

**Schlüsselwörter**

Steiermark  
 Bachwasserversinkung  
 Markierungsversuch  
 Karstentwässerung

# Markierungsversuch am Unterlauf des Zwieselbaches im Bereich Rettenege in der nördlichen Oststeiermark

PETER REICHL\*)

5 Abbildungen

## Inhalt

Zusammenfassung .....	91
Abstract .....	91
1. Einleitung .....	92
2. Geologisch-hydrogeologische Übersicht des Untersuchungsgebietes .....	92
3. Markierungsversuch am Unterlauf des Zwieselbaches .....	94
3.1. Vorbereitende Untersuchungen .....	94
3.2. Versuchsdurchführung und Beschreibung der Ergebnisse .....	94
4. Schlußfolgerungen und Interpretation der Ergebnisse .....	96
Literatur .....	96

## Zusammenfassung

Am Unterlauf des Zwieselbaches im Ortsgebiet von Rettenege treten im Bereich von unterostalpinen permomesozoischen Karbonatgesteinen punktuelle Wasserverluste entlang von Klüften auf. Ziel eines Markierungsversuches war es, nachzuweisen, ob eine Verbindung zu vier ca. 800 m entfernt liegenden Quellen besteht. Durch die günstige Lage dieser untersuchten Quellen am Ortsrand von Rettenege wäre ihre Nutzung als Trinkwasser durchaus von Interesse.

Als Markierungsstoff wurde handelsübliches Kochsalz verwendet, welches punktuell an einer Kluft direkt in den Untergrund eingespeist wurde. Der Nachweis erfolgte elektrometrisch über die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers. Um auch geringe Anstiege der elektrischen Leitfähigkeiten interpretieren zu können, wurden zwei Tage vor der Einspeisung an einer Reihe von Meßpunkten (Quellaustritte und Oberflächengerinne) Tagesprofile der elektrischen Leitfähigkeiten erstellt. Ca. vier Stunden nach der Einspeisung von 30 kg Kochsalz in eine Rauhackenkluft wurde an drei Quellen (C 1, C 2 und C 3) eine z.T. deutliche Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit registriert, und somit der Nachweis einer Verbindung zum Zwieselbach erbracht. An der vierten beobachteten Quelle (C 4) konnte keine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit festgestellt werden. Trotz der Nähe dieser Quelle zu den beiden Quellen C 2 und C 3 liegt die Vermutung nahe, daß dieser Quellaustritt nicht vom Zwieselbach alimentiert wird. Die aus den Versuchsergebnissen ermittelten hohen Fließgeschwindigkeiten lassen ein Gerinne im Untergrund vermuten, daß mit einem Höhlengerinne vergleichbar wäre. Weiters zeigen die Ergebnisse, daß die Verkarstung der Karbonatgesteine tiefer als das heutige Erosionsniveau des Pfaffenbaches reicht.

Im Rahmen eines Forschungsschwerpunktes erfolgten vom Institut für Angewandte Geophysik der Joanneum Research eine Reihe von geophysikalischen Untersuchungen am Unterlauf des Zwieselbaches (geoelektrische, elektromagnetische, gravimetrische und geothermische Feldmessungen). Neben der Erfassung größerer unterirdischer Hohlräume bzw. deren räumlicher Ausdehnung sollte nach Möglichkeit auch die Frage der Hohlraumfüllung (Luft, wassergesättigt, Sediment) beantwortet werden. Diese Untersuchungen sind zur Zeit noch im Gange.

Wie die Ergebnisse des Markierungsversuches zeigen, ist es möglich, mit einfachen Mitteln und ohne großen Personal- und Geräteaufwand erste Hinweise über Entwässerungsmechanismen im Untergrund zu erhalten.

## Tracer Experiment at the Creek "Zwieselbach" (Area of Rettenege, Northeastern Styria)

### Abstract

A tracer experiment was carried out in the northeastern part of Styria near Rettenege. The aim of the experiment was to proof a possible connection between the small creek called "Zwieselbach" and four springs, which are situated about 800 m from the course of the creek. The creek "Zwieselbach" flows into the river "Pfaffenbach" just after the injection point. Loose sediments and carbonate rocks (rauhacken, metamorphic limestones and dolomites) are the dominant rocks in the investigation area.

30 kg of sodium chloride were injected into joints of "Rauhacken" where the creek loses water at his lower course. The measurements of electrical conductivity showed, that three of these springs are in connection with the creek. The first appearance of the tracer (increase of the electrical conductivity) was observed just about 4 hours later, which corresponds to a maximum velocity of about 190 m per hour. To

\*) Anschrift des Verfassers: Mag. PETER REICHL, Joanneum Research, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Elisabethstraße 16/II, A-8010 Graz.

get such high velocities, it is possible to suppose a sort of underground streamlet. It also means, that the karstification must be deeper nowadays than the erosion level of the river "Pffaffenbach". Furthermore the river "Pffaffenbach" cannot be the base level for these carbonate rocks; it is obvious that today the main stream "Feistritz" must be the base level for the drainage system of the carbonate rocks. The result of the tracer experiment suggests that beside the area around the springs the whole "Zwieselbach", which has a length of about 4 km must be protected in case of use for drinking water supply.

A number of geophysical field measurements were recently carried out in this area. The results of these investigations combined with the results of the tracer experiment could give answers to questions such as size, extent and also about the filling of these cavities in the underground of the karstified carbonate rocks. This tracer experiment also shows, that it is possible to get quickly good results even by using simple materials, equipment and analytic methods.

