

Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung

Band 80

**Karsthydrogeologische Untersuchungen
im Tannebenmassiv
(mittelsteirischer Karst)**

von

R. Benischke, V. Maurin, H. Ehrenreich, T. Harum, H. Stadler

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Landesbaudirektion
Fachabteilung III a – Wasserwirtschaft – Referat II – Wasserversorgung
Graz, 1997**

Vorwort

Zu den Aufgaben der wasserwirtschaftlichen Planung gehört u. a. nach § 55 lit. c WRG die „Sammlung der für die wasserwirtschaftliche Planung bedeutsamen Daten“, wozu wohl auch die Erfassung nutzbarer Grundwasservorkommen zählt. Die Erkundung von Grundwasservorkommen wird nun nicht nur von der wasserwirtschaftlichen Planung, sondern auch von Gemeinden, Wasserverbänden und anderen, die sie für die Wasserversorgung verwenden wollen, betrieben. Weiters werden auch von wissenschaftlichen Institutionen solche Untersuchungen, vor allem mit dem Ziel die Methodik weiter zu entwickeln, durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in diversen wissenschaftlichen Zeitschriften, manchmal auch in Diplomarbeiten und Dissertationen.

Für die praktische Verwertung der Ergebnisse, also für die Wasserversorgung und ihren besonderen Schutz durch Schutz- und Schongebiete nach §§ 34 und 35 WRG, ist es aber notwendig, diese möglichst leicht zugänglich zu machen. So verfolgt die wasserwirtschaftliche Planung mit den „Berichten der wasserwirtschaftlichen Planung“, die in Auflagen von 300-500 Exemplaren hergestellt werden, das Ziel, die Ergebnisse regionaler hydrogeologischer Untersuchungen denen, die sie benötigen, in zusammenfassender und übersichtlicher Form zur Verfügung zu stellen. Auf diese Art und Weise übernimmt diese Publikation die Rolle einer fortlaufenden Dokumentation der hydrogeologischen Verhältnisse und damit der Grund- und Quellwasservorkommen des Landes.

Die Vorstellung der Ergebnisse der langjährigen vergleichenden Karstuntersuchungen des Lurbachsystems erfolgte im Rahmen des „6th International Symposium on Water Tracing, Karlsruhe 1992“ in englischer Sprache. Die Publikation als Tagungsband der „Steirischen Beiträge zur Hydrogeologie“ Bd 43/1992 liegt ebenfalls nur in englischer Sprache vor. In dieser Publikation liegt der Schwerpunkt aber vor allem in der Arbeitsmethodik und weniger in der regionalen Hydrogeologie. Darüber hinaus wurde eine kürzere Fassung der Ergebnisse in der Festschrift „Lurgrotte 1894-1994“, herausgegeben vom Landesverein für Höhlenkunde in der Steiermark, publiziert. Im Hinblick auf diese eher schwer zugänglichen Publikationen scheint es angebracht, die Ergebnisse dieser Untersuchungen mit dem Schwerpunkt in der Darstellung der regionalen hydrogeologischen Verhältnisse auch in den „Berichten der wasserwirtschaftlichen Planung“ als Dokumentation der hydrogeologischen Verhältnisse Steiermarks vorzunehmen. Dies umso mehr als der Hammerbach bereits für die Grundwasseranreicherung im Wasserwerk Friesach der Grazer Stadtwerke AG - also für die Trinkwasserversorgung - Verwendung findet. Daraus folgt aber, daß die Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse des Lurbachsystems und damit der Tanneben Grundlage für den Karstwasserschutz dieses Gebietes sein soll!

Graz, im April 1997

Dr. Hilmar Zetinigg

INHALTSVERZEICHNIS

R. BENISCHKE: Zur Topographie des Raumes Peggau - Tanneben - Semriach.....	1
V. MAURIN: Geologie und Karstentwicklung des Raumes Deutschfeistritz - Peggau - Semriach.....	7
H. EHRENREICH: Die Oberflächenkarsterscheinungen des Eichberg bei Semriach.....	43
R. BENISCHKE, T. HARUM & H. STADLER: Zur Hydrologie und Hydrogeologie des Gebietes Peggau - Tanneben - Semriach	47

ZUR TOPOGRAPHIE DES RAUMES PEGGAU - TANNEBEN - SEMRIACH

R. BENISCHKE ¹⁾
(mit 4 Fig.)

Das im vorliegenden Band behandelte Gebiet des Grazer Berglandes - ungefähr 15 km N von Graz - gehört zum sog. "Mittelsteirischen Karst". Das Gebiet umfaßt eine Gesamtfläche von ungefähr 25 km² einschließlich des orographischen Einzugsgebietes des Lurbaches, des Karstmassivs der Tanneben zwischen Badlgraben im Norden, dem Murtal im Westen und der Linie Mitterbach-Taschen im Süden und Südosten (Fig. 1).

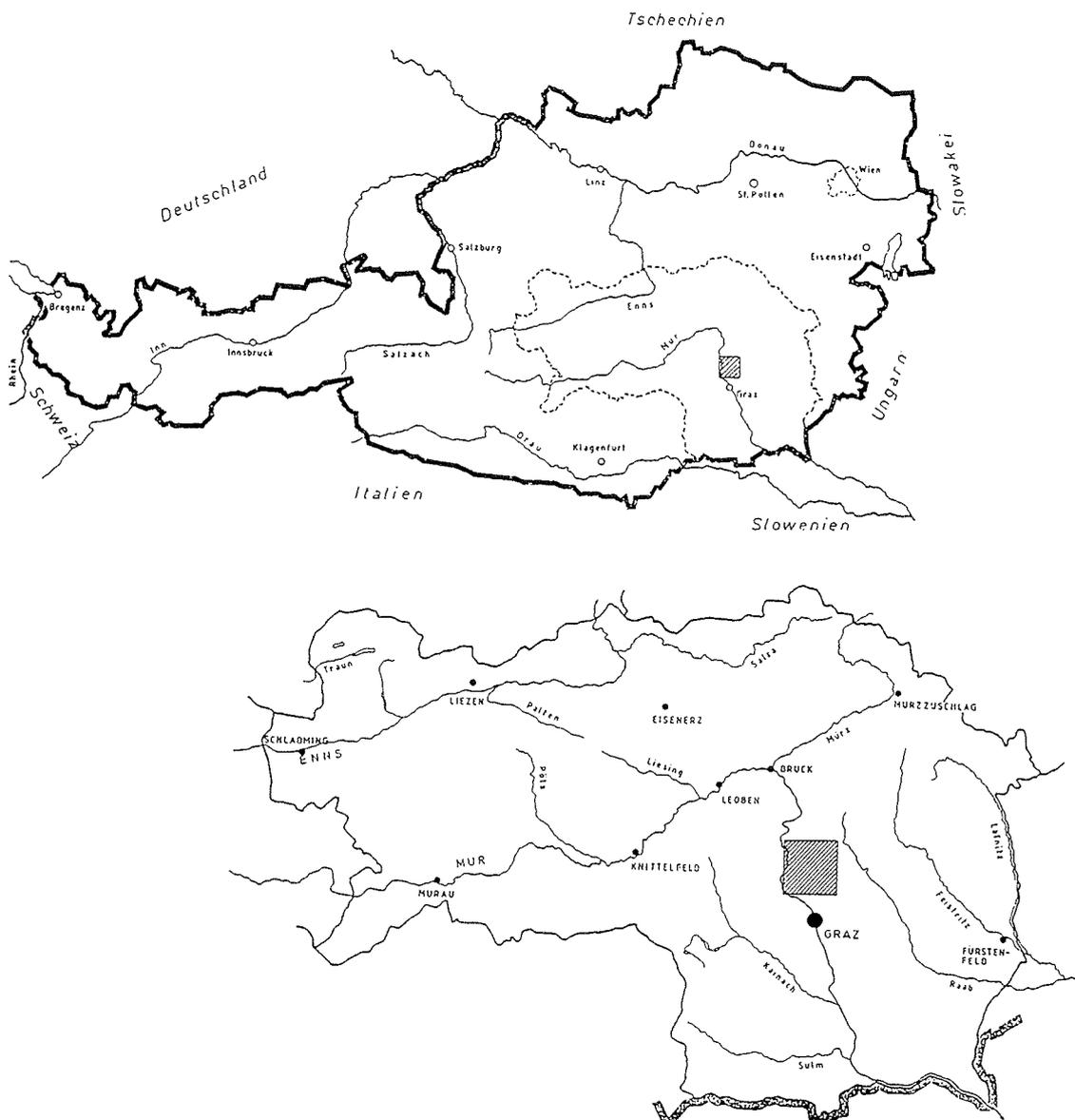


Fig. 1: Lage des Untersuchungsgebietes im Grazer Bergland (schraffierter Bereich).

¹⁾ Ralf Benischke, Katzianergasse 3, A-8010 Graz, Austria.

Während die Nordbegrenzung, der schluchtartige Badlgraben, die Südbegrenzung mit dem Mitterbach bis zur Taschen (814 m SH) und die Westbegrenzung gegen das Murtal (die Felsabstürze der Tanneben mit der Peggauer Wand im Südabschnitt und der Badlwand im Nordabschnitt) relativ eindeutig gezogen werden kann, besteht zwischen dem Karstmassiv der Tanneben und dem Semriacher Becken eine Übergangszone. Die Westseite des Murtales bei Peggau wird durch eine Felswand, die Feistritzer Felsenwand, zwischen Kugelstein (536 m SH) im Norden und dem Kirchberg (473 m SH) von Deutschfeistritz im Süden gebildet.

Haupterhebungen des Tannebenmassivs sind der Angerleitenkogel (714 m SH), der Hochbrand (813 m SH) im nördlichen Teil, der Bloderkogel (816 m SH), der Schneiderkogel (824 m SH) und der Möstlkogel (901 m SH) im mittleren Abschnitt und der Hochglaserer (910 m SH) und der Krienzerkogel (906 m SH) im südlichen und östlichen Teil. Das zentrale Plateau ist durch dicht bewaldete Hügel, flache Senken (z.B. die Ertlhuber auf 745 m SH) und durch Dolinen oft beachtlichen Durchmessers und Trockentälchen (z.B. der Brunngraben im Süden zum Mitterbach) charakterisiert.

Im Osten schließt das Becken von Semriach an (mit Semriach in 709 m SH) und das Einzugsgebiet des oberen Lurbaches (genannt "Boden"). Der Lurbach²⁾ entwässert diesen östlichen Teil des Untersuchungsgebietes zuerst von Westen nach Osten und dann in der Nähe des Ortes Semriach von Norden nach Süden. Einige 100 m W von Semriach schwenkt der Lauf des Lurbaches plötzlich von der Nord-Süd-Richtung in die Ost-West-Richtung, tritt in das verkarstete Gebiet unterhalb Semriach etwa bei Höhe 666 m (bei der Gehöftgruppe "Bach") ein und verschwindet schließlich in der Lurgrotte (Kat.-Nr. 2836/1a)³⁾. Die letzten 100-200 m, bevor der Bach in die Semriacher Lurgrotte eintritt, fließt er durch eine Waldschlucht und schließlich durch eine große Einsturzdoline, genannt "Lurkessel".

