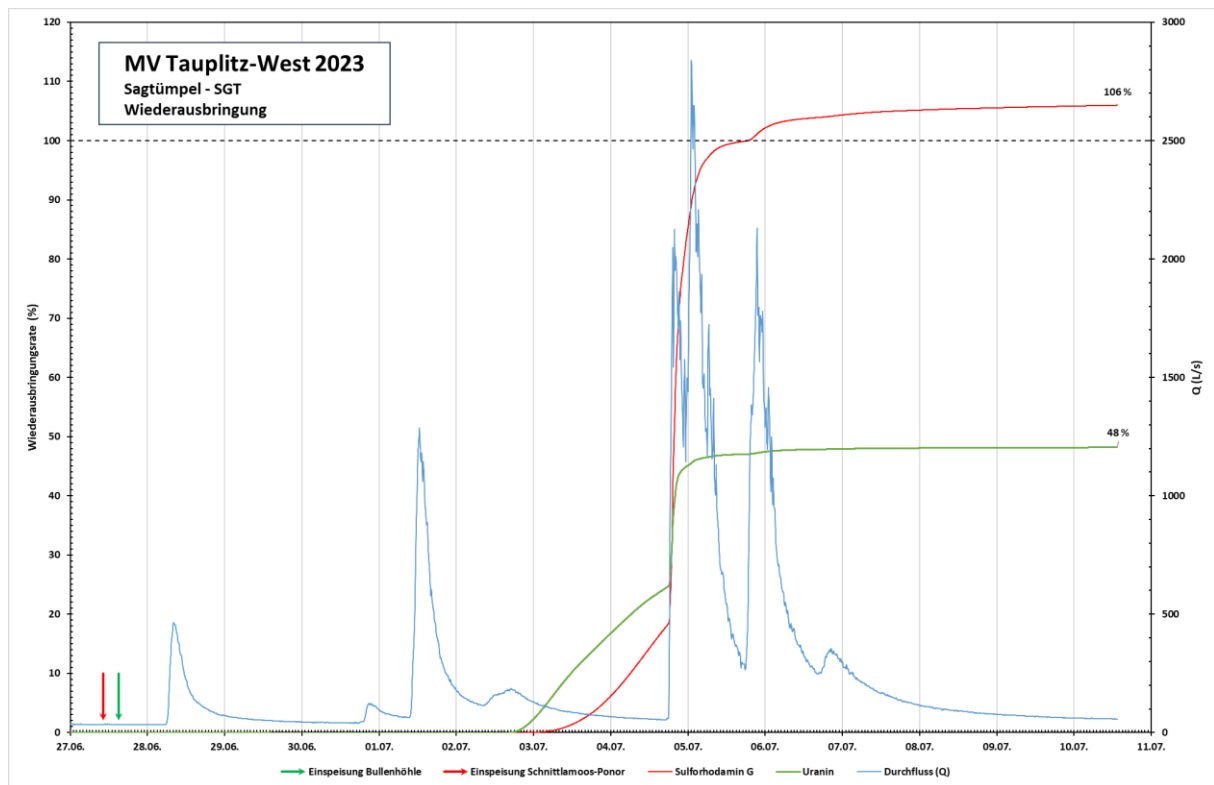


Abb. 9: Wiederausbringungsrate (in % des jeweils eingesetzten Tracers) von Uranin und Sulforhodamin G im Sagtümpel. Uranin (grün), Sulforhodamin G (rot), Q = Durchfluss (blau) an der Pegelstation in L/s, grüner und roter Pfeil geben den Zeitpunkt der Einspeisung eines Tracers an, strichlierte Linie markiert 100 % Wiederausbringung (weitere Erklärung im Text).

Beim Vergleich der Wiederausbringungsrate der beiden Tracer zeigt sich, dass die Wiederausbringung für Uranin etwas anders verläuft als für Sulforhodamin G, was an den unterschiedlichen Transportpfaden im Untergrund liegt. Das kräftige Niederschlagsereignis bzw. Abflussereignis am Abend des 04.07.2023 führte zu einem fast momentanen Ausbringungsschub. Danach blieb die Wiederausbringungsrate bis zum Ende der Aufzeichnungen auf diesem Niveau und stieg nur mehr unwesentlich an.

9.5 Vergleich mit den Ergebnissen der Markierungsversuche 1957, 1961 und 1962

Einen Vergleich mit den Ergebnissen der älteren Markierungsversuche bringt Abb. 10, sodass nachvollzogen werden kann, welche damals beprobten und tracerpositiven Messstellen auch beim aktuellen Versuch tracerpositiv waren. Die in der Karte dargestellten sonstigen Nachweise waren für den aktuellen Versuch nicht relevant, da sie andere Einspeisestellen betrafen.

Zum direkten Vergleich kann das Ergebnis der Einspeisung blau gefärbter Sporen in den Schnittlamoos-Ponor herangezogen werden, das einen gut dokumentierten und eindeutigen Nachweis der Verbindung mit dem Sagtümpel darstellt (Abb. 11). Der Erstdurchbruch am Sagtümpel erfolgte damals frühestens 9,5 h bzw. spätestens 34 h nach der Einspeisung. Diese Zeitspanne entspricht der damaligen Expositionsdauer des Planktonnetzes zum Auffangen der Sporen. Der Peak war bei dem zwischen 34 und 58 h exponierten Netzen am Haupt- bzw. Nebenabfluss erreicht. Durch die Angabe im Bericht von Maurin & Zötl (1957), dass am Sagtümpel ein Abfluss von ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ herrschte, lassen sich diese sehr kurzen Durchlaufzeiten auch hydrologisch plausibel erklären.