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Teil einer Diplomarbeit dar (REICHL, 1989), die am Institut für Geologie und Lagerstättenforschung an der Montanuniversität Leoben unter dem Titel „Zur Hydrogeologie des südwestlichen Wechselgebietes (Rettenegg – Pfaffensattel, Stmk.)“ ausgeführt wurde (Abb. 1).

Speziell in Karstbereichen stehen Gemeinden, Wassergenossenschaften aber auch Privatpersonen bei der Fassung von Quellen für Trinkwasserzwecke immer wieder vor der Frage nach dem Einzugsgebiet der zur Nutzung vorgesehenen Quellen. Dieses zu kennen, ist vor allem zur Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten für in Frage kommende Trinkwasserquellen von grundlegender Bedeutung, um ausreichend Schutz vor Verunreinigungen bieten zu können. Markierungs- bzw. Tracerversuche haben zur Beantwortung dieser Frage bereits in sehr vielen Fällen wertvolle Informationen geliefert.

An einer großen Anzahl von im österreichischen Karst durchgeführten Markierungsversuchen (HERLICKA & GRAF, 1992; HUBER et al., 1991) zur Feststellung unterirdischer Abflußrichtungen und Abgrenzung von Quelleinzugsgebieten zeigt sich, daß oft das orographische und hydrographische Einzugsgebiet nicht ident ist. Weiters wurde auch bemerkt, daß in manchen Bereichen die unterirdischen Abströmrichtungen ganz wesentlich von der hydrometeorologischen Situation abhängig sind und zu Zeiten von Hochwasserständen sich im untersuchten System teilweise andere Abströmrichtungen im Untergrund einstellen können, als in trockenen und abflußarmen Perioden (RAMSPACHER et al. 1986; BEHRENS et al. 1992).

Wenn Quellen aus Oberflächengewässern (wie im konkreten Fallbeispiel) alimentiert werden, muß dies hinsichtlich des Trinkwasserschutzes als problematisch angesehen werden. Treten diese Infiltrationen dazu noch in verkarsteten Festgesteinen auf, so ist einerseits die Verweildauer der Wasser im Untergrund meist eine sehr geringe und andererseits ist auch eine leichte Eindringmöglichkeit von Schad-

stoffen in den Untergrund gegeben. In der Regel liegen die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten von Karstwässern in der Größenordnung von einigen wenigen Metern bis einigen hundert Metern pro Stunde.

Im Zuge von Abflußmessungen und Geländebefunden, sowie durch Mitteilungen aus der Bevölkerung konnten am Unterlauf des Zwieselbaches (Abb. 2) an mehreren Stellen Versinkungen von Bachwasser in den Karbonatgesteinsuntergrund entlang von Klüften beobachtet werden. Ein möglicher Zusammenhang mit am Ortseingang von Rettenegg gelegenen Quellen mit der Bezeichnung C1 bis C4 (orographisch links und rechts des Pfaffenbaches; Abb. 2) sollte anhand eines Markierungsversuches abgeklärt werden.

Die Kluftöffnungsweiten innerhalb des in diesem Bereich anstehenden Rauhackenhorizontes reichen bis zu 25 cm. Eine dieser Klüfte in unmittelbarer Nähe eines Fischteiches wurde schließlich als Einspeisungsstelle für 30 kg handelsübliches Kochsalz verwendet. Anschließend wurden in regelmäßigen Abständen die elektrischen Leitfähigkeiten an ausgesuchten Quellen und Oberflächengerinnen gemessen.

Bereits zwei Tage vor der Einspeisung des Markierungsmittels wurden an 12 Meßpunkten (dies sind die Quellaustritte C1 bis C4 sowie auch 8 Stellen im Zwieselbach und Pfaffenbach mit den Numerierungen 1–8 in Abb. 2) kontinuierliche Messungen der elektrischen Leitfähigkeit durchgeführt, um so Hinweise über das natürliche Schwankungsverhalten der Wässer zu erhalten.

## 2. Geologisch-hydrogeologische Übersicht des Untersuchungsgebietes

Die am Unterlauf des Zwieselbaches und Pfaffenbaches nördlich und nordöstlich von Rettenegg anstehenden Festgesteine stellen die hangendsten Anteile der unterostalpinen Wechseleinheit dar, die im wesentlichen aus permomesozoischen Gesteinen aufgebaut werden. Es treten hier über Semmeringquarzit Rauhacken und metamorphe Kalk sowie untergeordnet auch dolomitische Gesteine auf. Im unmittelbaren Untersuchungsgebiet sind triadische Rauhacken und Talalluvionen vorherrschend.

VETTERS (1970) läßt für die Rauhacken in diesem Abschnitt die Möglichkeit einer tektonischen Entstehung offen. Als Grund hierfür dienen Beobachtungen an Rauhackenhorizonten in unmittelbarer Nachbarschaft, an denen ein Sandhorizont sowie einige mm breite Sandbänder zu beobachten sind, weshalb für diese Rauhacken ein sedimentärer Ursprung angenommen wird. Die Rauhacken im Pfaffengraben zeigen diese Erscheinungen einer sedimentären Genese nicht. REICHL, (1989) unterscheidet hinsichtlich des makroskopischen Erscheinungsbildes generell drei unterschiedliche Rauhackentypen.