²⁾ Die Schreibweise des Namens ist auf den diversen Karten unterschiedlich. So scheint der Lurbach auf der alten Karte 1:25.000, Section 5155/1, des früheren k.k. Militärgeographischen Instituts noch als "Luehbach" und die Lurgrotte als "Luehloch" auf, der W des Eichberges Richtung Pöllau ziehende Graben wird in derselben Karte noch als "Katzengraben" bezeichnet (die dort an der Straße befindliche Schwinde heißt auch heute noch bei den Einheimischen "Katzenloch" und ist im Österr. Höhlenverzeichnis als Katzenbachschwinde (Kat.-Nr. 2836/65) eingetragen. Auf den Nachfolgekarten (Aufnahme 1926-1929, einzelne Nachträge 1955 bzw. 1974) scheint der Name "Reizengraben" auf und in der neuesten Version (Aufnahme 1979; Ausgabe V/87) ist die Grabenbezeichnung überhaupt weggelassen worden. Generell kam es im Laufe der zahlreichen Neuauflagen der Österreichischen Karte zu einer Reduktion der Geländebezeichnungen, sodaß in heutigen Karten viele früher geläufige Namen nicht mehr aufscheinen.

In den in diesem Band veröffentlichten Beiträgen wird im allgemeinen die Schreibweise der heute gültigen Österreichischen Karte 1:50.000, Blatt 164, Graz, verwendet. Insofern Bezeichnungen oder Höhenkoten verwendet werden, die in der neuen Ausgabe der Österr. Karte nicht aufscheinen, beziehen sich diese Angaben auf die Aufnahme von 1926-1929. Um den Zugang zu diesen unterschiedlichen Darstellungen zu erleichtern, sind am Ende dieses Artikels beide Kartenausschnitte abgedruckt (Fig. 3 und 4). Darüber hinaus war es in manchen Fällen auch notwendig, auf bekanntere Lokalbezeichnungen (z.B. "Lurkessel" für die Dolinenform vor der Semriacher Lurgrotte), die weder in der einen oder in der anderen amtlichen Karte aufscheinen, zurückzugreifen.

³⁾ Zitierungen von Höhlen entsprechen der Art und Weise, wie sie im Österreichischen Höhlenverzeichnis mit ihrer Katasternummer (z.B. Kat.-Nr. 2836/1a-f für die Lurgrotte) aufscheinen.

Die Südbegrenzung des Semriacher Beckens besteht aus einem niedrigen Kamm, der das Becken vom südlich gelegenen, von Ost nach West verlaufenden Rötschgraben abtrennt. Den Ostrand des Einzugsgebietes bildet ungefähr die Linie Windhofkogel (1064 m SH), die kleine Ansiedlung Anger (956 m SH), eine unbenannte Erhebung (1009 m SH) und der Rechbergkogel (1020 m SH). Auf der Nordseite verläuft diese Linie über den letztgenannten und die höchste Erhebung des Untersuchungsgebietes, den Fragnerberg (1109 m SH). Zwischen Fragnerberg und Tannebenmassiv liegt der bewaldete Eichberg (891 m SH), der schon zum verkarsteten Bereich gehört.

Auf seinem Kamm und an seiner nördlichen Flanke treten Dolinen und Schwinden etwa 300 m W der Ortschaft Neudorf (790 m SH) auf. Zwei dieser Schwinden liegen in größeren Dolinen. Eine wird Eisgrube (Kat.-Nr. 2836/4) genannt und war in den Jahren 1959 und 1985 eine Eingabestelle bei Markierungsversuchen. Es handelt sich dabei um eine Doline, die in ein kurzes Steilstück übergeht, das schließlich durch Versturzböcke und eingeschwemmte Sedimente verlegt ist. Die andere - unmittelbar W von Neudorf gelegen - wird Bachschwinde (Kat.-Nr. 2836/64) genannt und diente als Müllplatz (Fig. 2).



Fig. 2: Die mit Pfeilen bezeichneten Stellen markieren die Eisgrube (E) und die Bachschwinde (N) bei Neudorf nördlich des Eichberges (891 m SH). Die Ansicht ist vom Südhang des Fragnerberges aufgenommen. (Foto: R. BENISCHKE)

Von der Eisgrube führt eine Straße durch Wald nach W zum Ort Pöllau (741 m SH). Ungefähr 500 m nördlich davon, unmittelbar am westlichen Straßenrand, öffnet sich eine kleine

Schwinde, die sog. Katzenbachschwinde (Kat.-Nr. 2836/65), die Eingabepunkt bei einem Markierungsversuch im Jahre 1966 war.

Obwohl die orographische Grenze im Norden des Tannebenmassivs der Badgraben und der Baßgraben ist, erstreckt sich das Karstgebiet auf die andere Seite in das Gebiet des Lammkogels (759 m SH), Mühlbachgrabens, Himmelreichs, Mühlgrabens, Schöneggkogels (772 m SH) und des Schwarzkogels (906 m SH). Für regionale hydrogeologische Überlegungen müßte dieses Gebiet selbstverständlich in die Untersuchungen eingeschlossen werden, besitzt aber für die Wasserbilanz des Lurbach-Einzugsgebietes und des Tannebenmassivs nach bisheriger Kenntnis wahrscheinlich keine große Bedeutung.

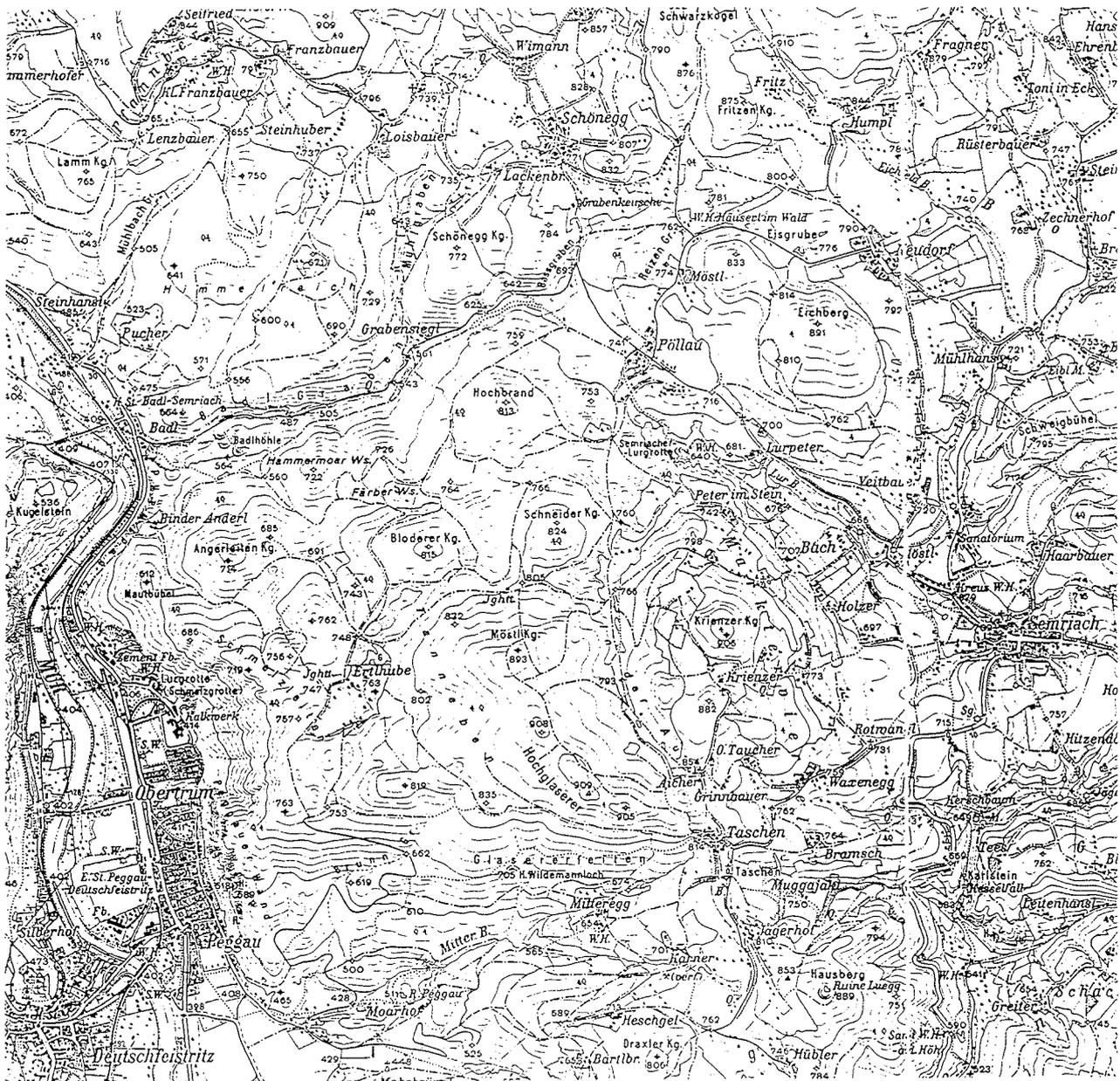


Fig. 3: Verkleinert Ausschnitt aus der Österreichischen Karte, 1:25.000, Blatt 164/1 (Deutschfeistritz); Aufnahme 1926/27 (Rev. 1954, Nachträge 1955; Ausgabe 1/57).

Die südliche Begrenzung entlang des Mitterbaches hinauf zur Taschen ist nicht nur eine hydrographische Trennlinie (der Mitterbach bildet hier den Vorfluter) sondern auch eine deutliche geologische Grenze. Südlich der kleinen Ansiedlung auf der Taschen befindet sich der Rücken des Hiening mit dem Draxlerkogel (806 m SH) und dem Hausberg (889 m SH) als höchste Erhebungen. Auf dem zuletzt genannten Berg liegt die Burgruine Luegg, von der in der Literatur verschiedentlich der Name "Lurloch" bzw. "Lurgrotte" hergeleitet worden ist (eine eindeutige namenskundliche Klärung ist aber bis heute ausständig).