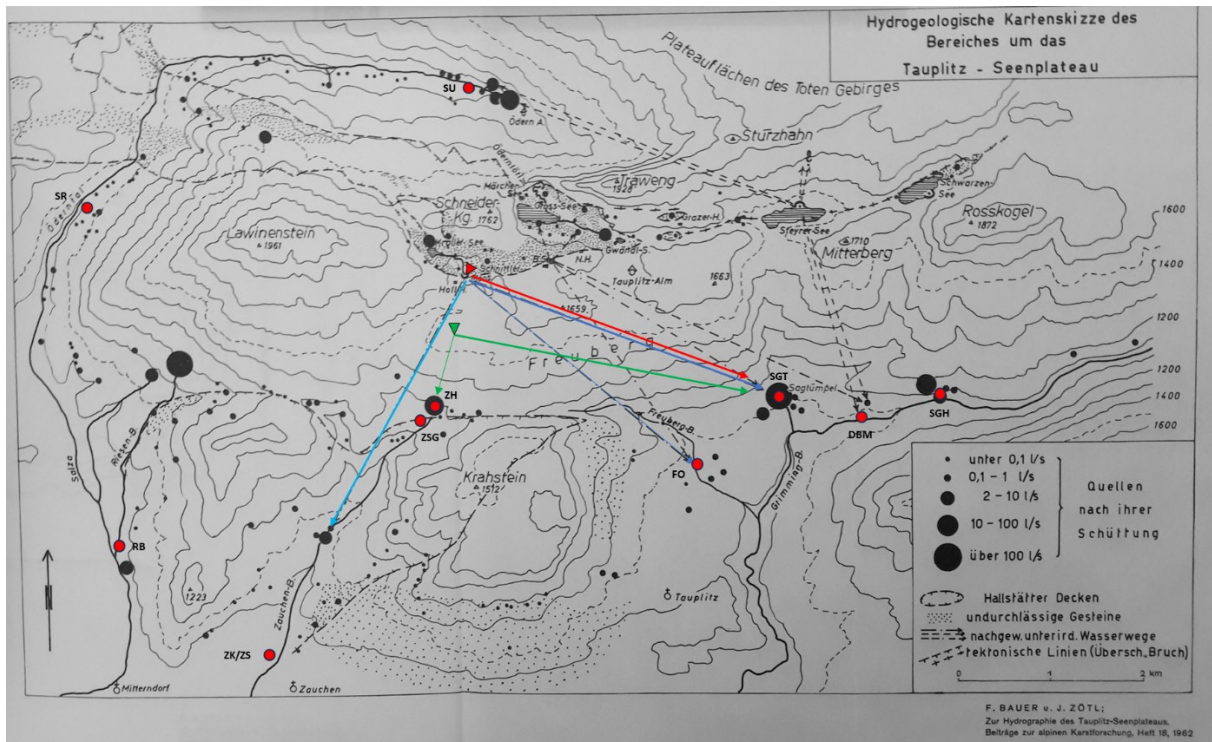


Abb. 10: Übersicht zu tracerpositiven Nachweisen der Versuche 1957, 1961 und 1962 im Vergleich mit dem Versuch 2023. Für den aktuellen Versuch relevant sind nur die blauen Pfeile des Versuches 1957 mit blaugefärbten Bärlappsporen. Grün (für Uranin) und rot (für Sulforhodamin G) gezeichnete Pfeile betreffen die Ergebnisse des aktuellen Versuchs. Dreiecke: grün (ungefähre Lage der Einspeisestelle in der Bullenhöhle), rot (Lage des Schnittlamoos-Ponors), rote Punkte: Mess- bzw. Beobachtungsstellen beim aktuellen Versuch 2023, die sich zum Teil mit den Stellen der alten Versuche decken (Karte mod. aus Bauer & Zötl, 1964).

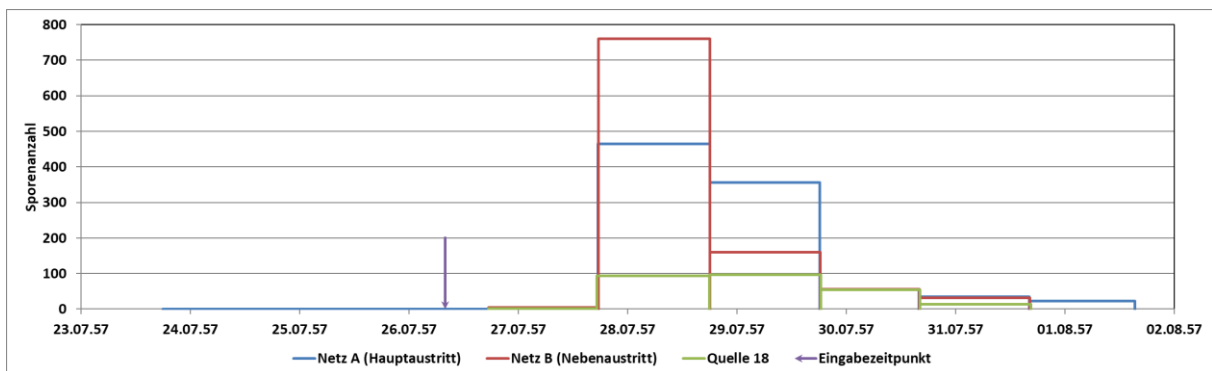


Abb. 11: Übersicht zum Durchgang blau gefärbter Sporen beim Versuch 1957 am Sagtümpel. Netz A war am damaligen Sagtümpel-Hauptabfluss eingesetzt, Netz B am kleineren Nebenabfluss und ein Netz an Quelle 18 (linksufrig etwas stromab von Hauptabfluss, aber im Originalbericht nicht näher lokalisierbar). Die Einspeiszeit (26.07.1957 08:00-09:00) der Sporen in den Schnittlamoos-Ponor ist durch den Pfeil dargestellt (nach Maurin & Zötl, 1957).

9.6 Diskussion der Ergebnisse

Folgende Fragen ergaben sich aus den Resultaten des aktuellen und aus den früheren Markierungsversuchen:

1. Inwieweit sind die hydrometeorologischen Randbedingungen der älteren Markierungsversuche mit denen des Versuches 2023 vergleichbar?
2. Welche Nachweise aus den verschiedenen Markierungsversuchen ergaben „vergleichbare“ Ergebnisse hinsichtlich Transportrichtungen und -geschwindigkeiten?

3. Welche Nachweise der früheren Markierungsversuche konnten mit dem aktuellen Versuch nicht nachvollzogen werden?
4. Waren die Einspeisemengen ausreichend?
5. War die Beobachtungszeit ausreichend?
6. War das in der Bullenhöhle versinkende Höhlengerinne von der Einspeisung in den Schnittlamoos-Ponor betroffen?
7. Wie ist am Sagtümpel die Wiederausbringung von Uranin zu interpretieren?
8. Wie ist die Wiederausbringung von Sulforhodamin G zu interpretieren?

Ad 1)

Wie schon weiter oben erwähnt, kann nicht erwartet werden, dass ein Markierungsversuch unter exakt gleichen hydrometeorologischen Bedingungen abläuft. Hierbei kann es allenfalls nur eine Annäherung geben. 1957 erfolgten alle Einspeisungen am 22.07., im Jahr 1961 am 20. und 21.06. und im Jahre 1962 am 18.06. Dies bedeutet, dass zumindest die Jahreszeit die gleiche war und wegen früher recht schneereicher Winter damals noch ausklingende Schneeschmelze herrschte. Beim aktuellen Versuch war die Schneeschmelze jedoch schon abgeschlossen. Aus den vorhandenen Informationen zu den älteren Versuchen kann entnommen werden, dass um die angegebenen Einspeisezeiten im Jahre 1957 ebenfalls schauerartige Niederschläge auftraten. So bestand zur Zeit des Versuches 1957 eine Niederschlagsstation beim Hollhaus, die für den Versuchszeitraum 22.-31.7.1957 Tages-Niederschläge bis zu 55 mm verzeichnete.

Ad 2)

„Vergleichbare“ Ergebnisse hinsichtlich Transportgeschwindigkeiten und -verbindungen mit früheren Versuchen ergaben sich nur für den Sagtümpel (SGT), der Zauchen-Hauptquelle (ZH) und damit notwendigerweise auch mit der ca. 200 m von ZH stromab gelegenen Messstelle ZSG.