Im Hangenden der Rauhacken treten hauptsächlich hellbraune bis hellgraue Kalkmarmore auf, in denen Calcitadern ein deutliches Netzwerk bilden. Im Kontaktbereich können häufig Wechsellagerungen zwischen gebankten

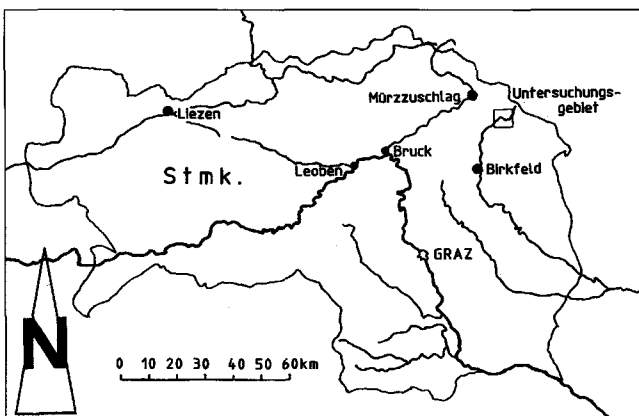


Abb. 1. Geographische Lage des Untersuchungsgebietes im Bundesland Steiermark (Österreich).

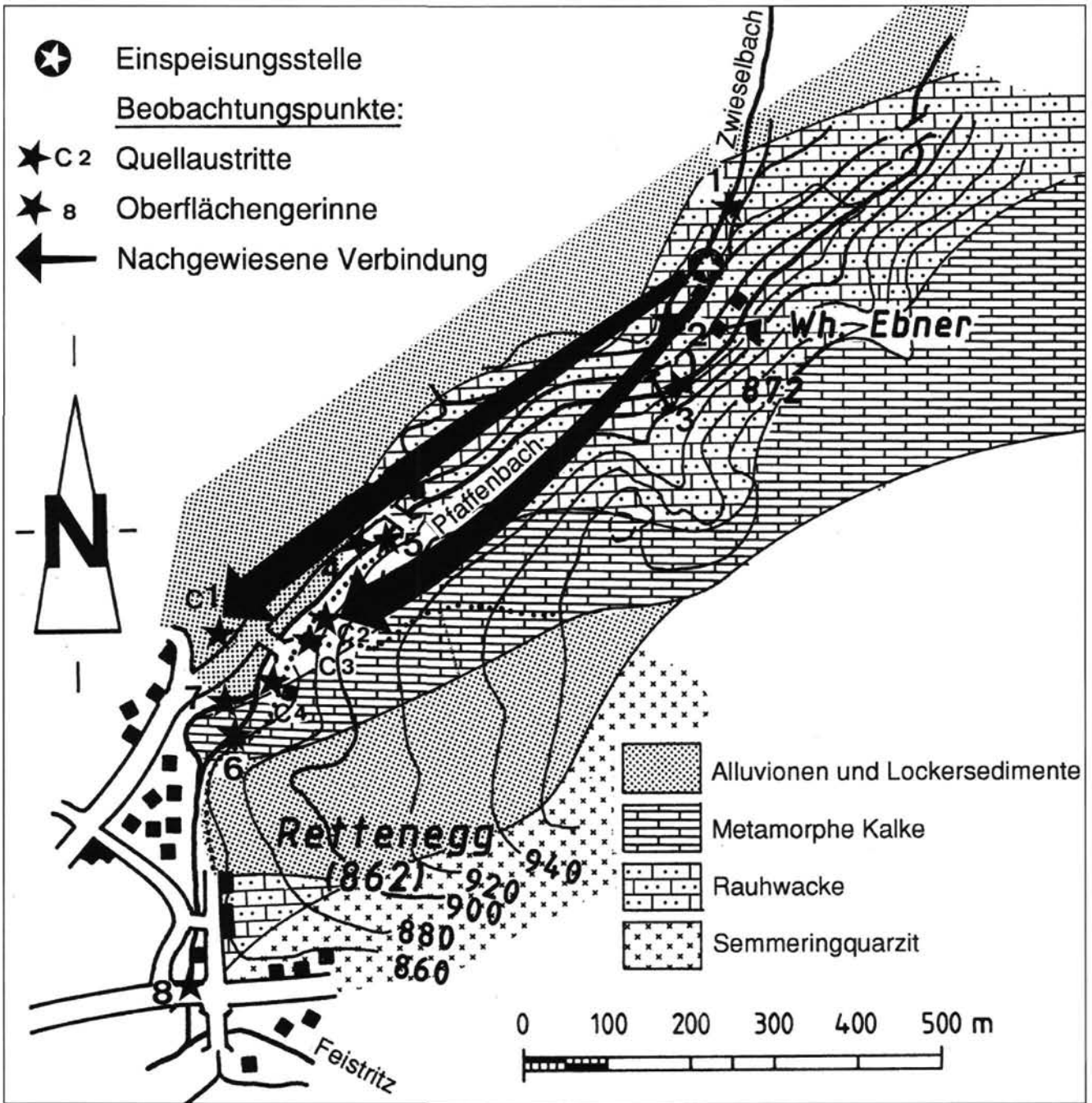


Abb. 2. Topographische Lageskizze des Bereiches „Unterer Zwieselbach – Pfaffenbach“ im Abschnitt Rettenegg mit den im Zuge des Markierungsversuches beobachteten Quellen und Meßpunkten an den Oberflächengerinnen sowie eine grobe Darstellung der geologischen Situation im unmittelbaren Untersuchungsgebiet. Vereinfacht nach VETTERS (1970) und REICHL (1989).