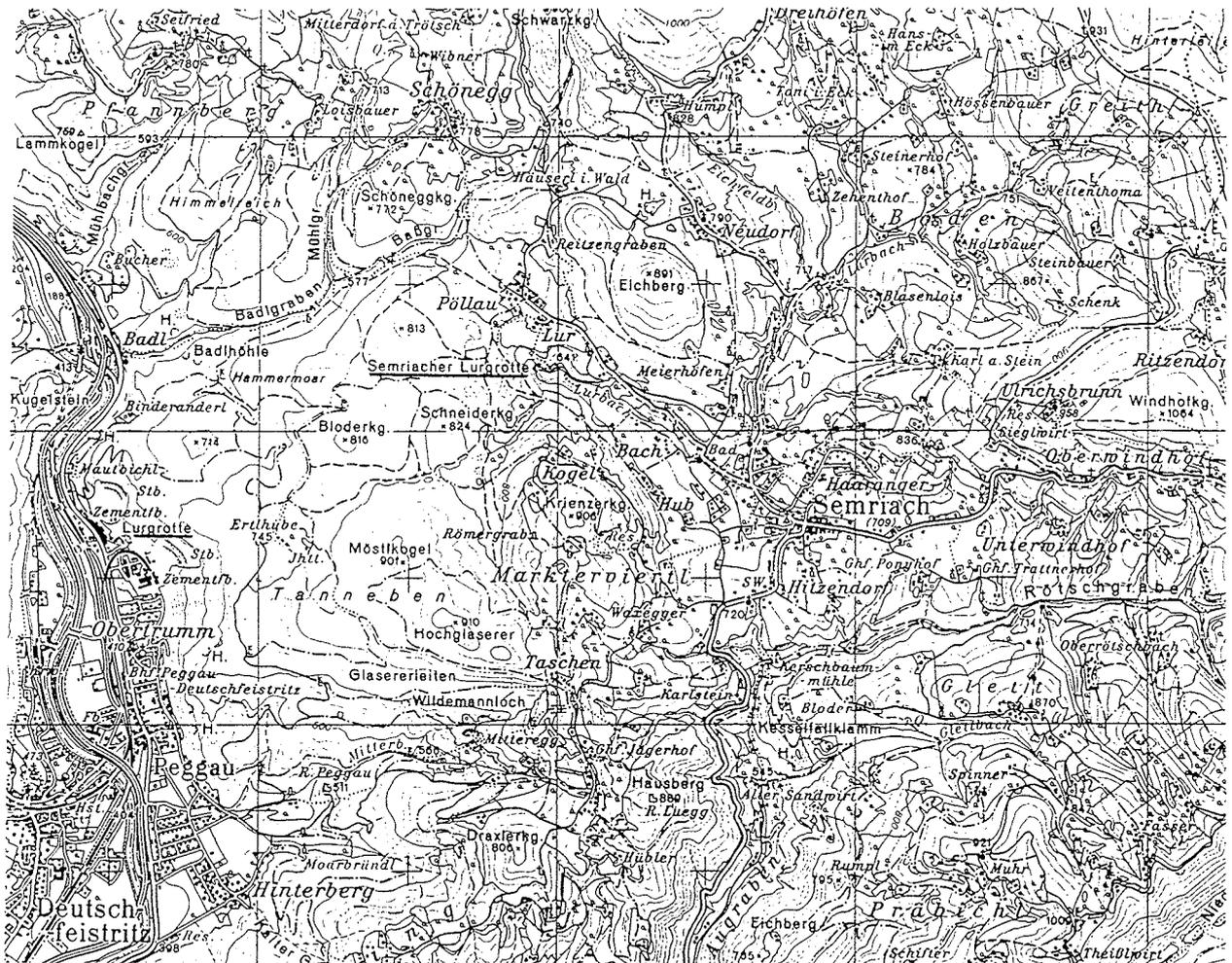


Fig. 4: Ausschnitt aus der Österreichischen Karte, 1:50.000, Blatt 164 (Graz); Aufnahme 1979 (Nachträge 1986; Ausgabe V/87). Lurgrotteneingänge unterstrichen. Der Austritt des Hammerbaches befindet sich beim "u" von "Obertrum", eines Ortsteiles von Peggau.

GEOLOGIE UND KARSTENTWICKLUNG DES RAUMES DEUTSCHFEISTRITZ - PEGGAU - SEMRIACH

V. MAURIN ¹⁾
(mit 10 Fig.)

Zusammenfassung

Der Mittelsteirische Karst umfaßt die karbonatischen Anteile des Grazer Paläozoikums. Die Verkarstung wird im wesentlichen von den sowohl stratigraphisch als auch tektonisch eingeschalteten Schiefen begrenzt, an den Außenrändern vom kristallinen Grundgebirge. Im W ist dem Paläozoikum die Kainacher Gosau eingelagert. Im S tauchen alle Einheiten unter die neogenen Lockersedimente des Steirischen Beckens ab. Mit den quartären Porenaquiferen in den Tälern stehen die Karstkomplexe vielfach in direktem Kontakt. Dies trifft auch für das Tannebengebiet - mit dem Lurbachsystem - zu.

Die junge, heute noch aktive Verkarstung des Grazer Berglandes reicht bis in das obere Miozän zurück. Der Tiefgang dieses Prozesses ist von der Höhendifferenz Einzugsgebiet - Vorflutniveau abhängig. Der zeitliche Ablauf wurde im Mittelsteirischen Karst von der phasenhaften, oft oszillierenden, tektonisch gesteuerten Höferschaltung des Grazer Berglandes gegenüber dem Steirischen Becken bestimmt. Diese Zusammenhänge lassen sich im Bereich Peggau - Semriach besonders gut analysieren. Bis in das oberste Pliozän haben wir in diesem Areal noch ein eigenes Entwässerungssystem. Ein selbständiger Strang führt aus dem Trötsch-Gebiet über die Pöllau und das heutige Semriacher Becken in etwa 750 m SH nach S. An der Westseite des Tannebenstockes hat zur selben Zeit eine Urmur eine breite Talung entwickelt. Beide gehören dem Hochstradner-Niveau an. Die wasserreichere Mur tiefte sich gegenüber den kleineren Gerinnen im E aber rascher und kräftiger ein; 350 m zu 120 m seit dem Astium. Damit kommt es ab der Wende Pliozän/Pleistozän zu einem E-W-Druckgefälle im Kluft- und Karstwasserkörper des Tannebenstockes und in der weiteren Folge durch rückschreitende unterirdische Korrosion und Erosion zu einer Anzapfung und schließlich Kappung der zurückgebliebenen Gerinne im E. Die gesamte seit dieser Zeit abgetragene Kubatur des heutigen Kesseltales von Semriach wurde über Karstsysteme ins Murtal transportiert.

Die Eintiefung des Haupttales erfolgte etappenweise, von Ruhepausen und Rücksenkungen unterbrochen. Während solcher Haltezeiten konnte der begleitende Karstgrundwasserstrom in der phreatischen Zone großlumige, horizontgebundene Karstschläuche und auch -labyrinth ausformen. Diese lassen sich durch Parallelisierung mit Oberflächenniveaus und/oder der Analyse des Höhleninhaltes zeitlich einstufen.

Im Rib-Würm-Interglazial oder im Frühwürm kam es im Murtal noch zu einem, ca. 30 m unter die heutige Talsohle reichenden Tiefenschurf. Es ist daher wahrscheinlich, daß auch die Verkarstung in diesem Zeitabschnitt noch unter das heutige Talniveau gegriffen hat.

Abstract

The "Mittelsteirischer Karst" consists of carbonate rocks of the Paleozoic of Graz. The karstified area is limited by the stratigraphic and tectonic intercalated series of schists. In the W the Kainacher Gosau is embedded in the paleozoic. In the South all geological units dip under the neogene sediments of the Styrian basin. The quaternary porous aquifers of the valleys are interconnected in many cases with karstic complexes. This holds also for the Tanneben area with the Lurbach system.

The younger still active karstification processes of the Grazer Bergland lasted since the upper miocene. The intensity of this process is very dependent on the height differences between the catchment area and the erosion basis. The time dependence of these processes is governed by oscillating phases of tectonic uplift of the Grazer Bergland with respect to the basin of Semriach. Until to the uppermost pliocene the area had its own drainage system. An isolated branch lead from the Trötsch area along Pöllau into the basin of Semriach (approx. 750 m a.s.l.). At the western margin of the Tanneben a Paleo-Mur developed at the same time a broad valley floor. Both belong to the Hochstraden-erosion-level. The Paleo-Mur with its larger discharge incised into the underground much quicker than the other small streams in the east (350 m against 120 m since the Astian). Therefore an E-W-directed hydraulic gradient developed in the karst and fracture aquifer of the Tanneben since the pliocene/pleistocene. This resulted in a retrograde underground corrosion and erosion leading to a capture and finally cutoff of the remaining streams in the east. The total removed volume of the basin of Semriach was transported through the karst channels down to the Mur valley.

¹⁾ Univ.-Prof. Dr. Viktor Maurin, Hafnerriegel 7, A-8010 Graz, Austria.

The deepening of the main valley developed in phases interrupted by pauses and reverse depressions. During such stops the concomitant karst groundwater formed big-sized karst channels and labyrinths in the phreatic zone. These horizons can be dated by parallelizing erosion levels on the surface or by dating the cave fillings.

In the Riß-Würm-interglacial or in the early Würm there was in the Mur valley a scour of about 30 m below the present valley floor. Therefore it is likely that the karstification reached during that time a level below the present valley floor.

Résumé

Le "Mittelsteirischer Karst" constitue de calcaires du Paléozoïque de Graz. La région karstifiée est limitée par des schistes intercalés de façon stratigraphique et tectonique. A l'ouest la "Kainacher Gosau" est intercalée dans les roches paléozoïques. Au sud toutes les séries sont couvertes par les sédiments néogènes du Bassin Styrien. Les aquifères dans les sédiments quaternaires sont en contact avec les roches karstifiées du massif de la Tanneben.

La karstification encore récente commença au Miocène supérieur, l'intensité de son développement dépend de la différence entre l'altitude du bassin versant et la base d'érosion. Jusqu'au Pliocène supérieur la région avait son propre système de drainage. Le fleuve Mur avec ses hauts débits érodait plus vite que les petits ruisseaux tributaires à l'est. Le résultat fut le développement d'un gradient hydraulique orienté E-W dans l'aquifère karstique de la Tanneben à partir du Pliocène/Pleistocène et par conséquence le captage des ruisseaux à l'est par corrosion et érosion rétrograde dans le sous-sol du massif karstique.

L'érosion de la vallée principale fut interrompue par plusieurs périodes de pauses et dépressions où des systèmes de chenaux et conduits karstiques de grande dimension furent créés dans la zone phréatique du massif karstique. Ces horizons de grottes peuvent être datés en les parallélisant avec les niveaux d'érosion à la surface ou par analyse des sédiments dans les grottes.

Dans la période interglaciaire Riß-Würm ou début Würm la base d'érosion dans la vallée de la Mur se trouvait environ 30 m plus profond que celle de nos jours. Il est probable pour cette raison que la karstification est développée à un niveau plus profond que le fond de vallée récent.

Inhalt

Zusammenfassung

Abstract

Résumé

1. VORBEMERKUNG

2. GEOLOGIE

2.1. Lithostratigraphie

2.2. Tektonik

3. MORPHOGENESE, PALÄOHYDROGRAPHIE und KARSTENTWICKLUNG

4. LITERATUR und UNTERLAGEN

1. VORBEMERKUNG

Das Lurbachsystem kann als Kernstück des "Mittelsteirischen Karstes" bezeichnet werden. Es liegt zwischen Semriach im E und dem Murtal bei Peggau im W und gliedert sich in ein etwa 16 km² großes oberirdisches Einzugsgebiet in der Semriach-Passailer-Schiefermulde und den unterirdischen Sicker- und Abflußwegen im Schöckelkalkstock der Tanneben und des Eichberges.

Der Begriff "Mittelsteirischer Karst" wurde von BOCK (1913) geprägt und umfaßt alle Karbonatgesteins-Vorkommen des Grazer Paläozoikums (Fig. 1), wobei die meist sehr reinen, vielfach in Form massiger Stöcke entwickelten Hochlantschkalke im N und die Schöckelkalke im S besonders verkarstungsfähig sind. Größere zusammenhängende Schöckelkalkareale finden sich ganz im W um Köflach, im Bereich der Tannebenscholle (mit dem Lurbachsystem), dem eigentlichen Schöckelstock sowie dem Weizer Bergland im E.