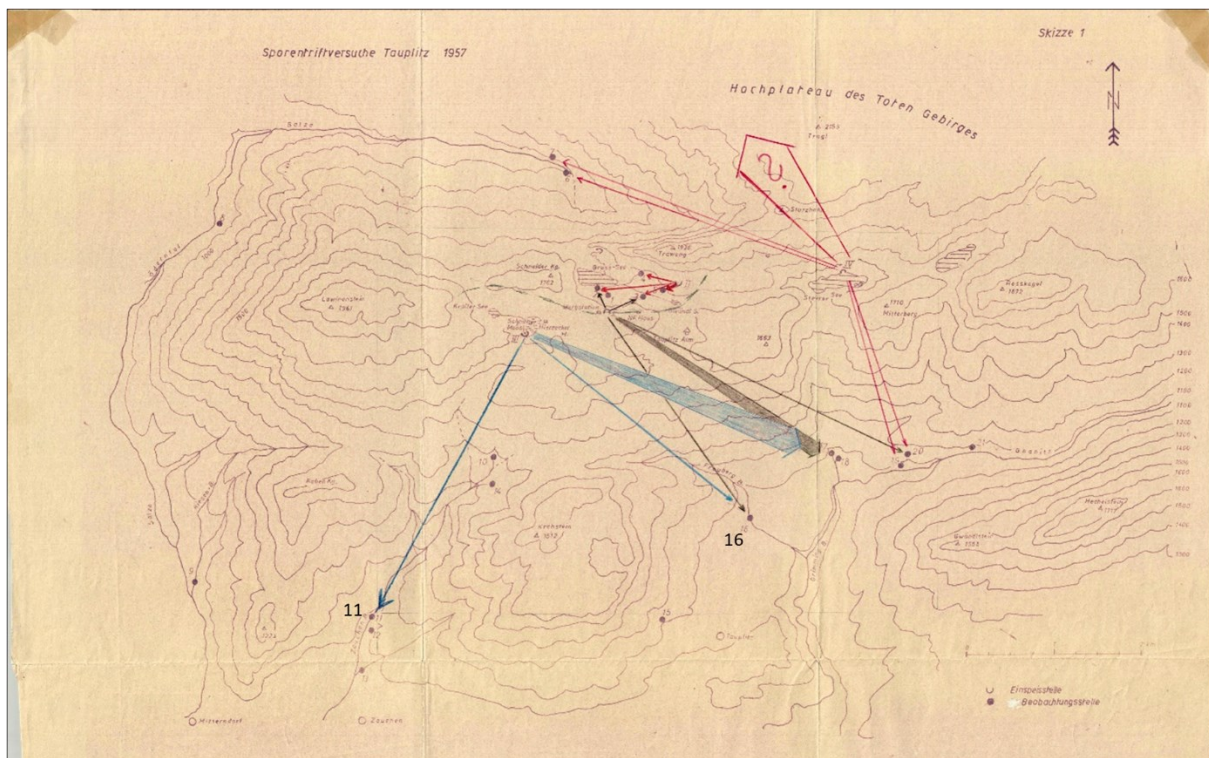


Abb. 12: Übersicht über die Ergebnisse des Sporendriftversuches 1957. Die in Blau gehaltenen Verbindungspfeile geben die allgemeine Transportrichtung der eingesetzten blau gefärbten Sporen an (Maurin & Zötl, 1957: Skizze 1). Die übrigen eingezeichneten Transportrichtungen mit anderen Tracern sind für den vorliegenden aktuellen Versuch nicht relevant.

Ad 3)

Nicht nachvollzogen werden konnten Verbindungen des Versuches 1957 vom Schnittlamoos-Ponor zur Messstelle (Nr. 11) am Zauchenbach (1 positive Sporenprobe mit 2 blauen Sporen), möglicherweise auch deshalb, weil die aktuelle Messstelle ZSG weit höher, knapp unterhalb der Talstation der Mitterstein-Seilbahn, lag. Kein Nachweis erfolgte beim Versuch 1957 bei den Quellen der WVA Zauchen (Kohlstattquelle – ZK; Schacherbauerquelle - ZS). Ebenso erfolgte kein Nachweis am 1957 sporenpositiven (2 Proben mit 2 und 4 blauen Sporen) Freibergbach (Nr.16). Die Messstellen-Nummern sind dem Original-Versuchsbericht (Maurin & Zötl, 1957: Skizze 1) entnommen (Abb. 12).

Ad 4)

Die Bemessung der Einspeisemengen kann auf verschiedene Weise abgeschätzt werden – es existieren zahlreiche Berechnungsformeln. Darüber hinaus gibt es auch Modellierungsansätze, die gerade in Karstaquiferen angewendet werden können. Für den vorliegenden Versuch wurde ein 1D-Advektions-Dispersionsmodell verwendet, das plausible Größenordnungen ergab. Trotzdem beruht ein Gutteil der Überlegungen, wieviel eingespeist werden soll, auf Erfahrungswerten, die im Laufe zahlreicher Markierungsversuche gewonnen wurden.

Der massive Wiederaustritt der beiden Tracer im Sagtümpel mit Wiederausbringungsgraden von ca.48 % für Uranin und mit etwa 100 % für Sulforhodamin G lässt schließen, dass eine Vergrößerung der Einspeisemengen in diesem Falle nur zu einem noch massiveren Wiederaustritt am Sagtümpel geführt hätte. Obwohl Nichtnachweise eben nur Nichtnachweise sind und nicht notwendigerweise aussagen, dass keine Fließverbindung besteht, erscheint die Annahme plausibel, dass weitere Verbindungen zu den übrigen Quellen unter den beobachteten hydrometeorologischen Bedingungen nicht gegeben waren.

Ad 5)

Obwohl die Beobachtung nach Abbau der Feldgeräte (10.07.2023) mit Aktivkohle bei allen Mess- und Beobachtungsstationen noch bis 04.08.2023 weitergeführt wurde, konnte nur am Sagtümpel, ein längerdauernder Traceraustritt nachgewiesen werden, während am Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) und an der Zauchen-Hauptquelle (ZH) in den Aktivkohlen kein Nachweis mehr möglich war.

Ad 6)

Die in nicht allzu großer Entfernung vom Schnittlamoos-Ponor gelegene Bullenhöhle und die in 245 m Tiefe unter deren Einstiegsöffnung gelegene Einspeisestelle (in ca. 630 m Horizontalentfernung vom Schnittlamoos-Ponor) waren von der Einspeisung mit Sulforhodamin G nicht betroffen, da sonst auch die Messstelle an der Zauchen-Hauptquelle (ZH) bzw. am Sammelgerinne (ZSG) betroffen gewesen wäre, was nachweislich nicht (weder mittels Lichtleiter-Fluorimetrie, noch durch Wasser- oder Aktivkohleproben) der Fall war.