Kalkmarmoren und Rauhwancken beobachtet werden. Die handendsten Anteile der Karbonatgesteinsentwicklung stellen dolomitische Kalkmarmore dar. VETTERS (1970) beschreibt diese als hellbraungraue bis manchmal auch als dunkelgrau gefleckte Gesteine.

Sowohl am Unterlauf des Zwieselbaches wie auch des Pfaffenbaches sind durch periodische Anlieferungen von Bachschutt deutliche Schuttfächer zu beobachten. Entlang des Pfaffenbaches können kleinräumige Schotterterrassen beobachtet werden, die etwa 1 bis 2 m über dem heutigen Niveau des Pfaffenbaches liegen.

Wie aus Geländebefunden abgeleitet werden kann, sind die im Bereich Rettenegg anstehenden Karbonatgesteine der Wechseleinheit tiefreichend verkarstet. Dieser Umstand

läßt sich bereits davon ableiten, daß mit Ausnahme der Quellen C2, C3 und C4 auf der orographisch linken Talseite keine größeren Quellaustritte vorhanden sind, die an diese Karbonatgesteine gebunden sind. Auch gibt es keinen Oberflächenabfluß aus diesen Karbonatgesteinen. Lediglich nach sommerlichen Starkniederschlägen und zur Zeit der Schneeschmelze konnten sehr kurzfristige Oberflächenabflüsse in einigen Gräben beobachtet werden.

Somit kann gefolgert werden, daß dieser Karbonatgesteinskomplex über große Strecken unterirdisch entwässert wird. Einerseits wäre es vorstellbar, daß diffus Wasser aus dem Karbonatgesteinskomplex in den Pfaffenbach auf bzw. knapp unterhalb des Bachniveaus übertritt. Andererseits besteht jedoch auch die Möglichkeit (die Ergebnisse des

Markierungsversuches deuten in diese Richtung), daß unter der heutigen Bachsohle die quartären Lockersedimente am Unterlauf des Pfaffenbaches auf direktem Weg alimentiert werden, und dieses Wasser dann in Form von begleitendem Grundwasser abströmt. Dies würde bedeuten, daß der Pfaffenbach für die in den verkarsteten Karbonatgesteinen abströmenden Wässer nicht die Vorflut bildet. Dies Rolle käme dann erst der Feistritz zu.

### 3. Markierungsversuch am Unterlauf des Zwieselbaches

#### 3.1. Vorbereitende Untersuchungen

Wie bereits erwähnt, wurde als Tracer handelsübliches Kochsalz (NaCl) verwendet. Der Nachweis wurde durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit an ausgewählten Meßpunkten geführt.

Es war von vornherein zu bedenken, daß bei starker Verdünnung des Markierungsmittels im Karstwasserkörper es nur zu einem geringen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit kommen könnte. Um auch geringe Anstiege interpretieren zu können, war es notwendig, das natürliche Schwankungsverhalten der elektrischen Leitfähigkeit der Wässer an den einzelnen Meßpunkte zu kennen. Deshalb wurde an 12 Punkten (Verteilung der Meßpunkte: Abb. 2) zwei Tage vor der Einspeisung ein Tagesprofil der elektrischen Leitfähigkeit erstellt.

Dabei war festzustellen, daß die Leitfähigkeiten der beobachteten Quell- und Oberflächenwässer nur um wenige  $\mu\text{S}/\text{cm}$  schwankten. Die maximale Schwankungsbreite betrug an einem Oberflächengewässermeßpunkt (Nr. 6)  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ . In Abb. 3 ist das Schwankungsverhalten der elektrischen Leitfähigkeit der Quellwässer C1, C2, C3 und C4 graphisch dargestellt.

Neben der Erstellung von Tagesprofilen der elektrischen Leitfähigkeiten erfolgte am Unterlauf des Zwieselbaches eine Detailkartierung. Dabei konnten mehrere Klüfte bzw. Klüftzonen ausgemacht werden, an denen Wasser im Un-

tergrund versinkt. Eine dieser Klüfte wurde als geeigneter Eingabepunkt ausgewählt, an dem eine punktuelle momentane Eingabe des Tracers direkt in den Untergrund erfolgen konnte.

Bei Durchführung größer angelegter Markierungsversuche bedarf es eines, im Detail ausgearbeiteten Durchführungsplanes, der sich mit den Fragen

○ Art und Anzahl technischer Geräte

○ Personalaufwand

○ Transport

○ Bereitstellung sämtlicher notwendiger Materialien

usw. befaßt. Dabei sei auf MAURIN (1967) verwiesen, der über die Vorbereitung und Organisation größerer Markierungsversuche zur Verfolgung unterirdischer Wässer diesbezüglich detailliert berichtet.

#### 3.2. Versuchsdurchführung und Beschreibung der Ergebnisse

Am 29. Oktober 1987 wurde um 9:45 eine Kluft innerhalb des Rauhwackenhorizontes am Unterlauf des Zwieselbaches mit 30 kg Kochsalz beschickt. Ungefähr eine Stunde vor der Einspeisung erfolgte an einer Reihe von Meßpunkten eine neuerliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit, die innerhalb des bereits bekannten Spektrums lagen. Als Meßrhythmus an den einzelnen Beobachtungspunkten wurde ein Zeitintervall von ca. 90 min gewählt.