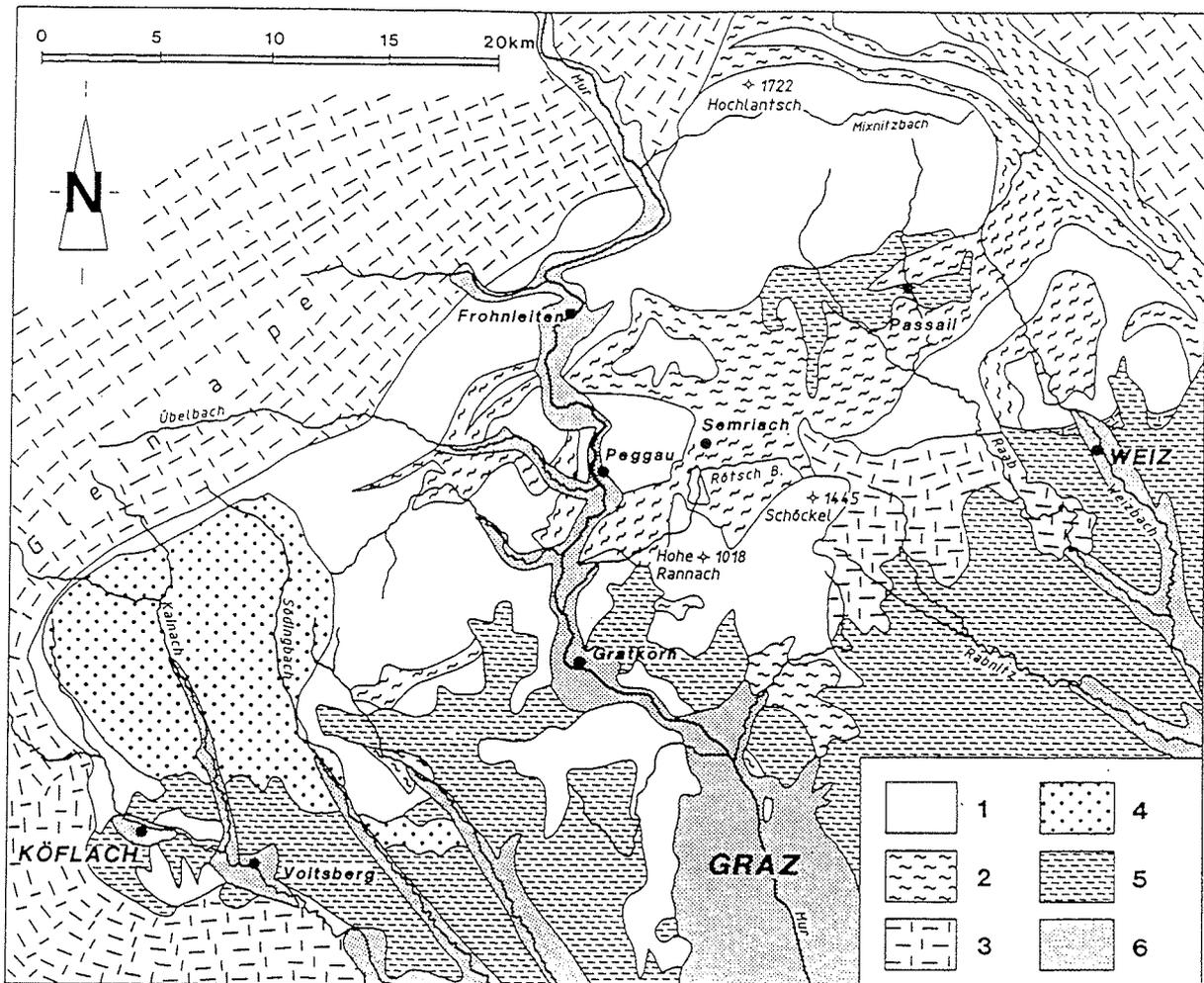


Fig. 1: Der Mittelsteirische Karst umfaßt die karbonatischen Anteile des Grazer Paläozoikums.
 Legende: 1 = Kalke, Kalkschiefer und Dolomite des Devon und Karbon, 2 = Tonschiefer, Grünschiefer und Vulkanite des Ordovicium bis Karbon, 3 = Kristallines Grundgebirge, 4 = Gesteine der Kainacher Gosau, 5 = Lockersedimente des Neogen, 6 = Klastika des Quartärs (MAURIN & ZÖTL 1969, 1973).

Die bedeutendsten ober- und unterirdischen Karstphänomene des Grazer Berglandes finden sich in den devonischen Hochlantschkalk- und Schöckelkalk-Komplexen. Zeitlich reicht die heute noch aktive Karstentwicklung bis in das höhere Miozän zurück. Auf Paläokarstreliekt aus dem Meso- und dem Paläozoikum soll hier nicht eingegangen werden.

Für die Entstehung eines ausgedehnteren unterirdischen Karstsystems sind folgende Faktoren maßgebend:

- * ein entsprechend umfangreiches Areal verkarstungsfähiger Gesteine (hier: Schöckelkalk, Kalkschiefer, Dolomite),
- * ein primär wasserwegiges Trennflächengefüge (Bruchfugen, Überschiebungsflächen, Schichtfugen),
- * ein ausreichendes Druckgefälle zwischen Einzugs- bzw. Niederschlagsgebiet und dem karstwirksamen Vorfluter,
- * günstige klimatische Vorbedingungen (Humidität, Pflanzendecke und dadurch erhöhte CO₂-Produktion).

Im Raum Semriach - Tanneben - Peggau haben wir hierfür vorzügliche Voraussetzungen durch den gegebenen geologischen Aufbau und den zeitlichen Ablauf der Morphogenese dieses Gebietes. Die aktuelle Weiterentwicklung wird durch eine geschlossene Vegetationsdecke ("Grünkarst") besonders gefördert. Sowohl flächenhaft als auch in seinem Tiefgang wird der Verkarstungsprozeß hier aber durch das Auftreten nichtverkarstungsfähiger Schiefer begrenzt.

2. GEOLOGIE

2.1. Lithostratigraphie

Im Bereich des Lurbachsystems haben wir eine klare stratigraphisch-lithologische Zweiteilung der Gesteinsabfolge in die weitgehend wasserstauenden Schiefer des Semriacher Beckens (Passailer Gruppe) und den äußerst verkarstungsfreudigen Schöckelkalken. Diese Gesteinskomplexe gehören gemeinsam der Tonschiefer-(Schöckelkalk-)Fazies des Grazer Paläozoikums an (FLÜGEL 1975, EBNER 1983, FLÜGEL & NEUBAUER 1984, L. WEBER 1990, FRITZ 1991, MAURIN 1992). Sie lassen sich für den Bereich Peggau - Semriach vom Hangenden ins Liegende folgendermaßen gliedern:

A: Schöckel-Gruppe

1. **Schöckelkalk**, ein Kalktekonit von grauer, graublauer bis weißer Farbe, dicht bis feinkristallin, oft charakteristisch gebändert, grobbankig bis plattig, z. T. auch massig ausgebildet, primär wahrscheinlich einige 100 m mächtig, durch Einengungstektonik oft größere Mächtigkeit vortäuschend.
In den stratigraphisch mittleren und höheren Horizonten meist sehr reine Kalke (97 und mehr Procente CaCO_3 ; URREGG 1942, HAUSER & URREGG 1949), an wenigen Stellen dolomitisiert, in den tieferen Anteilen stärkeres Auftreten von Ton- und Serizitbestegen auf den Schichtflächen, Einschaltungen von dunklen Kalklagen, Kieselkalken, Quarzknuern usw. Wir haben hier also einen Übergang zu den liegenden Arzberg-Schichten und daher werden auch diese zur Schöckel-Gruppe gestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Materialkonstanten kam es bei der starken Durchbewegung (Überschiebungs- und Einengungstektonik) vielfach zu Abscherungen und Verschuppungen mit dem Untergrund.
2. **Arzberg-Schichten**, eine Folge dunkler graphitischer Kalke bis Kalkschiefer, wechsellagernd mit Schwarz- bis Serizitschiefer, z. T. pyritführend, Einschaltungen von dunklen Dolomiten, sandigen Lagen, Quarzitlagen und Quarzknuern.
In den Lagerstättenbohrungen in Peggau (SEELMEIER 1944) läßt sich eine Gliederung in einen stratigraphisch höheren, stärker karbonatisch betonten Komplex und einen tieferen, überwiegend aus Schwarzschiefern, Ton- und Grünschiefer bestehenden, erkennen. Die primäre Mächtigkeit dürfte 200 bis 300 m betragen (FLÜGEL & NEUBAUER 1984). Die silberhältige Blei-Zink-Barytvererzung im Raum Peggau - Deutschfeistritz ist an diese Folge gebunden.
Die höheren, karbonatreicheren Anteile der Arzberg-Schichten entsprechen dem älteren Begriff des "Grenzphyllit" (FLÜGEL, MAURIN & NEBERT 1952).

B: Passailer Gruppe

Eine epizonale metamorphe, vulkanogen-sedimentäre Entwicklung. Graue, violette oder grünliche Serizit- bis Quarzphyllite, Serizitquarzite, Kohlenstoffphyllite. Grüngesteine als Abkömmlinge von basischen Tuffen und Tuffiten sowie Basaltlagern.
Mächtigkeit durch mehrmalige Durchbewegung, Schuppen- und Faltenektonik z. T. weit über 1000 m.

Für eine zeitliche Fixierung des gesamten Komplexes stehen im Bereich Peggau - Semriach nur Striatoporenkalke aus den Arzberg-Schichten zur Verfügung, die diese in das Mitteldevon einstuft. Derartige Fossilfundpunkte sind im Untersuchungsgebiet aus der Lurgrotte am Blocksberg (BOCK 1917), aus dem Badlgraben, dem Lurkessel sowie dem Triebwasserstollen des Kraftwerkes Deutschfeistritz im Kugelstein beschrieben (HERITSCH & SCHWINNER 1932). Neuere Untersuchungen (TSCHELAUT 1985) im Raum Guggenbach haben eine Conodontenfauna des tiefsten Unterdevon geliefert. Aus regionalgeologischen Überlegungen werden die Gesteine der Schöckel-Gruppe (Arzberg-Schichten und Schöckelkalk) in das Devon, die der Passailer Gruppe ins (?)Ordoviciem, Silur bis (?)Unterdevon gestellt.

Im Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des Krienerkogels den Schöckelkalke der Tanneben und im S und SW den Schiefen der Taschen eine tektonische Deckscholle aus Gesteinen der **Rannach-Fazies** auf (SCHWINNER 1925, MAURIN 1953b). Sie beginnen an der Basis mit hellen, mürben, ebenflächig brechenden sandigen Schiefen, die von EBNER & L. WEBER (1978) mit den "Schichten von Kher" verglichen werden. Ihre Abgrenzung zu den liegenden "Taschenschiefen" ist bei den schlechten Aufschlußverhältnissen schwierig. Darüber folgen dunkle, plattige, reichlich Crinoiden und auch Korallen führende Kalke. Diese werden von Dolomitsandsteinen und Dolomiten der Dolomit-Sandstein-Stufe überlagert. Der Tuffhorizont, der im Bereich der "Sandstraße", die vom Augraben nach Semriach führt, an mehreren Stellen gut aufgeschlossen ist, wird hier nicht erreicht. Die ganze Folge ist in das Obersilur bis Unterdevon einzustufen. Für die Entwicklung des unterirdischen Lurbachsystems hat diese Deckscholle keine Bedeutung.