Ad 7)

Die Wiederausbringung von Uranin am Sagtümpel mit ca. 48 % ist ein berechneter Wert, der sich aus den durch Kalibration des Lichtleiter-Fluorimeters berechneten Konzentrationen und aus den berechneten Durchflusswerten am Pegel Sagtümpel bis zum Abbau des Messgerätes ergibt. Die übrigen 52 % verteilen sich auf die wegen fehlender Abflussdaten nicht quantifizierbaren Mengen am Zauchen-Sammelgerinne (ZSG), auf die unter der Nachweisgrenze des Messgerätes weiterhin bestehende Tracerausbringung (am Sagtümpel in der bis 04.08.2023 exponierten Aktivkohle nachgewiesen) und auf eine mögliche nur durch die Hochwässer bedingte Wiederausbringung an den nicht beprobten bzw. nicht beobachteten Nebenquellen (z.B. Dürrenbach (auch Tiefenbach) als Hochwasserüberlauf des Sagtümpel) sowie auf eine allfällige Speicherung in Karsthohlräumen, die nur

bei Hochwasser aktiv von Wasser durchflossen werden. Dafür spricht der jeweils nur kurzfristige Nachweis mit 3 Spitzen relativ geringer Konzentrationen am Zauchen-Sammelgerinne (ZSG).

Ad 8)

Wie schon bei der Ergebnisdarstellung in Abschn. 9.3 bzw. 9.4.2 angeführt wurde beim Sagtümpel eine Wiederausbringung des in den Schnittlamoos-Ponor eingespeisten Sulforhodamin G von 106 % errechnet, was natürlich nicht den realen Verhältnissen entspricht. Mit den erwähnten Messunsicherheiten in der Konzentrationsbestimmung und vor allem bei den Durchflussmessungen kann von einer Wiederausbringung von 100 % ausgegangen werden, wenn man berücksichtigt, dass in der Aktivkohle von 04.08.2023 noch Sulforhodamin G nachzuweisen war und während der starken Hochwasserereignisse auch über den Dürrenbach Tracer ausgebracht wurde.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Einen zusammenfassenden Überblick des Versuches 2023 bringen Abb. 13 und Abb. 14.

Der Markierungsversuch 2023 brachte zunächst wie erwartet einen eindeutigen Nachweis der Verbindung Schnittlamoos-Ponor zum Sagtümpel, der 1975 zur Wassergewinnung für den Ort Tauplitz gefasst wurde, jedoch 2016 - 2017 im Zuge eines EU-LEADER-Projekts wieder renaturiert werden konnte und nunmehr als lohnendes Wander- und Ausflugsziel der Region gelten kann (Seebacher, 2023). Als Schlussfolgerung für zukünftige Planungen gilt daher nach wie vor, dass die Wässer des Sagtümpel auch weiterhin, wie immer eine allfällige technische Lösung aussehen mag, ohne Aufbereitung weder für Trinkwasser- noch für Badewasserzwecke herangezogen werden sollen.

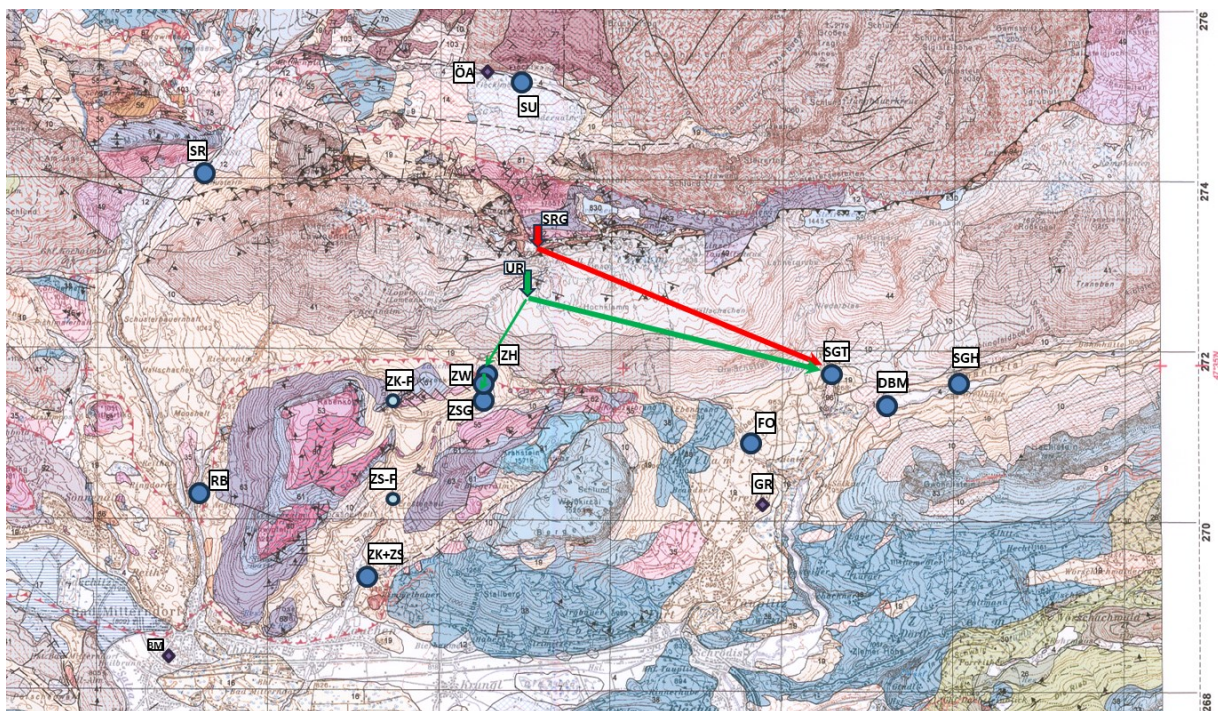


Abb. 13: Übersicht zu den beim Markierungsversuch 2023 festgestellten Karstwasserverbindungen und zu den untersuchten Mess- bzw. Beobachtungsstellen. Die eingezeichneten Transportrichtungen geben nur die allgemeinen Transportrichtungen der Tracer wieder. Niederschlagsstationen: ÖA = Ödernalm, BM = Bad Mitterndorf, GR = Greith/Tauplitz (s.a. Tab. 1), Kurzbezeichnungen der Mess- bzw. Entnahmestellen siehe Tab. 5.

Neu ist der Nachweis einer Verbindung vom End-Siphon der Bullenhöhle zum Sagtümpel (SGT) und in das Zauchenbachtal (Zauchen-Sammelgerinne – ZSG bzw. Zauchen-Hauptquelle – ZH).

Sehr rasche Erstdnachweise am Sägtümpel (SGT) bzw. am Zauchen-Sammelgerinne (ZSG) insbesondere nach Starkregenereignissen zeigen, dass im Falle des Eindringens von Kontaminanten in die jeweiligen Schwinden kaum ausreichend Reaktionszeit für Schutzmaßnahmen gegeben ist. Insbesondere im Bereich des Schnittlamoos-Ponors ist daher darauf zu achten, dass alle Einrichtungen zur Abwasserentsorgung einwandfrei funktionieren.

Nicht bestätigt wurde das Ergebnis vom Sporentriftversuch 1957 an der Messstelle Freibergbach (FO).