Um 14:00 konnte an der Quelle C2 und um 14:03 an der Quelle C3 bereits eine deutlich erhöhte elektrische Leitfähigkeit gemessen werden. Wie in Abb. 4 an der Durchgangskurve der Quelle C2 zum Ausdruck kommt, dürfte das Maximum kurz vor 14:00 erreicht worden sein. Ab ca. 17:00 wurde die Ausgangsleitfähigkeit wieder erreicht.

Bezugnehmend auf die Entfernung zwischen den Quellen und der Einspeisungsstelle von ca. 800 m kann eine maximale Abstandsgeschwindigkeit von ca. 190 m/h angegeben werden.

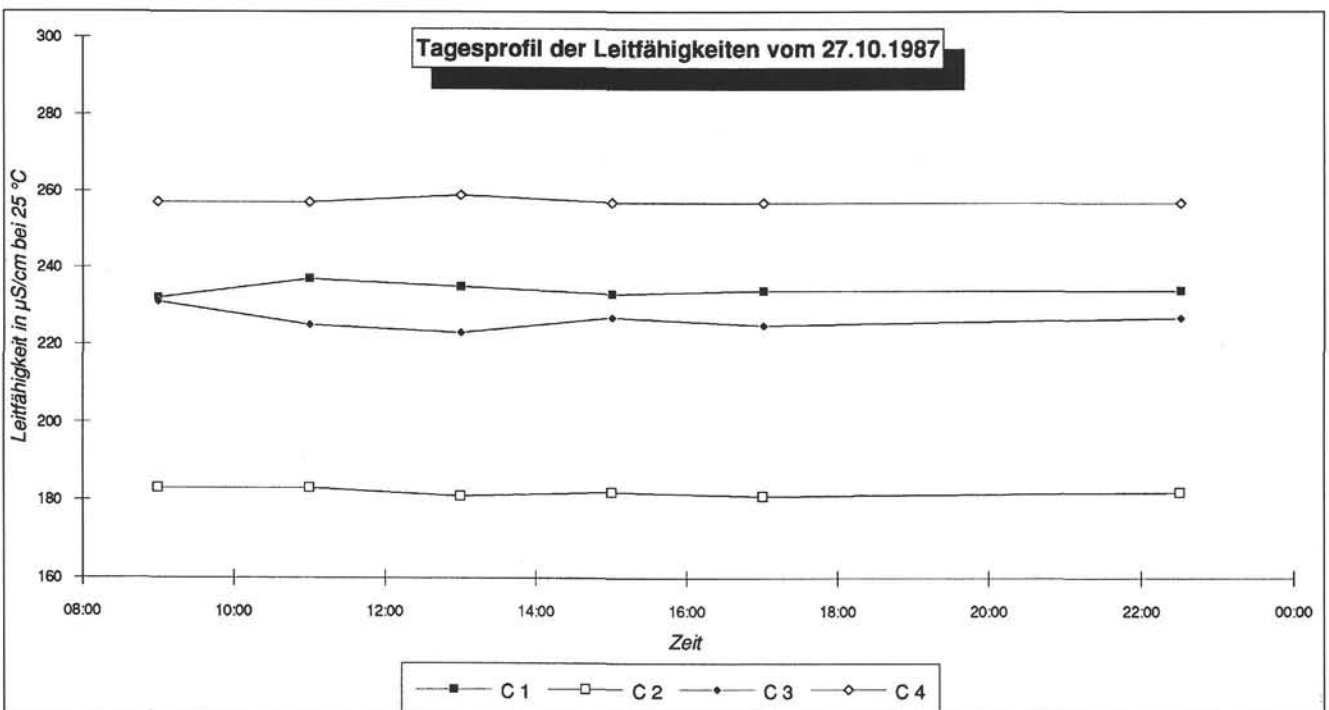


Abb. 3. Tagesprofil der elektrischen Leitfähigkeiten der Quellwässer C1, C2, C3 und C4 vom 27. Oktober 1987.