Ablagerungen des **Neogen** sind im Semriacher Becken nur noch in Resten vorhanden (SCHWINNER 1925, MAURIN 1953b), und zwar blaugrüngraue, glimmerreiche Lehme südlich und nordwestlich des Ortskerns von Semriach, z. T. mit kohligen Pflanzenresten. Sie lassen sich mit miozänen Sedimenten im Passailer Becken vergleichen. Ihr Auftreten spricht dafür, daß diese intramontane neogene Einwölbungszone bis in den Raum von Semriach wirksam war. Außerdem finden sich südlich von Semriach, am trennenden Rücken zum Rötschgraben, noch Schotterablagerungen des Pannoniums. Auf diese, sowie auf die ausgedehnte Schotterüberstreuung der Tannebenhochfläche wie auch auf die Sedimente der Quartärrassen soll erst im Kapitel 3 näher eingegangen werden.

2.2. Tektonik

Das Untersuchungsgebiet ist Teil eines komplizierten mehrphasigen Deckenbaues des gesamten Grazer Paläozoikums, wobei es im Bereich der **Schöckeldecke** zu einer Überfaltung und dadurch teilweise zur Verdoppelung der Mächtigkeit dieser Kalke kam. Damit ist erklärlich, daß Gesteine der liegenden Arzberg-Schichten u n d der Passailer Gruppe auch im Hangenden der Schöckelkalke auftreten (SCHWINNER 1925, L. WEBER 1990). Die

hängenden, z. T. überfalteten und damit invers lagernden Anteile werden in der Literatur als "Taschenschiefer" oder "Obere Schiefer", die im Liegenden der Schöckelkalke verbliebenen als "Untere Schiefer" bezeichnet. Nach L. WEBER werden die tektonischen Verhältnisse im Bereich Peggau - Taschen durch einen NW-vergenten Stauchfaltenbau geprägt, welcher die Oberen Schiefer in eine flache Mulde zwingt und an den starren Block der Schöckelkalke im N anpreßt, wobei örtlich Schiefer über den Südrand der Tannebenscholle "hinwegbranden" können. In den drei in diesem Bereich niedergebrachten Strukturbohrungen (T 1 bis T 3) wurde zwischen den aufrecht-stehenden Unteren Schiefen und den invers liegenden Oberen Schiefen kein Schöckelkalk angetroffen.

Die Schöckelkalkmasse des Tannebenstockes wurde intern durch Aufschiebungen eingengt und in flache Mulden und Sättel gegliedert. Dieser Innenbau ist bei einem Blick vom Feistritzer Kirchberg auf die Peggauer Wand gut erkennbar. Eine mit 45° nach N aufsteigende Dislokationsfläche gliedert die ganze Wand in eine schwache Syncline im S und in das flach nach NW einfallende Liegendtrum (Fig. 2). Damit stimmt auch gut überein, daß am Südende der Peggauer Wand Gesteine der Arzberg-Schichten (dunkle Kalke und Tonschiefer) ausstreichen, während in den Tiefbohrungen II und III im Murtal vor der Lurgrotte und dem südlichen Steinbruch der Peggauer und Wietersdorfer Zementwerke die Grenzzone zwischen Schöckelkalk und Arzberg-Schichten erst 60 bis 70 m unter der Talsohle angetroffen wurde.

Im großen gesehen liegen die Schöckelkalke der Tannebenscholle im SE meist sehr flach und tauchen nach N und NW zum Badlgraben und zur Badlänge des Murtales hin immer mehr ab. Diese Schöckeldecke ist den Gesteinen der Passailer Gruppe aufgeschoben. Ihre einstmals größere Ausdehnung wird durch isolierte Reste im östlichen Teil des Semriacher Beckens dokumentiert. Auch die tektonisch eingesenkten und eingeklemmten Schöckelkalkspäne im Bereich des Kesselfalles gehören hierher.

Jenseits des Murtales findet die Schöckeldecke im steil aufragenden Bergzug der Feistritzer Felsenwände und des Kugelsteins ihre Fortsetzung und taucht im W unter die breit angelegte Parmasegg-Synklinale ab. Wie am Südende der Peggauer Wand werden auch hier die Schöckelkalke von Arzberg-Schichten unterlagert, die auch den niederen Sattel zwischen Zitoll und Deutschfeistritz aufbauen. Ganz im S lagert ihnen noch die isolierte Deckscholle des Kirchberges auf. Arzberg-Schichten streichen auch an der SE-Seite des Kugelsteins aus. Auch im Triebwasserstollen des Murkraftwerkes Deutschfeistritz wurde diese Schichtfolge im stark verschuppten und verfalteten Zustand angefahren (FLÜGEL, MAURIN & NEBERT 1952). Die Westgrenze dieses Schöckelkalkzuges wird von einem meridional streichenden Störungsbündel gebildet, in dem sowohl Schöckelkalke als auch die anlagernden Arzberg-Schichten steil bis saiger gestellt sind (MAURIN 1953b, 1954, FRITZ 1986, 1991).

Über der Schöckeldecke liegt die tektonisch höhere Einheit der **Rannachdecke**. Im Untersuchungsgebiet ist davon nur die isolierte Deckscholle des Krienzerkogels erhalten. Im Bereich des Hochtrötsch im N, des Parmasegg im W sowie der Rannach im S ist diese Einheit aber auf weite Strecken vertreten. Zu letzterem Abschnitt ist auch die südlich der Taschen liegende Luegg-Deckscholle zu rechnen.

Neben dieser Deckentektonik, die die Grundstrukturen prägte, ist für den Verkarstungsprozeß aber die jüngere **B r u c h t e k t o n i k** maßgebender. Dominierend ist dabei ein meridional streichendes Störungssystem. In Form von Bruchstaffeln sind die Kalke des Tannebenstockes gegenüber den Schiefen des Semriacher Beckens relativ abgesenkt. Die karsthydrologisch wirksamste Grenze bildet eine Störung, die mit N 10 E den Schöckelkalkstock des Eichberges und den ebenfalls aus diesen Kalken aufgebauten Sockel des Krienzerkogels nach E begrenzt. Eine zweite gut erkennbare Störungszone verläuft etwa 800 m westlich, schneidet hier die Krienzerkogel-Deckscholle ab und streicht weiter nach N in den Lurkessel. Auch in den Steilabfällen der Peggauer Wand und der Feistritzer Felsenwände sind diese Meridionalstörungen morphologisch wirksam. Kaum kartierbar hingegen sind Störungen in der lithologisch einförmigen mit Terrassensedimenten überstreuten und meist dichtbewaldeten Hochfläche der Tanneben. Einen Einblick in die Interntektonik dieses Stockes geben aber die im Badlgraben sowie am Südrand, im Bereich des Mitterbaches aufgeschlossenen Übergangszonen zwischen Schöckelkalk und Arzberg-Schichten. Das gleiche gilt auch für den zugänglichen unterirdischen Hochwasserlauf des Lurbaches (Fig. 3), der ebenfalls über weite Strecken in diesem Grenzbereich verläuft (MAURIN 1953b, 1954). Neben den großen N-S-Störungen sind auch andere Bruchrichtungen wie auch Blattverschiebungen erkennbar. Für den Verkarstungsprozeß wichtig ist der Umstand, daß neben den kartierbaren Dislokationen die Kalke eine intensive Zerbrechung erfahren haben. Diese Trennfugen verlaufen meist senkrecht zu den Schichtflächen. Der Kluftabstand ist sowohl von der Art der Beanspruchung als auch von der Mächtigkeit der einzelnen Gesteinsbänke abhängig. Dünnbankige Partien weisen in der Regel eine größere Kluftdichte auf. Der sich daraus ergebende Durchtrennungsgrad sowie Ausbildung und Lage der Schichtfugen sind bei diesen an sich dichten Kalken für die primäre Gebirgsdurchlässigkeit und in der weiteren Folge für Ausbildung und Standfestigkeit der entstehenden Karsthohlräume maßgebend.

Das Alter der Bruchstrukturen der Tannebenscholle ist sehr unterschiedlich. Ein Teil kann noch der alpidischen Einengungstektonik zugerechnet werden. Dazu gehören Blattverschiebungen und steile Aufschiebungen. Auch die großen meridional streichenden Bruchstaffeln wurden wohl schon in dieser Zeit vorgezeichnet. Ihre endgültige Ausformung erhielten sie aber erst während der phasenhaften Heraushebung des Grundgebirgsrahmens der Grazer Bucht im Laufe des Jungtertiärs und des Quartärs, ein Prozeß, der bis in die jüngste geologische Vergangenheit andauert (MAURIN 1953a).



Fig. 2: Die Peggauer Wand vom Kirchberg in Deutschfeistritz aus gesehen. Sie wird in ihrer ganzen Höhe von über 200 m aus dickbankigen bis massigen Schöckelkaliken aufgebaut und ist in ihrem mittleren Abschnitt durch mit 45 bis 70 Grad ansteigenden Aufschiebungen geprägt. Das Südrum der Wand bildet eine flache Syncline, das Nordrum fällt mit etwa 10 Grad nach NW ein. Durch die tektonisch vorgezeichneten Steilabbrüche sind zahlreiche Höhleneingänge aufgeschlossen. Im einzelnen sind sie an Bankungs- und Klüffeln gebunden, insgesamt lassen sie sich den beschriebenen Terrassengruppen zuordnen. Am rechten Bildrand ein Schema der zeitlichen Gliederung der Eintiefung des Murtales; HN = Hochstradner-Niveau, PLIO/PLEI = Plio/Pleistozän-Grenze, AQ = Altquartär, MQ = Mittelquartär, JQ = Jungquartär; F = Höhe der geschütteten Halde zum Stollensystem "Felschütte" (416 m SH), sie entspricht etwa dem Niveau der Würmterrasse; 6 m tiefer die Quelle des Hammerbaches (= HB); 20 m höher der erwähnte Lüftungstollen (= L); mit Ringsignaturen und Ziffern einige der im Text erwähnten Höhlen der Katastergruppe 2836. (Foto: H. MAURIN)