Alle übrigen Mess- und Beobachtungsstellen des aktuellen Versuches erbrachten mit den eingesetzten Mitteln keinen Tracernachweis. Insbesondere erfolgte kein Nachweis an den Versorgungsanlagen (Messstellen ZK und ZS) der Wassergenossenschaft Zauchen. Weiters erfolgte auch kein Nachweis an der Versorgungsanlage SR der Marktgemeinde Bad Mitterndorf, deren Einzugsgebiet im Bereich des Salzatal-Grundwasserkörpers bzw. der Lawinenstein-Nord- bzw. NW-Seite zu vermuten ist.

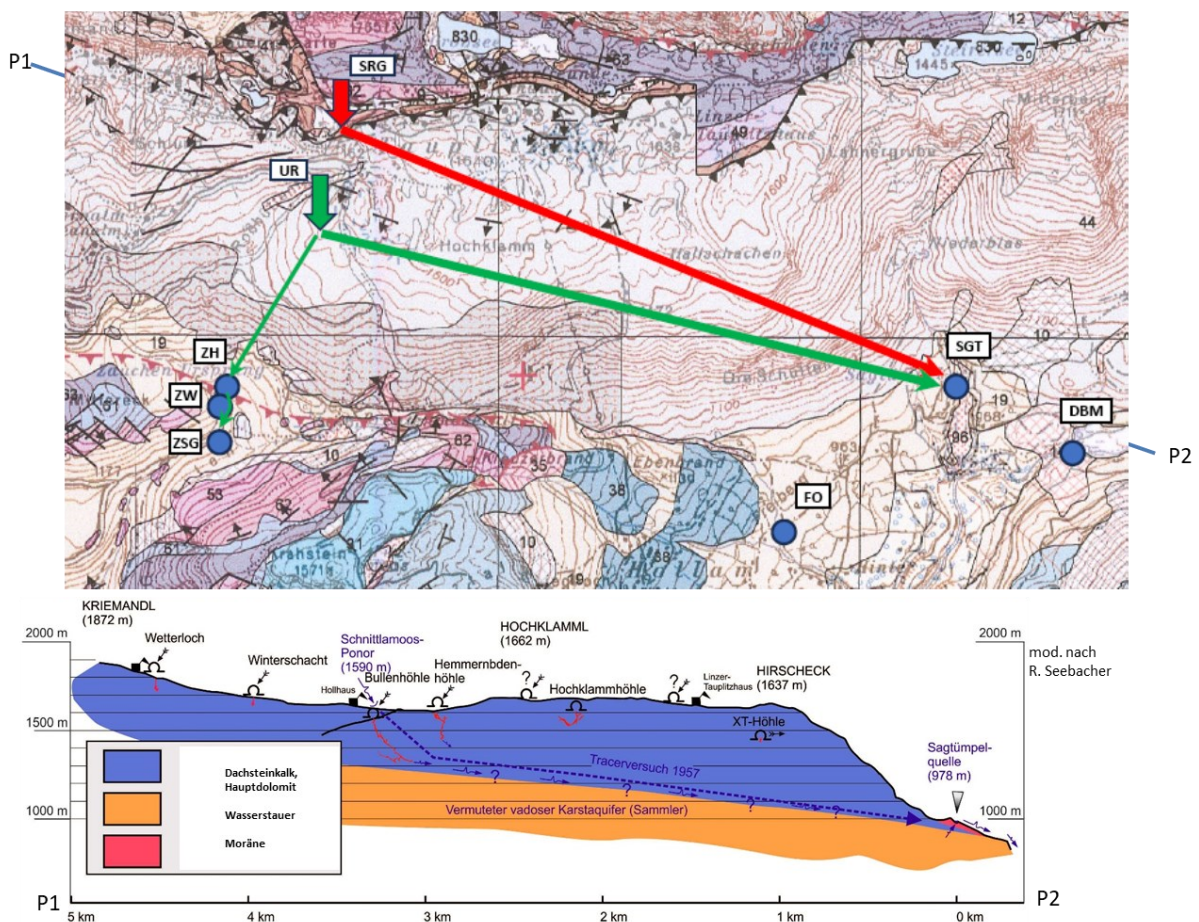


Abb. 14: Vergrößerte Darstellung zu den beim Markierungsversuch 2023 festgestellten Karstwasserverbindungen und schematischer geologischer NW-SE-Schnitt (mod. nach R. Seebacher) durch das engere Versuchsgebiet.

10 Dank

Ein Dank ergeht an alle, die zum Gelingen des Projekts durch Finanzierung, durch die Erlaubnis zur kostenfreien Benützung der Maut- und Forststraßen, durch die Erlaubnis für Messungen an den Wasserversorgungsanlagen, durch persönliche Hilfestellung oder durch Beistellung von Geräten beigetragen haben:

Mag. Dr. Michael Ferstl (Land Steiermark, Wasserwirtschaftliche Planung)
Bürgermeisterin Veronika Grill (Marktgemeinde Bad Mitterndorf)
Robert Seebacher, Andreas Glitzner, Christoph Peer, Franz Schmidt, Anton Kerschbaumer
(Verein für Höhlenkunde in Obersteier)
Dipl.-Chem. Dr. Albrecht Leis, Ing. Alexandra Geisinger-Haslinger, Ing. Sabine Lindbichler
(JR-AquaConSol GmbH)
Assoz. Prof. Mag. Dr. Gerfried Winkler, Dipl.-Ing. Dr. Thomas Wagner (Karl-Franzens-Universität
Graz, Institut für Erdwissenschaften)
Ing. Johann Hinterschweiger (Wassergenossenschaft Zauchen)
Mag. Barbara Stromberger, Sebastian Wiesmair, MSc. (Land Steiermark, Hydrographischer
Dienst)
Mag. Christian Pehsl, Mag. Andreas Schopper (Geosphere Austria, Regionalstelle Steiermark)
Tauplitz Alpenstraßen AG
Tauplitzer Fremdenverkehrs GesmbH
Almgenossenschaften Ödernalm und Tauplitzalm
Agrargemeinschaft-Waldgenossenschaft Tauplitz
Österreichische Bundesforste