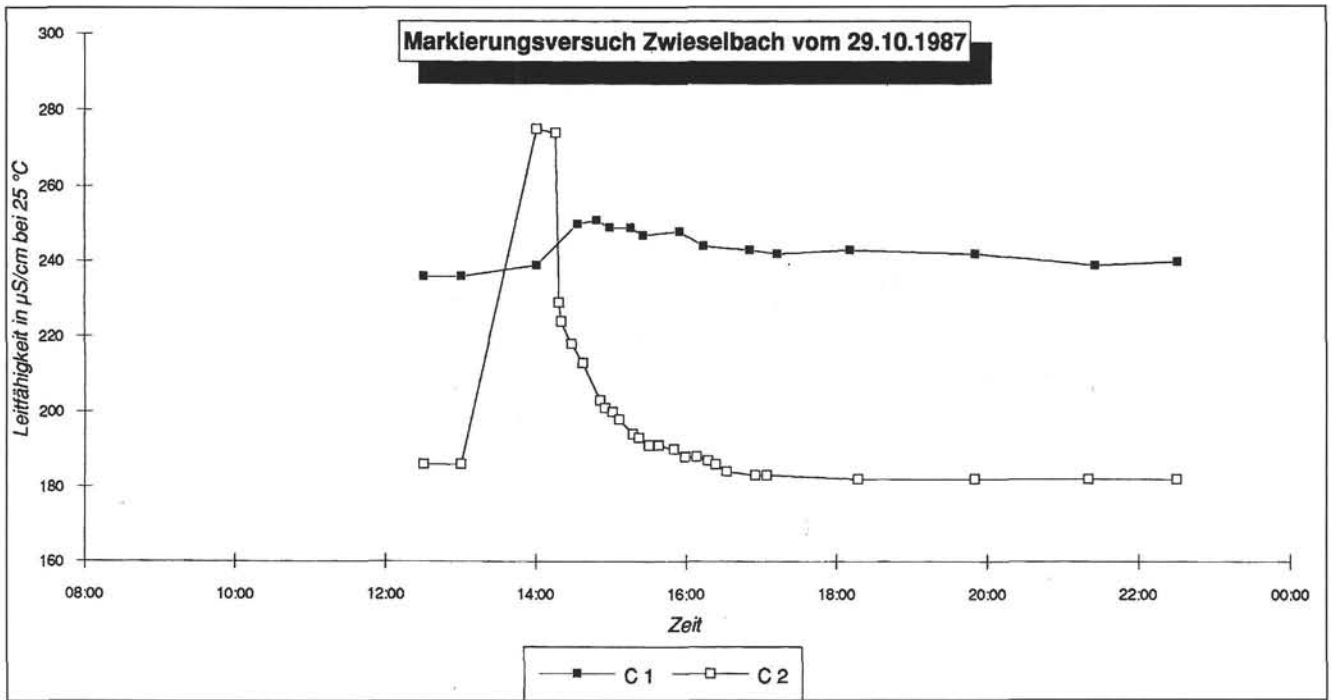


Abb. 4. Tracerdurchgang an den Quellen C1 und C2 vom 29. Oktober 1987.

Der Anstieg der Tracerdurchgangskurve an der Quelle C3 erfolgte etwa zeitgleich zur Quelle C2. Auch erfolgte nach Erreichen des Maximums, das auch hier offensichtlich kurz vor 14:00 auftrat, ein rascher Rückgang der Leitfähigkeit. Gegen ca. 16:00 ist ein neuerliches Ansteigen der elektrischen Leitfähigkeit zu beobachten, wie in Abb. 5 deutlich zum Ausdruck kommt. Unterschiedliche Gründe könnten für das erneute Ansteigen der elektrischen Leitfähigkeit verantwortlich sein. Einerseits wäre es denkbar, daß Teile des Tracers im Untergrund zurückgehalten wurden und verspätet den Quellaustritt erreichten. Ein kurzzeitiger Anstieg in-

folge lokaler Umläufigkeiten innerhalb einiger Meter im unmittelbaren Austrittsbereich der beiden Quellen C2 und C3 ist nicht vorstellbar. Andererseits wäre es aber auch denkbar, daß der Zusammenhang zwischen Zwieselbach und der Quelle C3 nicht nur entlang einer bevorzugten Wasserbahn erfolgt, wie dies offenbar an der Quelle C2 der Fall zu sein scheint.

Vergleicht man nun die Intensität der Anstiege bezogen auf die Quellschüttungen der beiden Quellen C2 und C3, so sieht man, daß die Quelle C2 den Hauptaustritt des im Unterlauf des Zwieselbaches versinkenden Wassers darstellt.