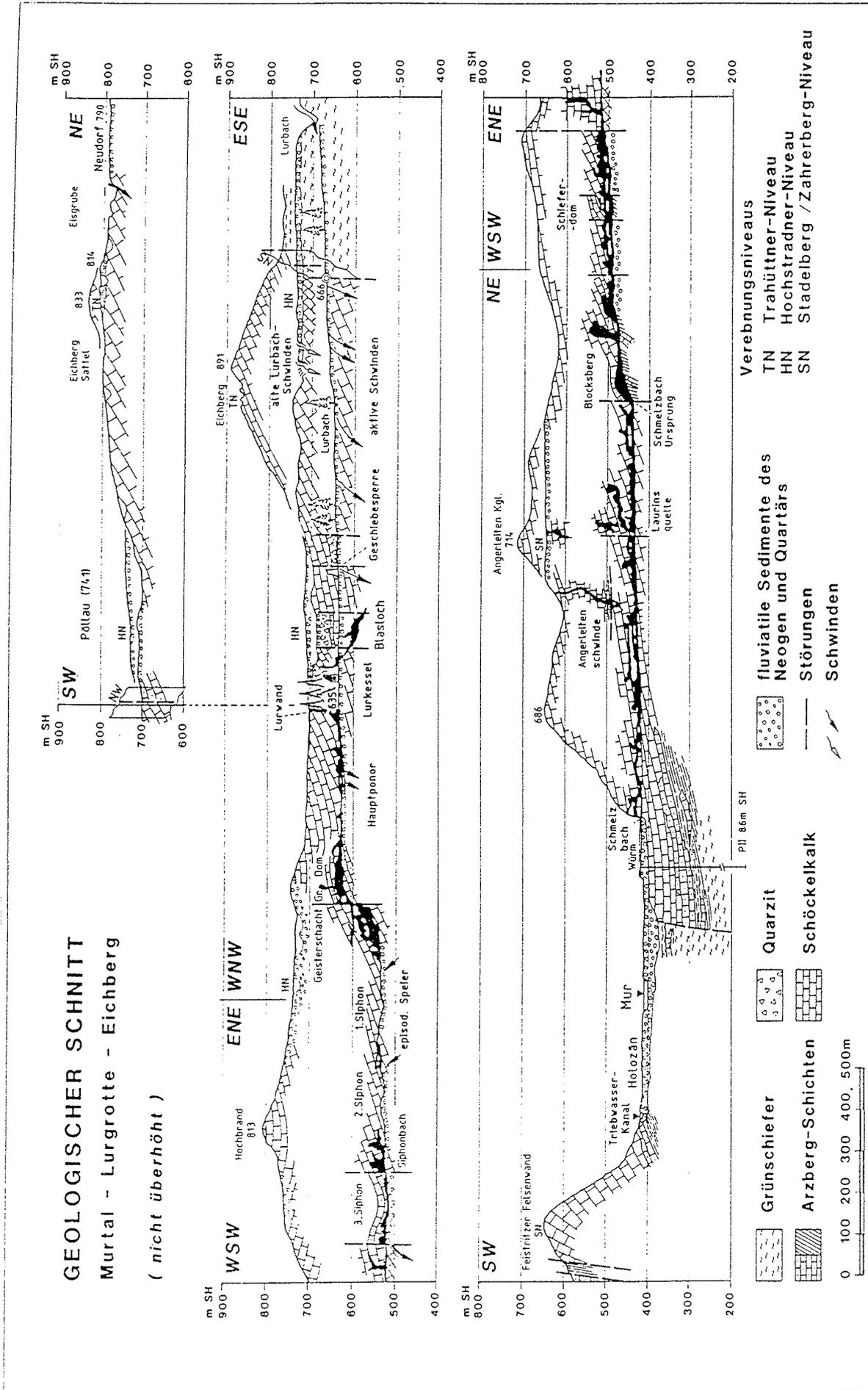


Fig. 3: Karsthydrogeologischer W-E-Schnitt durch das Murtal - Tannebenplateau entlang der Lurgrotte - Lurkessel - oberirdischer Lurbach sowie Parallelschnitt Pöllau - Neudorf. (Nach MAURIN 1954, unter Benützung des Lurgrottenplanes von BOCK 1928)

3. MORPHOGENESE, PALÄOHYDROGRAPHIE UND KARSTENTWICKLUNG

Die zeitliche Gliederung von Verkarstungsprozessen, vor allem die Einstufung von Höhlenniveaus kann entweder über die Analyse der Karsterscheinungen und der Höhleninhalte (Sedimente, paläontologische und archäologische Befunde) oder mit Hilfe der Parallelisierung mit datierbaren Oberflächenformen erfolgen (MAURIN & BENISCHKE 1992).

Mit der morphologischen Entwicklung des Grazer Berglandes hat sich eine große Zahl von Forschern beschäftigt. Eine auch heute noch grundlegende Zusammenfassung gab WINKLER-HERMADEN (1955, 1957). Er vertritt die Ansicht, daß, abgesehen von einigen verschütteten und teilweise wieder aufgedeckten älteren Formenelementen, die frühesten noch erkennbaren Oberflächenreste nicht weiter als in das jüngste Miozän zurückreichen. Hierher lassen sich Verebnungen im Schöckel- und im Hochlantschgebiet stellen.

Im Laufe des Pannonium kam es zu einer phasenhaften Heraushebung und damit Zerschneidung dieser Hügellandschaft und infolge von Rückenkungen zu einer teilweisen Verschüttung des Gebirgsrandes. Die mächtigen Schotterablagerungen im Schieferareal südöstlich von Semriach und im Passailer Becken sind hierher zu stellen. Da die äquivalenten Schotterhorizonte im Becken von Gratkorn und im Raum Graz aber bedeutend tiefer liegen, müssen im oder bald nach dem Pannonium noch beträchtliche Verbiegungen und bruchhafte Verstellungen stattgefunden haben. In das von WINKLER-HERMADEN als **Trahüttner-Niveau** bezeichnete oberpannonische System wären im Untersuchungsgebiet Höhen um 900 m SH (Hochglaserer 910, Möstlkogel 901, Krienzerkogel 906, Hausberg 889, Eichberg 891 sowie entsprechende Flächen im Schieferareal um den Windhofkogel) einzuordnen. Obwohl der ganze Bereich einen sehr hohen höhlenkundlichen Forschungsstand aufweist, insgesamt sind fast 300 speläologische Objekte katastermäßig erfaßt, kennen wir im Raum Peggau - Semriach praktisch keine diesem System zuordenbare Höhlen, was natürlich auch mit der nur sporadischen Überlieferung dieser Höhenstufe zusammenhängen kann. Wohl aber lassen sich Dolinen von z. T. beträchtlichen Dimensionen am Hochglaserer in 900 und am Möstlkogel um 890 m SH sowie auf einer etwa in 820 bis 840 m SH entwickelten Zwischenstufe beobachten, so am Sattel des Eichberges (EHRENREICH 1994 bzw. in diesem Band) oder an der West- und Ostseite des Hochglaserer, weiters Verebnungen und Dolinen an der Ostseite des Krienzerkogels in 860 bis 870 m SH. Hierher könnte auch eine Kleinhöhle (Fuchsloch, Kat.-Nr. 2836/227) am Südwesthang des Hochglaserer in 820 m SH gestellt werden. Eine weitere hochgelegene Höhle ist das Wildfrauenloch (Kat.-Nr. 2836/25) auf der Glasererleiten am Südrande des Tannebenstockes in 785 m SH.

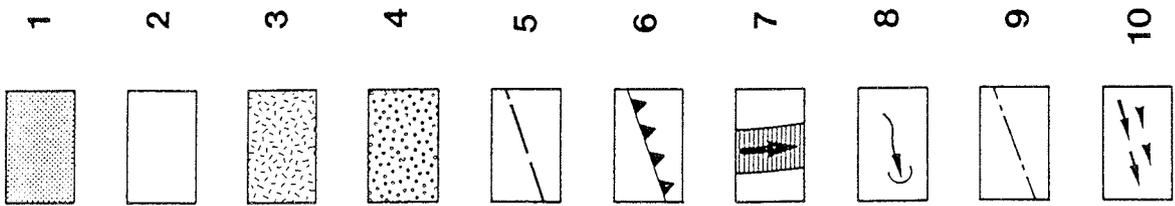
Senkungsvorgänge im Steirischen Becken an der Wende Pannonium/Astium führten zunächst zu einer kräftigen Belebung der Erosion im Hinterland (FLÜGEL 1975) und im obersten Astium zur Ausbildung eines ausgeprägten Flächensystems, das am gesamten

Gebirgsrand deutlich verfolgbar ist (Kalkleitenmöstler-Niveau von HILBER, 1912, bzw. Hochstradner-Niveau von WINKLER-HERMADEN, 1957). Roterde- und Bohnerzbildungen sowie eine teilweise tiefgründige Zersetzung der Gesteine des Untergrundes geben Zeugnis für das subtropische Klima dieser Zeit.

Das **Hochstradner-Niveau** ist auch im engeren Untersuchungsgebiet in einer Höhenlage zwischen 760 und 720 m SH dominierend und dank des Karstuntergrundes vorzüglich erhalten (MAURIN 1954, 1961, 1975). Hier ist vor allem eine im Durchschnitt einen halben Kilometer breite Talung auf der Hochfläche des Tannebenstockes hervorzuheben. Sie ist an vielen Stellen mit einer, z. T. mehrere Meter mächtigen, stark verlehmteten Schotterflur bedeckt. An der Oberfläche treten fast nur Quarze, Quarzite und kompakte Hornblendeschiefer in einer lehmig-sandigen Matrix auf. Die Korngrößen variieren von Haselnuß- bis Kopfgröße. Daß es sich dabei nicht nur um mehrmals umgelagerte Restschotter handelt, zeigte Mitte der 40er-Jahre ein zwei Meter tiefer Bombentrichter im Wald südlich der Ertlhuber. Im unteren Teil des Trichters war eine Schottergesellschaft mit kristallinen Schiefen und Erstarrungsgesteinen vorhanden, wobei aber die glimmer- und feldspatreichen Gesteine völlig "vermorscht" waren und bei mechanischer Beanspruchung sofort zergrusten. Karbonatgesteinsgerölle fanden sich in diesem beschränkten Aufschluß nicht. Diese komplexe Schottergesellschaft zeigt aber, daß wir zumindest für den westlichen Abschnitt dieser dem Hochstradner-Niveau zugehörigen Verebnungsfläche ein Einzugsgebiet annehmen müssen, das bis in den kristallinen Rahmen des Grazer Berglandes zurückreichte.

Die heutige Oberfläche dieser oberpliozänen Flur ist durch Subrosions- und Denudationsprozesse in flache Wannen und Kuppen von wenigen Metern Höhenunterschied aufgelöst. Auf ihr finden sich zahllose Dolinen von Kleinstformen bis weit über 100 m Durchmesser (VORMAIR 1938, 1940). Viele davon sind mit Schachtzonen verbunden, über die im Laufe der Zeit sicher sehr große Kubaturen der Lockersedimente infolge unterirdischer Erosion in tieferliegende, aktive Horizontalgerinne absackten und in diesen abtransportiert wurden und noch werden. Hier drängt sich die Frage auf, wie weit die Entwicklung solch ausgedehnter Bereiche mit Lösungsdolinen nicht nur von Klima und Zeit abhängig ist, sondern in erster Linie vom Vorhandensein wasserspeichernder klastischer Ablagerungen über einem geklüfteten Untergrund. Zum Hochstradner-Niveau gehören noch ausgedehntere Verebnungsflächen im Trötschgebiet, um den Hochbrand, nördlich des Krienzerkogels, auf der Pöllau zwischen Tannebenstock und Eichberg, an der Südseite des Eichberges sowie im Schieferareal des Semriacher Beckens.

In dieser Zeit bildete sich auch die Grundstruktur des heutigen Gewässernetzes heraus. Die Verebnung am Westrand des Tannebenstockes um die Ertlhuber gehört vielleicht schon einer *Urmur* an. Für die Südostabhänge des Hochtrötsch und für das Semriacher Becken müssen wir einen eigenen N-S gerichteten Entwässerungsstrang annehmen, dem die Hoch-



fläche bei Pöllau (741 m SH) und der seitdem auf 715 m erniedrigte Sattel südlich Semriach zuzurechnen sind. Dieses alte Abflußschema wird heute noch durch den nach SW orientierten Oberlauf des Lurbaches dokumentiert (Fig. 4). Mit dem Hochstradner-Niveau haben wir im Untersuchungsgebiet erstmals eine klar erkennbare Verbindung zwischen Oberflächenmorphologie und unterirdischer Verkarstung. Ein solch ausgeprägtes Verebnungssystem kann sich nur in einer Periode längerer tektonischer Ruhe entwickeln. Dabei kommt es bei einem Kalkuntergrund im Grundwasserbereich unter und seitlich einer Talung zwangsläufig zu einer Karstentwicklung, bei der ein begleitender Karstgrundwasserstrom unter phreatischen Bedingungen zirkuliert. Im Bereich der Tanneben wurde dieser Prozeß sicher durch das reichliche Wasserangebot der Paläomur begünstigt.