11 Literatur und Unterlagen

- ANDERLE, N. (1964): Schlussbericht Quellenaufnahme Tauplitz, Teil 1 und 2.- Unveröff. Bericht, Archiv d. Geol. B.-A., mit Karte, Sig GBA_00759-R_1964.
- BAUER, F. & ZÖTL, J. (1962): Zur Hydrographie des Tauplitz-Seenplateaus.- Beitr. z. Alpenen Karstforschung, Nr. 18, 30 S., Wien (BMinLuFw).
- BEHRENS, H. (1970): Zur Messung von Fluoreszenzfarbstoffen.- Jahresbericht 1969, GSF-Bericht R 25:92-96, Inst. f. Radiohydrometrie, München.
- [DEUTSCHES] UMWELTBUNDESAMT (1997): Human- und ökotoxikologische Bewertung von Markierungsmitteln in Gewässern (Empfehlungen eines Arbeitskreises beim Umweltbundesamt).- Grundwasser, 1997 (2), 61-64.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1957): Bericht über hydrogeologische Untersuchungen im Raume der Tauplitz.- Unveröff. Projektbericht an Land Stmk., 10 S., 4 Beil., Graz (16.10.1957).
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1964): Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge mit besonderer Berücksichtigung der versorgungswasserwirtschaftlichen Belange im Tauplitzgebiet.- Österr. Wasserwirtschaft, 16 (5/6), 112-123.
- ÖWAV-Regelblatt 201 (2007): Praktische Anleitung für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen.- 2. überarb. Aufl., 80 S., Wien.
- ÖWAV-Regelblatt 214 (2007): Markierungsversuche in der Hydrologie und Hydrogeologie.- 72 S., Wien.
- SCHÖLLNBERGER, W. (1973): Zur Verzahnung von Dachsteinkalk-Fazies und Hallstätter Fazies am Südrand des Toten Gebirges (Nördliche Kalkalpen, Österreich).- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 22, 95-153.
- SCHUSTER, R. (2015): Zur Geologie der Ostalpen.- Abh. Geol. B.-A., 64, 143-165.
- SEEBACHER, R. (2023): Der Sagtümpel bei Tauplitz (Steiermark) – Renaturierung einer Riesenkarstquelle.- Mitt. d. Ver. f. Höhlenkunde in Obersteier, 41./42. Jahrg., 172-185.
- STEIGER, T. (1980): Geologische Aufnahme des Zauchenbachtals und des Krahstein-Massivs am Südrand des Toten Gebirges N' Bad Mitterndorf (Nördliche Kalkalpen, Steirisches Salzkammergut, Österreich).- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 26, 213-245.
- TOLLMANN, A. (1960): Die Hallstätterzone des östlichen Salzkammergutes und ihr Rahmen.- Jahrb. Geol. B.-A., 103, 37-131.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich.- Band 2 (Außerzentralalpiner Anteil), XV, 710 S., Wien (Deuticke).
- ZÖTL, J. (1961): Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg. 1960/61, Hft. 2, 183 S., Graz. (S. 121)

12 Anhang

12.1 Anmerkungen zur Analytik

Zur Analyse auf Uranin wurden die untersuchten Wasserproben einschließlich der Messstandards mit jeweils ca. 0.2 ml EDTA versetzt, der pH-Wert der Messlösung dadurch auf etwa 8 - 9 angehoben, und die Uranin-Fluoreszenz dadurch voll entwickelt. Für Sulforhodamin G war keine weitere Behandlung notwendig, doch wurde die Temperaturabhängigkeit seiner Fluoreszenz sowohl bei den Kalibrationsstandards als auch bei den Messproben aus dem Gelände berücksichtigt und auf die Labortemperatur von 25 °C als Referenz bezogen.

Aktivkohleproben wurden nach der Entnahme getrocknet und danach mit einem Gemisch aus N,N-Dimethylformamid (DMF) und H₂O-deion. eluiert. Da im DMF-Wasser-Gemisch die Uranin-Fluoreszenz gelöscht ist, wurden die Messproben zur Entwicklung der vollen Uranin-Fluoreszenz (bei 530 nm) mit 2 Tropfen Ammoniak-Lösung versetzt und damit in den alkalischen Bereich gebracht. Die Fluoreszenz des Sulforhodamin G (etwa 555 nm) bleibt davon unberührt.

Die Kalibration der beiden Lichtleiter-Fluorimeter erfolgte einerseits über Kontrollproben durch vor Ort bei SGT und ZSG entnommene Wasserproben, die im Laborfluorimeter (JASCO FP 6500) gemessen wurden sowie durch Direktkalibration mittels Standardaddition auf Basis von bei SGT und ZSG vor Versuchsbeginn entnommenen Wasserproben (jeweils 5 L). Die Übersprechempfindlichkeit der Messkanäle für die beiden Tracer (Fluoreszenzanteil des Uranins auf der Messwellenlänge des Sulforhodamin G bzw. Fluoreszenzanteil des Sulforhodamin G auf der Messwellenlänge des Uranins) wurde dabei berücksichtigt).

12.2 Pegelschlüssel Sagtümpel

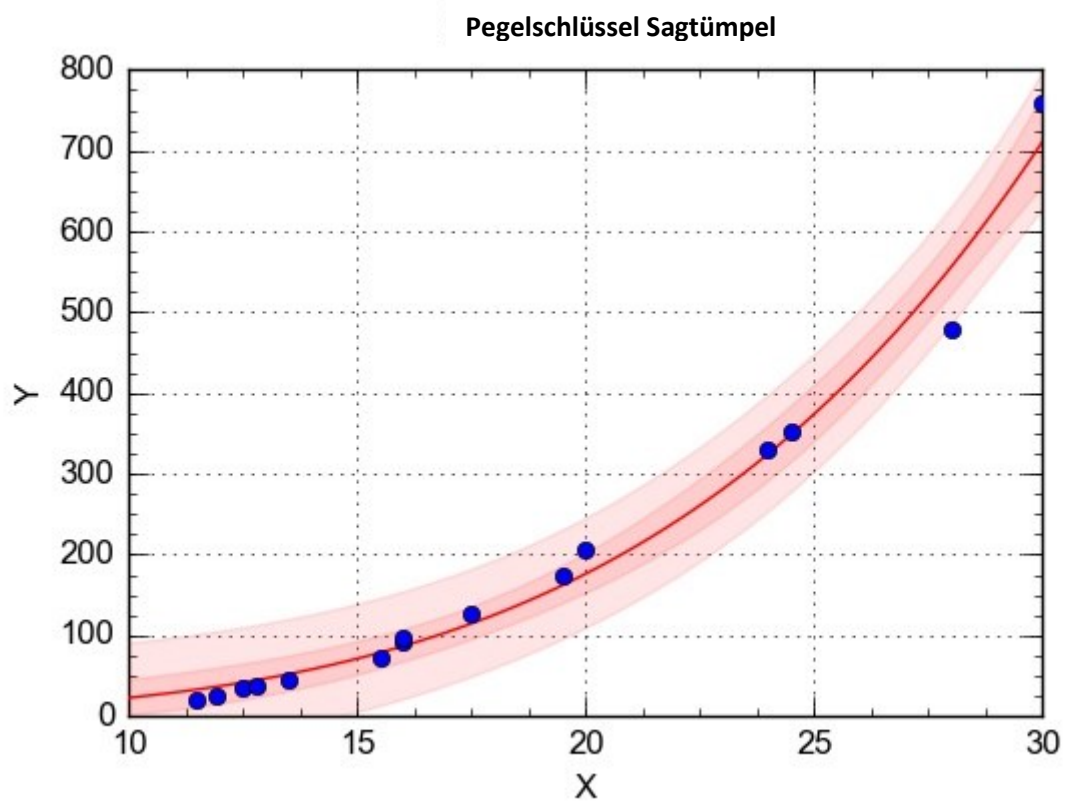
Am 27.06.2023 14:40 MEZ wurde am Sagtümpel zur Kontrolle noch eine Durchflussmessung nach der Salzverdünnungsmethode durchgeführt ($W = 12.1 \text{ cm}$, $Q = 24.9 \text{ L/s}$), die im Rahmen der Messunsicherheiten den Ergebnissen der bisherigen von HD-Steiermark durchgeführten Messungen entsprach.