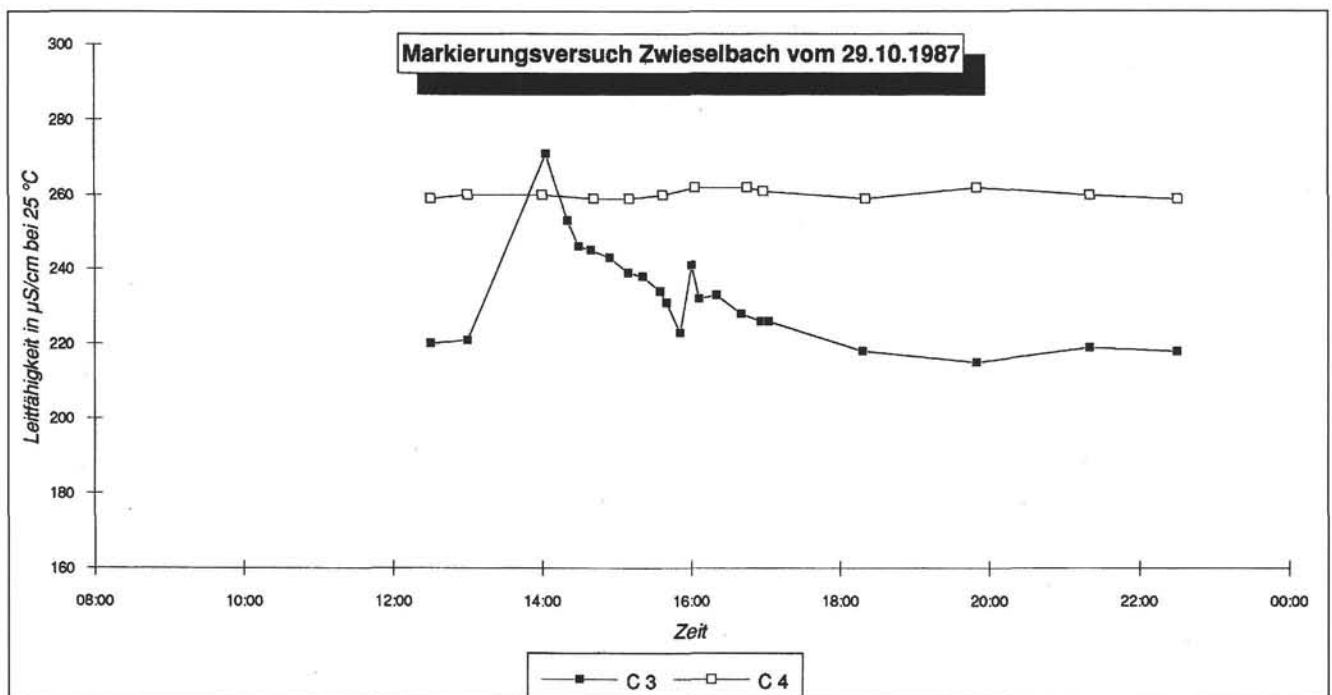


Abb. 5. Tracerdurchgang an der Quelle C3 vom 29. Oktober 1987 im Vergleich zur Ganglinie der gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten an der Quelle C4.

Steigt bei einer Schüttung von rd. 11 l/s an der Quelle C2 die Leitfähigkeit um über 90  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bei 25°C an, so ist an der Quelle C3 bei einer Schüttung von ca. 3 l/s nur ein Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit des Quellwassers um rd. 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zu beobachten. Die Quelle C2 liegt ebenso wie die Quelle C3 auf der orographisch linken Bachseite des Pfaffenbaches ca. 2 m über der heutigen mittleren Wasseroberfläche. Die Quelle C3 entspringt ca. 20 m entfernt auf dem selben Höhenniveau. Der Austritt dieser Quelle ist jedoch direkt an Karbonatgesteine gebunden, der Austritt der Quelle C2 ist hingegen in fluviatilen Lockersedimenten situiert, die den Pfaffenbach begleiten. Die Entfernung Pfaffenbach zur Quelle C2 beträgt nur einige Meter.

Etwas zeitversetzt konnte an der Quelle C1 ebenfalls ein Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit beobachtet werden (Abb. 4), der sich in seiner Gesamtintensität bedeutend schwächer ausdrückte, als an den Quellen C2 und C3. Wie in Abb. 4 zu sehen ist, steigt die elektrische Leitfähigkeit nur um maximal 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  an. Die im Zuge der Messung des Tagesprofils vom 27. Oktober 1987 gemessenen Leitfähigkeiten zeigen einen Schwankungsbereich an dieser Quelle von rd. 4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dieser geringe Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit von nur 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kann daher nur in Zusammenschau mit den Ergebnissen an den Quellen C2 und C3 als Nachweis des Tracers an dieser Quelle gewertet werden. Auch die über dem Festgesteinsuntergrund vorhandenen Lockersedimente scheinen als Einzugsgebiet für die Quelle C1 neben der Anreicherung aus den Karbonatgesteinen in Frage zu kommen.

Wie die Graphik in Abb. 5 für die Quelle C4 zeigt, konnte der eingebrachte Tracer hier nicht nachgewiesen werden. In sehr vielen Fällen ist bei derartigen Versuchen ein negatives Ergebnis nicht damit gleichzusetzen, daß zwischen der Eingabestelle und dem Beobachtungspunkt kein Zusammenhang besteht. Eine Reihe von Faktoren können für ein negatives Ergebnis ausschlaggebend sein, obwohl möglicherweise eine Verbindung besteht. So ist z.B. bei einer zu großen Verdünnung ein Zusammenhang allein mit Hilfe von Leitfähigkeitsmessungen nicht mehr zu erkennen. Im konkreten Fall war an der Quelle C4 keine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit zu erkennen. Da jedoch an den in unmittelbarer Nähe liegenden Quellen C2 und C3 der eingegebene Markierungsstoff eindeutig nachgewiesen werden konnte und die geologische Situation im Quellbereich vergleichbar ist, liegt der Schluß nahe, daß zwischen der Eingabestelle am Zwieselbach und der Quelle C4 kein Zusammenhang besteht.

#### 4. Schlußfolgerungen und Interpretation der Ergebnisse

Zusammenfassend kann aufgrund der Ergebnisse des Markierungsversuches am Unterlauf des Zwieselbaches festgestellt werden, daß zwischen der Einspeisungsstelle (Rauhackenkluff) und drei im Ortsgebiet von Retteneßg liegenden Quellen eine nachgewiesene Verbindung besteht. Eine weitere Quelle, die in unmittelbarer Nähe zu den genannten Quellen liegt, zeigt keine Hinweise einer Verbindung zum Zwieselbach.

Aus dem rein qualitativ ausgewerteten Markierungsversuch kann vorweg bereits ausgesagt werden, daß eine mögliche Nutzung der Quellen C1, C2 und C3 für Trinkwasserzwecke als bedenklich angesehen werden muß. Die mittlere Verweildauer eines Teiles des Quellwassers, welches am Unterlauf des Zwieselbaches in den Untergrund versinkt, beträgt nur einige wenige Stunden bis zum Wieder-

austritt. Verunreinigungen, die am Zwieselbach auftreten, wären somit in kürzester Zeit bei den einzelnen Quellaustritten bemerkbar. Eine wirksame Ausweisung eines Schutzgebietes für diese Quellen muß somit unter anderem den Zwieselbach mit seiner Gesamtlänge von ca. 4 km miteinbeziehen. Darüberhinaus wäre unbedingt eine Sicherheitsentkeimung vorzusehen.