Wir können annehmen, daß sich dieses Paläoflußsystem südlich des Tannebenstockes, der ja mit den Feistritzer Felsenwänden noch einen einheitlichen Komplex bildete, im unmittelbar anschließenden Schieferareal rascher eintiefte. Damit kam es aber unweigerlich zu einer Verteilung der Gefällsverhältnisse sowohl obertage als auch im Karstgrundwasserkörper.

Das Auftreten zahlreicher Höhlen im Bereich des westlichen und südlichen Tannebenstockes in einem Höhenintervall zwischen 750 und 680 m SH ist daher verständlich. Bei den meisten Objekten handelt es sich um Schachthöhlen, deren Öffnungen vielfach am Boden von Dolinen liegen, die in einigen Fällen heute einen Zugang zu den alten, unter phreatischen Bedingungen geformten, niveaugebundenen Höhlensystemen ermöglichen. Das eindrucksvollste Beispiel hierfür ist wohl die über 600 m lange Groöhöhle Geßmann-Doline (Kat.-Nr. 2836/6), deren Eingang im Jahre 1889 künstlich erschlossen wurde (WEISSENSTEINER 1966b). Der von Adolf Mayer sen. geöffnete Schacht liegt auf der sogenannten Fuchshalt nordöstlich der Ertlhube, am Boden einer etwa 10 m in die alte Flur des Hochstradner-Niveaus eingesenkten Karsthohlform in 740 m SH. Über Schachtabstiege gelangte man in Horizontalstrecken in etwa 720, 705, 695 und 675 m absoluter Höhe.

Fig. 4: (nebenstehend). Generalisierte hydrogeologische Karte des Lurbachsystems mit Darstellung der hydrographischen Entwicklung seit dem Oberpliozän. Waagrecht strichliert die Hauptabflußrichtungen im Hochstradner-Niveau. Im W, auf der Tanneben, der Verlauf einer "Urmur", im E erfolgt die Entwässerung noch vollkommen oberirdisch, über das heutige Semriacher Becken hinweg, nach S in den Rötschgraben. Im ältesten Quartär beginnt durch Verkarstungsprozesse die Anzapfung und schließlich vollkommene Umlenkung der alten Entwässerungsstränge zum heutigen Murtal.

Legende: 1 u. 2 = Tonschiefer-Schöckelkalk-Fazies: 1 = Grünschiefer, Metadiabase, Phyllite (Passailer Gruppe); Ton-, Kalkschiefer, Quarzite (Arzberg-Schichten); 2 = Schöckelkalk; 3 = Rannach-Fazies: Tonschiefer, Sandsteine, Dolomite, Kalke; 4 = Terrassenschotter des Würm und des Holozän (nur im Murtal ausgeschieden); 5 = Bedeutendere Störungen; 6 = Überschiebungen; 7 = Paläogewässernetz im oberen Pliozän; 8 = aktuelle Karstschwinden; 9 = Begrenzung des derzeitigen Einzugsgebietes des Lurbaches; 10 = rezente unterirdische Abflußrichtungen; E = Eisgrube, HB = Hammerbachquelle, K = Katzenbachschwinde, L = Laurinsquelle, N = Bachschwinde bei Neudorf, S = Schmelzbach, SU = Schmelzbach-Ursprung.

Von letzterem Niveau führt noch ein mit 20 Grad gleichmäßig abfallender, 280 m langer Schichtfugengang bis in 633 m SH. Er stellt bereits die nicht mehr verfolgbare Verbindung zu einem jüngeren, tieferen Karstwasserniveau dar. Obwohl der Eingangsschacht bald wieder verstürzte, können wir uns dank der detaillierten Tagebuchaufzeichnungen und Plandarstellungen, vor allem aber der zahlreichen Zeichnungen, Aquarelle und Gemälde von A. Mayer²⁾ ein ziemlich klares Bild der Genese und späteren Umgestaltung dieser Höhle machen (Fig. 5). Die Geßmann-Doline gibt uns ein gutes Anschauungsbeispiel für den allgemein gültigen Entwicklungszyklus der durch die phasenhafte Tieferlegung der jeweils aktuellen Vorflutniveaus gesteuerten Verkarstung im phreatischen, später semiphreatischen Bereich.

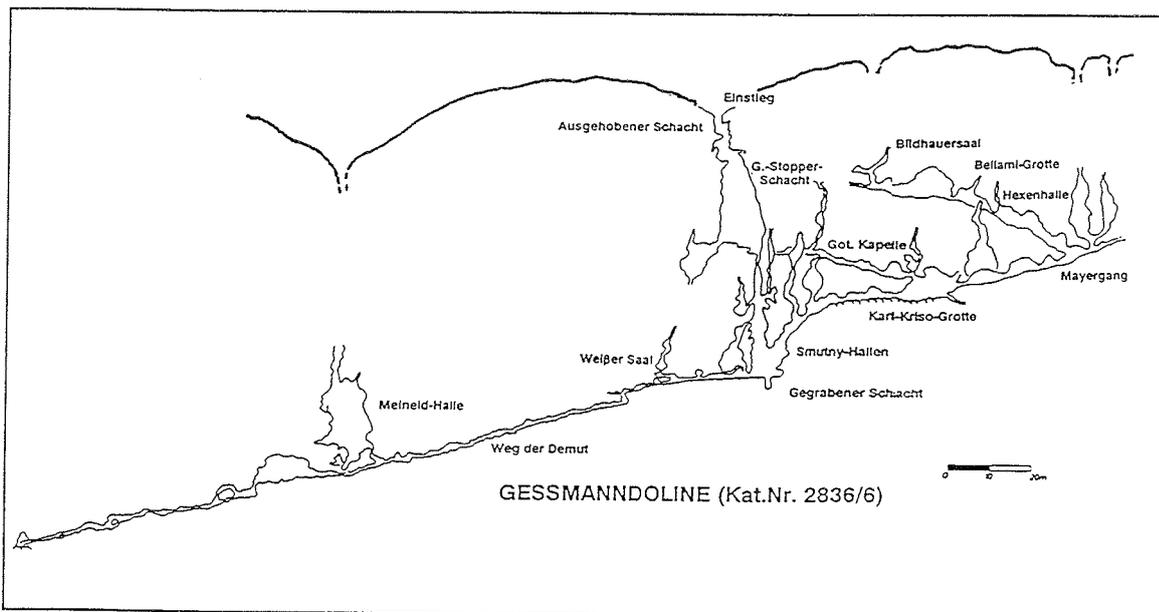


Fig. 5: Schnitt etwa S-N durch die G. W. Geßmann-Doline (Kat.-Nr. 2836/6) in der Fuchshalt auf der Tanneben (Hochstradner-Niveau), Einstieg in 740 m SH. Deutlich ist eine Etagen-gliederung erkennbar. (Umzeichnung nach dem Originalplan 1:250 von MAYER, 1900, im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk., durch WEISSENSTEINER 1966b)

Die Ausbildung einzelner Etagen erfolgte während längerer Ruhepausen im Hebungs- bzw. Eintiefungsprozeß. Nach dem Trockenfallen der einstmals aktiven Karstwasserhorizonte erfolgt die Oberflächenentwässerung über Klüfte und Schlotte bis zum nächsttieferen, temporären Karstwasserniveau. Die nunmehr inaktiven Höhlenetagen werden in der Folge durch eingeschwemmtes Material, Sinterbildungen sowie Verstürze umgestaltet und gehen so dem Verfall entgegen. Die Art der zunächst entstandenen Ablagerungen geben oft Hinweise auf die klimatischen Verhältnisse in diesem Zeitabschnitt. So sprechen als Residuum bei der Kalkverwitterung eingebrachte Roterden (vielfach terra rossa), Manganhydroxydbildungen, Aragonit in Wechsellagerung mit Calcitsinter, sehr grobspätige honiggelbe bis rötliche Calcitsinterdecken und Tropfsteine, wie sie häufig in den höheren Höhlenniveaus des

²⁾ Eine Auswahl dieser Bilder, besonders der eindrucksvollen Tropfsteinformationen, befinden sich im Besitz der Geologischen Abteilung des Steiermärkischen Landesmuseum Joanneum.

Tannebengebietes anzutreffen sind, für wechselnde semiaride bis subtropische Klimaverhältnisse im ausgehenden Pliozän und den wärmeren Abschnitten des Altquartärs. Genauere Untersuchungen der hier angedeuteten Zusammenhänge stehen noch aus, wären aber sehr wünschenswert.

Während zeitweiser, tektonisch gesteuerter Rücksenkungen des Grazer Berglandes gegenüber dem Steirischen Becken oder einer klimatisch bedingten Anhebung des Vorflutniveaus, z.B. durch verstärkte Sedimentation, kam es zu vorübergehenden neuerlichen Inundationen höherliegender Karsthorizonte. Derartige Prozesse waren verschiedentlich mit der Einbringung oft beträchtlicher Sedimentmassen verbunden, die zu einer dauernden oder vorübergehenden Plombierung älterer Karsthohlräume führten. Waren einzelne Partien nur mit langsam zirkulierendem Wasser ganz oder teilweise erfüllt, so konnten sich unter günstigen physiko-chemischen Bedingungen Kristallkammern bilden.

Ein recht interessantes, wenn auch komplexes Fallbeispiel für eine derartige Entwicklung haben wir in der Großhöhle Wildemannloch (Kat.-Nr. 2836/27) am Südrande des Tannebenstockes (BOCK 1913, WEISSENSTEINER 1972b). Den Zugang ermöglicht heute ein Einsturztrichter in 705 m SH auf der Glasererleiten. Über einen 40m-Abstieg gelangt man auf den Boden eines beachtlichen Hohlraumes (80 x 15 m bei 30 m Höhe; Mitternachts- und Mittagsdom), der, wie auch andere Abschnitte dieses Systems, an N-S-Störungen gebunden ist (Fig. 6). Zeitlich läßt sich dieses obere Höhlenniveau dem obersten Pliozän zuordnen. Über Schräg- und Schachtstufen (Brunello-Gang und -Abgrund) gelangt man in einen kleiner dimensionierten Horizont in etwa 620 m SH, der wohl schon dem ältesten Quartär (Zahrerberg-Niveau WINKLER-HERMADENS) zuzuordnen ist. Die tiefste gangbare Fortsetzung des Wildemannloches liegt in etwa 600 m SH.

Diese bedeutende Schachthöhle am Südrande der Tannebenscholle, nahe der Grenze zu den Ton- und Kalkschiefern der Arzberg-Schichten, könnte zeitweise auch als Schlinger für Oberflächenwässer aus dem Bereich Taschen fungiert haben, wie solche auch heute noch am tiefer eingeschnittenen Mitterbach an der Schiefer-Kalk-Grenze vorhanden sind.

Für die Deutung der mehrphasigen Genese des Wildemannloches hat neben der Raumgestaltung und Niveaufixierung der Höhleninhalt große Bedeutung. Im obersten Horizont sind größere Mengen z.T. stärker verfestigter Kristallin-, vorwiegend Quarzitzerölle, vorhanden. Ob sie schon primär bei der Entstehung dieser oberpliozänen Etage abgelagert oder erst später von der Oberfläche her eingebracht wurden, ist schwer zu entscheiden - wahrscheinlich ist aber letzteres der Fall. In der weiteren Folge kam es dann zu einer Regenerierung der höherliegenden Hohlräume und einer Verfrachtung des Schotter-, Kies- und Sandmaterials in tiefere Abschnitte.