Original-Messdaten (vom HD-Steiermark zur Verfügung gestellt).

W (cm)	Q (L/s)
11.50	19.60
11.90	25.00
12.50	33.90
12.80	37.20
13.50	43.80
15.50	72.70
16.00	93.00
16.00	95.80
17.50	126.00
19.50	173.00
20.00	206.00
24.00	329.00
24.50	352.00
28.00	478.00
30.00	759.00

W = Wasserstand, Q = gemessener Durchfluss

Schlüsselfunktion:	$a \cdot (x-b)^d$
Parameter:	
a =	0.0000825506765484397
b =	-6.96636205149301
D =	4.42346020716084



X = Wasserstand (cm), Y = Durchfluss (L/s), blaue Punkte = Einzelmessungen, inneres Band = Standardabweichung, äußeres Band = Vertrauensbereich bei 95 %

12.3 Entnahmelisten

Messstelle Kurzbez.	Datum/Uhrzeit (MESZ)	Wasserprobe	Aktivkohle-Nr.	
			AUS	EIN
DBM	18.06.2023 16:10			6762
DBM	26.06.2023 16:55	X	6762	6773
DBM	03.07.2023 16:00	X	6773	6837
DBM	10.07.2023 14:10	X	6837	6859
DBM	04.08.2023 17:20		6859	
FO	18.06.2023 15:20			6760
FO	26.06.2023 17:20		6760	6774
FO	03.07.2023 14:00	X	6774	6835
FO	10.07.2023 13:50		6835	6857
FO	04.08.2023 17:00		6857	
RB	18.06.2023 13:50			6755
RB	26.06.2023 12:02	X	6755	6767
RB	03.07.2023 11:40		6767	6777
RB	10.07.2023 11:42		6777	6851
RB	04.08.2023 15:25		6851	
SGH	18.06.2023 16:25			6763
SGH	26.06.2023 16:30	X	6763	6772
SGH	03.07.2023 15:50		6772	6836
SGH	10.07.2023 14:00		6836	6858
SGH	04.08.2023 17:10		6858	
SGT	18.06.2023 15:33	X		6761
SGT	26.06.2023 15:30	X	6761	6771
SGT	29.06.2023 10:50	X	6771	6775
SGT	03.07.2023 13:20	X	6775	6834
SGT	04.07.2023 11:32	X		
SGT	05.07.2023 09:35	X		
SGT	06.07.2023 11:00	X		
SGT	07.07.2023 11:10	X		
SGT	08.07.2023 12:55	X		
SGT	09.07.2023 17:00	X		
SGT	10.07.2023 14:20	X	6834	6860
SGT	04.08.2023 17:25		6860	
SR	18.06.2023 13:30			6754
SR	26.06.2023 11:30	X	6754	6766
SR	03.07.2023 11:30		6766	6776
SR	10.07.2023 11:30		6776	6840
SR	04.08.2023 15:15		6840	
SU	18.06.2023 13:15			6753
SU	26.06.2023 10:30	X	6753	6764
SU	10.07.2023 11:15		6764	6839
SU	04.08.2023 15:00		6839	

Messstelle	Datum/Uhrzeit (MESZ)	Wasserprobe	Aktivkohle-Nr.	
			AUS	EIN
ZH	18.06.2023 14:40			6757 weggerissen
ZH	26.06.2023 13:05	X	6757 weggerissen	6768
ZH	29.06.2023 14:50	X		
ZH	03.07.2023 12:03	X	6768	6778
ZH	10.07.2023 12:00	X	6778	6852 beschädigt
ZH	04.08.2023 16:10		6852 beschädigt	
ZK	18.06.2023 11:00			6751
ZK	26.06.2023 12:30	X	6751	6765
ZK	29.06.2023 11:30	X		
ZK	03.07.2023 12:57	X	6765	6832
ZK	06.07.2023 10:45	X		
ZK	10.07.2023 12:45	X	6832	6855
ZK	04.08.2023 16:40		6855	
ZS	18.06.2023 11:00			6752
ZS	26.06.2023 12:27	X	6752	6759
ZS	29.06.2023 11:30	X		
ZS	03.07.2023 12:58	X	6759	6833
ZS	06.07.2023 10:45	X		
ZS	10.07.2023 12:45	X	6833	6856
ZS	04.08.2023 16:40		6856	
ZSG	18.06.2023 14:48			6758
ZSG	26.06.2023 13:30	X	6758	6770
ZSG	29.06.2023 14:40	X		
ZSG	03.07.2023 12:15	X	6770	6780
ZSG	06.07.2023 10:25	X	6780	6838
ZSG	10.07.2023 12:10	X	6838	6854
ZSG	04.08.2023 15:50		6854	
ZW	18.06.2023 14:23			6756
ZW	26.06.2023 13:30		6756	6769
ZW	03.07.2023 12:09		6769	6779
ZW	10.07.2023 12:04		6779	6853
ZW	04.08.2023 15:10		6853	

Versuchsende: 04.08.2023 17:25 (letzte Entnahme bei SGT)

X = Wasserprobenentnahme durchgeführt, X = Wasserprobe qualitativ analysiert, X = Wasserprobe quantitativ analysiert, z.B. 6762 = Aktivkohleprobe analysiert, grau unterlegtes Feld = keine Entnahme oder Aktivkohleexposition.

Bis auf die quantitativ analysierten Wasserproben bei SGT, die für Kalibrationszwecke herangezogen wurden, erbrachten die Analysen der übrigen Wasserproben keinerlei Tracernachweise oder waren auf Grund eines hohen, nicht reduzierbaren Messuntergrundes für die quantitative Analyse nicht geeignet.