Auf die Frage nach der Art der unterirdischen Hohlräume, ihre Ausdehnung und Füllung kann gefolgert werden, daß bei einer max. Abstandsgeschwindigkeit von ca. 190 m/h eine sehr gute Wasserwegigkeit im Untergrund vorhanden sein muß, mit Mindestquerschnitten der Hohlräume im Dezimeterbereich. Über die Art der Hohlraumfüllung kann für den Abschnitt des Unterlaufes des Pfaffenbaches im Bereich der Quellen gesagt werden, daß diese aufgrund der Höhenlage des Quellaustrittes und des tieferliegenden Bachbettes des Pfaffenbaches wassergesättigt sein müssen. Am Unterlauf des Zwieselbaches im Bereich der Wasserverluste ist es jedoch äußerst schwierig darüber Auskunft zu geben. Die vor kurzem durchgeführten geophysikalischen Feldmessungen dürften darüber nähere Aussagen erlauben.

Die hohen Fließgeschwindigkeiten, die sich aus den Ergebnissen des Markierungsversuches ergeben, lassen ein Gerinne im Untergrund vermuten, daß mit einem Höhlengerinne vergleichbar wäre. Auf jeden Fall zeigen derartige Hohlräume im Untergrund an, daß die Verkarstung tiefer reicht, als das heutige Erosionsniveau des Pfaffenbaches. Weiters bedeutet dies, daß der Pfaffenbach auf seinem heutigen Niveau keine Vorflutbeziehung für den Karbonatgesteinskomplex ausübt. Die Funktion der Vorflut würde demnach der Feistritz zukommen. Auch kann geschlossen werden, daß das Erosionsniveau des Pfaffenbaches früher tiefer gelegen sein muß.

Die Austritte der Quellen C2, C3 und C4 zeigen daher nicht die Lage der Karstbasis an. Die heutige Austrittsursache kann z.B. durch Verfüllung von Hohlräumen mit wasserstauenden Sedimenten erklärt werden. Die Tatsache, daß die Quelle C2 unmittelbar neben dem Pfaffenbach liegt, jedoch ca. 2 m über Bachniveau austritt, läßt einen Siphon im Untergrund vermuten, der nicht mit dem Pfaffenbach in Verbindung stehen kann, da sich ansonsten der Austritt der Quelle C2 auf das Bachniveau einstellen müßte.

Abschließend kann, wie auch die Ausführungen des Markierungsversuches deutlich zeigen, gesagt werden, daß mit einfachen Mitteln und ohne großen Geräte- und Personalaufwand bei ähnlichen bzw. derartigen Fragestellungen (Bachversickerungen, Bachumläufigkeiten udgl.) erste zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden können. Des weiteren stellen die dabei erhaltenen Ergebnisse die Basis für weitere Untersuchungen und Versuche (Wahl der richtigen Tracermenge, zeitlicher Beobachtungsintervall usw.) dar.

#### Literatur

BEHRENS, H., BENISCHKE, R., BRICELJ, M., HARUM, T., KÄSS, W., KOSI, G., LEDITZKY, H.P., LEIBUNDGUT, Ch., MALOSZEWSKI, P., MAURIN, V., RAJNER, V., RANK, D., REICHERT, B., STADLER, H., STICHLER, W., TRIMBORN, P., ZOJER, H. & ZUPAN, M. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau – Tanneben – Semriach, Austria). – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 43, 9–158, Graz.

HERLICSKA, H. & K. GRAF (1992): Dokumentation karsthydrologischer Untersuchungen in Österreich. – Reports UBA-92-057, Wien (Umweltbundesamt).

- HUBER, A., PÖSCHL, M. & ZETINIGG, H. (1991): Markierungsversuche in Karstgebieten der Steiermark. – Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, 72, – 104 S., Amt der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilungsgruppe Landesbaudirektion Fachabteilung III a – Wasserwirtschaft, 104 p, Graz.
- MAURIN, V. (1967): Vorbereitung und Organisation größerer Markierungsversuche zur Verfolgung unterirdischer Wässer. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 18/19, 311–320, Graz.
- RAMSPACHER, P., ZOJER, H., HERZOG, U, GOSPODARIC, R., STRUCL, I. & STICHLER, W. (1986): Karsthydrogeologische Untersuchungen des Petzenmassivs unter Verwendung natürlicher und künstlicher Tracer. – Proc. of the 5<sup>th</sup> Internat. Symp. on Underground Water Tracing, Athens 1986, 377–388, Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
- REICHL, P. (1989): Zur Hydrogeologie des südwestlichen Wechselgebietes (Rettenegg – Pfaffensattel, STMK.). – Unveröff. Diplomarbeit, Montanuniv. Leoben, – 107 S., Leoben.
- VETTERS, W. (1970): Zur Geologie des SW-Abschnittes des Wechselgebietes zwischen Rettenegg und Feistritzsattel (Steiermark, Österreich). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 71–105, Wien.

Manuskript eingegangen am: 22. 7. 1993 ●  
Revidierte Version eingegangen am: 9. 3. 1995 ●  
Manuskript akzeptiert am: 19. 5. 1995 ●