13 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb.1:	Ausschnitt aus der Geologischen Karte, GEOFAST, 1:50.000, Blatt 97, Bad Mitterndorf (Geosphere Austria, 2014, Ausgabe 2019)	7
Abb. 2:	Übersicht zu den Tagesniederschlägen der Stationen Bad Mitterndorf, Ödernalm und Greith/Tauplitz für den Zeitraum 01.06.-13.07.2023. Tagessummen des Niederschlags (in mm) für Bad Mitterndorf und Ödernalm von 0 bis 24 Uhr, bei der Station Greith/Tauplitz von 7 Uhr morgens bis 7 Uhr des Folgetages.....	10
Abb. 3:	Einspeisung von Sulforhodamin G in den Schnittlamoos-Ponor. Auflösung des Tracers in 2 x 15 L Schwindenwasser. Einspeiser F. Schmidt in Schutzkleidung (Foto: R. Benischke).....	13
Abb. 4:	Einspeisung von Uranin etwa 50 m vor dem derzeitigen Endsiphon in der Bullenhöhle in das aktive Höhlengerinne. Einspeiser A. Glitzner (Foto: R. Seebacher).....	13
Abb. 5:	Intensive Grünfärbung des Sagtümpels (SGT) am 03.07.2023 durch Uranin (Foto: R. Seebacher).....	16
Abb. 6:	Uranin-Durchgang (grün; in mg/m ³) im Sagtümpel (SGT) mit Schüttungsganglinie (blau; Q in L/s), Pfeil markiert den Zeitpunkt der Einspeisung in der Bullenhöhle, Zeitraum 27.06 – 11.07.2023.....	17
Abb. 7:	Uranin-Durchgang an der Messstelle Zauchen-Sammelgerinne (ZSG). Zeitraum 27.06. – 11.07.2023. Unten: Uranin-Konzentration (grüne Linie), rote Punkte kennzeichnen die Zeitpunkte von Wasserprobenentnahmen und ihre Position auf der Durchgangskurve, der vertikale Pfeil markiert den Zeitpunkt der Uranin-Einspeisung in der Bullenhöhle. Oben: Verlauf der Niederschläge (Stundenwerte) zwischen 27.06. und 11.07.2023 an der Station Bad Mitterndorf.....	18
Abb. 8:	Sulforhodamin G-Durchgang im Sagtümpel. SRG-Fluoreszenz (rot), Konzentration (mg/m ³), Q = Durchfluss (blau) an der Pegelstation in L/s.....	19
Abb. 9:	Wiederausbringungsraten (in % des jeweils eingesetzten Tracers) von Uranin und Sulforhodamin G im Sagtümpel. Uranin (grün), Sulforhodamin G (rot), Q = Durchfluss (blau) an der Pegelstation in L/s, grüner und roter Pfeil geben den Zeitpunkt der Einspeisung eines Tracers an, strichlierte Linie markiert 100 % Wiederausbringung (weitere Erklärung im Text).....	21
Abb. 10:	Übersicht zu tracerpositiven Nachweisen der Versuche 1957, 1961 und 1962. Für den aktuellen Versuch relevant sind nur die blauen Pfeile des Versuches 1957 mit blaugefärbten Bärlappsporen. Grün (für Uranin) und rot (für Sulforhodamin G) gezeichnete Pfeile betreffen die Ergebnisse des aktuellen Versuchs. Rot die Mess- bzw. Beobachtungsstellen beim aktuellen Versuch 2023, die sich zum Teil mit den Stellen der alten Versuche decken (Karte mod. aus Bauer & Zötl, 1964).....	22
Abb. 11:	Übersicht zu tracerpositiven Nachweisen der Versuche 1957, 1961 und 1962. Für den aktuellen Versuch relevant sind nur die blauen Pfeile des Versuches 1957 mit blaugefärbten Bärlappsporen. Grün (für Uranin) und rot (für Sulforhodamin G) gezeichnete Pfeile betreffen die Ergebnisse des aktuellen Versuchs. Rot die Mess- bzw. Beobachtungsstellen beim aktuellen Versuch 2023, die sich zum Teil mit den Stellen der alten Versuche decken (Karte mod. aus Bauer & Zötl, 1964).....	22
Abb. 12:	Übersicht über die Ergebnisse des Sporentriftversuches 1957. Die in Blau gehaltenen Verbindungspfeile geben die allgemeine Transportrichtung der eingesetzten blau gefärbten Sporen an (Maurin & Zötl, 1957: Skizze 1). Die übrigen eingezeichneten Transportrichtungen mit anderen Tracern sind für den vorliegenden aktuellen Versuch nicht relevant.....	23
Abb. 13:	Übersicht zu den beim Markierungsversuch 2023 festgestellten Karstwasserverbindungen und zu den untersuchten Mess- bzw. Beobachtungsstellen. Die eingezeichneten Transportrichtungen geben nur die allgemeinen Transportrichtungen der Tracer wieder.....	25
Abb. 14:	Vergrößerte Darstellung zu den beim Markierungsversuch 2023 festgestellten Karstwasserverbindungen und schematischer geologischer NW-SE-Schnitt (mod. nach R. Seebacher) durch das engere Versuchsgebiet.....	26
Tab. 1:	Übersicht über die verwendeten meteorologischen und hydrographischen Messstationen. Koordinaten im System UTM 33 N, N = Niederschlag (Ombrometer oder Ombrograph; in mm), LT = Lufttemperatur (°C), W = Pegel/Wasserstand (cm), LF = Elektrische Leitfähigkeit (µS/cm; 25 °C), WT = Wassertemperatur (°C).....	9
Tab. 2:	Übersicht zu den eingesetzten Markierungsstoffen. C.I. = Colour Index Nr. zur chemisch eindeutigen Tracer-Identifizierung.....	11
Tab. 3:	Übersicht über die Einspeisestellen. Zur besseren Orientierung ist auch die Lage des Einganges zur Bullenhöhle angeführt. Koordinaten nach System UTM 33 N.....	12

Tab. 4:	Einspeisedaten. SRG = Sulforhodamin G, UR = Uranin. Kopien der Einspeiseprotokolle sind dem Anhang beigefügt. Die Dauer der Einspeisung - ESP (ohne Nachspülvorgang) nahm nicht mehr als maximal 3 min in Anspruch. Vor- und Nachspülung erfolgten durch die aktiven Gerinne.	12
Tab. 5:	Übersicht zu den Beobachtungsstellen. Die Entnahmepunkte für ZK und ZS waren im Hochbehälter der Zauchen-WVA und nicht an den tatsächlichen Quelfassungen (ZK-F und ZS-F). Koordinaten im System UTM 33 N (entnommen aus GIS-Stmk) bzw. eigenen GPS-Messungen. In der Spalte MV 1957/61/62 wurden jene Stellen angekreuzt, die bei den Versuchen 1957, 1961 bzw. 1962 im Messprogramm waren.	14
Tab. 6:	Übersicht zum finalen Entnahmeprogramm. Die Teilsommen geben die Gesamtanzahlen der entnommenen Wasser-proben und Aktivkohlesäckchen wieder.	15
Tab. 7:	Übersicht zu den Basismessungen vom 26.06.2023. Uhrzeit (MEZ). Q = Abfluss/Schüttung, LF = elektrische Leitfähigkeit, bezogen auf 25 °C, WT = Wassertemperatur.	15
Tab. 8:	Übersicht zu den Transportdistanzen (errechnet aus den Koordinaten, $\pm 5-10$ m). SP: Schnittlamoos-Ponor, BS: Bullenhöhle-Siphon, HD: Seehöhendifferenz, 2D-D: lineare Horizontaldistanz, 3D-D: Schrägdistanz, DD: gedachtes vertikalgestelltes rechtwinkeliges Dreieck (Kathetensumme), alle Angaben in m.	19
Tab. 9:	Übersicht zu den Transportzeiten und mittlere Transportgeschwindigkeiten (Werte gerundet). Bei ZSG beziehen sich die Daten auf den ersten Peak der aufgezeichneten Durchbruchskurve.	20

Dr. Ralf Benischke
c/o Institut für Angewandte Geowissenschaften
Technische Universität Graz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz
ralf.benischke@tugraz.at

c/o Institut für Erdwissenschaften
Karl-Franzens-Universität Graz
Heinrichstraße 26, 8010 Graz
ralf.benischke@uni-graz.at