In den jüngeren Höhlenhorizonten um 620 m SH und darunter finden sich mächtige Terra-rossa-Ablagerungen, wie sie in dieser Form im Tannebengebiet nur noch aus den höheren Etagen der Semriacher Lurgrotte (Belvedere) bekannt sind. Diese Roterden müssen ebenfalls von außen in die Höhlen eingeschwemmt worden sein - vielleicht während einer Ruhepause im oszillierenden Eintiefungszyklus. Die Calcitkristallrasen an Wänden im Bereich des Brunneloganges könnten auf eine temporäre Inundation zurückzuführen sein.

Zur Zeit des Hochstradner-Niveaus hatten wir bereits ein akzentuiertes Relief, bei dem einzelne Höhenrücken (Hochglaserer, Eichberg u. a.) die örtlichen Vorflutniveaus (Ertlhube, Pöllau) um 100 bis 150 m überragten. In diesem relativ langen stabilen Zeitabschnitt kam es daher sicherlich zu einer weitgehenden unterirdischen Entwässerung dieser Hügelzüge. Es wäre denkbar, daß die erste Anlage der noch heute aktiven Schwinden an der NE-Seite des Eichberges (z.B. Eisgrube, Kat.-Nr. 2836/4, 776 m SH) bereits damals erfolgte. Für eine sehr intensive Verkarstung dieses Berges sprechen auch die großen Dolinen am Eichbergsattel. Einige davon machen den Eindruck alter Einsturztrichter (EHRENREICH 1994 bzw. in diesem Band). Wird nun in einem Fluviokarstgebiet das Vorflutniveau im Unterlauf eines Oberflächengerinnes oder im Bereich eines Nachbarflusses durch erosive oder tektonische Prozesse tiefer gelegt, so kann es durch rückschreitende unterirdische Korrosion und Erosion zu einer Anzapfung und Verlegung des Karstwasserstromes kommen. Die Oberflächengerinne fallen trocken und werden auf einer Karsthochfläche konserviert.

An der Grenze oberstes Pliozän (Astium) / ältestes Pleistozän (Calabrianum) kam es zu einer neuerlichen Belegung der Tiefenerosion und in der Folge zur Ausbildung eines zweigeteilten Flächensystems, das WINKLER-HERMADEN (1957) als **Zahrerberg-** bzw. **Stadelberg-Niveau** bezeichnet. Im Raum Peggau sind Verebnungen mit Roterde und Schotterüberstreuungen im Himmelreich nördlich des Badlgrabens (640 bis 660 m SH), auf der Feistritzer Felsenwand (660 m SH), an der NW-Seite des Tannebenstockes beim Angerleitenkogel (660 bis 680 m SH) sowie an der SW-Seite, im Bereich des Brunngrabens, um 660 m bzw. 620 m SH erhalten. Diese beträchtliche Absenkung des Vorflutniveaus im W ist der Erosionskraft der Mur zuzuschreiben. In derselben Zeit konnten sich aber die kleinen Bäche östlich des Tannebenstockes nur unwesentlich eintiefen. Damit waren die Voraussetzungen für eine Anzapfung der alten, zurückgebliebenen Gerinne sowie für die Umlenkung der Karstentwässerung gegeben.

Die vom Murtal aus nach E in den Tannebenstock eingreifende Drainage muß sehr zügig vorangegangen sein und hat noch im ältesten Pleistozän die Ostgrenze der Schöckelkalkmasse erreicht. Es handelt sich dabei um die bedeutende N-S-Störung, die den Eichberg und den Sockel des Krienzerkogels gegen die Schiefer des Semriacher Beckens absetzt. Damit wurden nun aber auch Teile eines Oberflächengewässernetzes aus dem südlichen Trötschgebiet und dem Schieferareal nördlich von Semriach in das unterirdische

Karstwassersystem einbezogen. Vor allem im hakenförmigen Verlauf des heutigen Lurbaches ist die Anzapfung und Ablenkung dieses früher nach S entwässernden Zubringers des Rötschbaches deutlich erkennbar. Für die zeitliche Einstufung dieses Prozesses ist die Tatsache wichtig, daß die mit pannonischen Schottern bedeckte Schwelle zwischen dem Semriacher Becken und dem heute tief eingeschnittenen Rötschgraben noch in 715 m SH erhalten blieb.

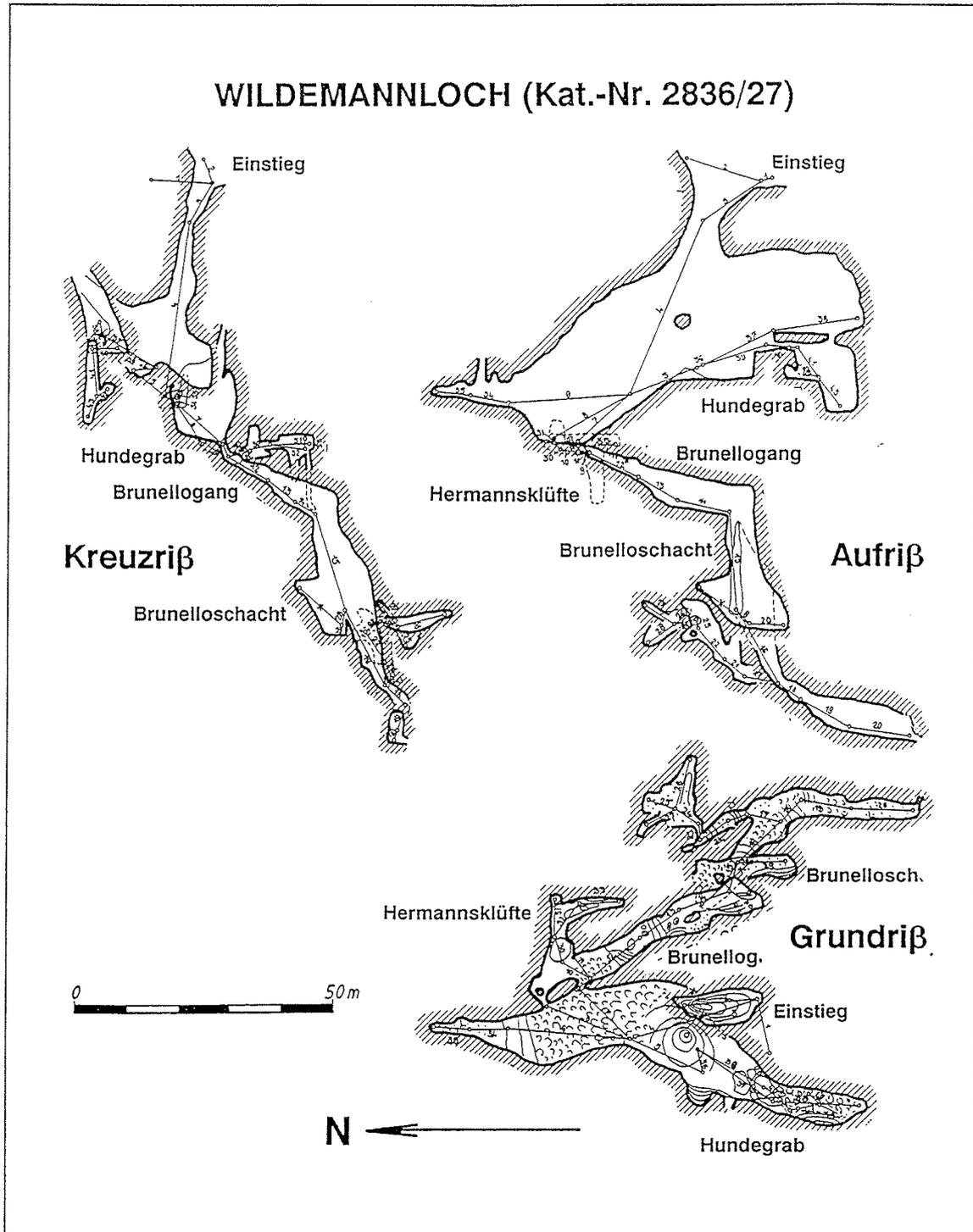


Fig. 6: Das Wildemannloch (Kat.-Nr. 2836/27) auf der Glasererleiten, Tanneben-Südseite, Einstieg 705 m SH. (Umzeichnung des Originalplanes 1:750 von AUSOBSKY, 1932, im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk., durch WEISSENSTEINER 1972b)

Seit dem obersten Pliozän hat aber auch - gesteuert durch die kräftige Eintiefung der Mur - der Badlbach nach E zurückgegriffen und so die Abflüsse aus dem Trötschgebiet an sich gezogen. Ob es auch hier zu einer teilweisen unterirdischen Karstentwässerung kam, läßt sich schwer entscheiden. Hochliegende Höhlenreste, wie z. B. die Holzinger-Höhle (Kat.-Nr. 2837/6, 650 m SH) im SE-Gehänge des Himmelreiches oder auch heute noch aktive Bachschwinden im Baßgraben, sprechen dafür.

Die ältesten noch erkennbaren Lurbachschwinden liegen am Südfuße des Eichberges in 720 m SH. In diesem Bereich ist erst vor wenigen Jahren wieder ein größerer Schacht eingebrochen. Der rezente Unterlauf des Lurbaches passiert bei Pkt. 666 die Kalk-Schiefer-Grenze und fließt noch etwa einen Kilometer in einem z.T. schluchtartigen Abschnitt bis zum Eingang der Lurgrotte (635 m SH). Er folgt hier einer NW-SE streichenden Störungszone und hat sich, wohl erst durch den Verbruch früherer Höhlenstrecken, entwickelt. Einen großartigen Hinweis für diesen Werdegang haben wir in der 60 m hohen, senkrecht aufsteigenden Lurwand über dem heutigen Hauptponor.

Der Verkarstungsprozeß hat in der Zwischenzeit aber noch bedeutend tiefer gegriffen. Der Lurbach verliert ab Pkt. 666 ständig Wasser an den Untergrund und ist verschiedentlich auf dieser Strecke schon völlig versiegt. Daß es sich dabei nicht nur um enge, wasserwegige Spalten handelt, beweist die erst 1990 geglückte Entdeckung und Erschließung der über 600 m langen Großhöhle Blasloch (Kat.-Nr. 2836/229) im Lurkessel.

Ab dem ältesten Quartär ist die Mur in der heutigen, engen Durchbruchsstrecke zwischen dem Frohnleitner Becken und der Ausmündung des Übelbaches festgelegt. Die Karstentwässerung des Tannebenstockes ist nunmehr zur Gänze auf dieses sich kräftig eintiefende Vorflutniveau ausgerichtet. Der schmale Kalkrücken im W des Murtales (Feistritzer Felsenwand) ist von der Gesamtentwicklung abgeschnitten und zeigt, wegen des kleinen eigenen Einzugsgebietes, nur mehr eine bescheidene Verkarstung. Anders die talnahen Schöckelkalkbereiche, vor allem in der Badlenge. Hier machte und macht sich ein bedeutender begleitender Karstgrundwasserstrom in den Flanken und im Taluntergrund bemerkbar. Die zahlreichen hydrisch modellierten, meist als Druckgerinne angelegten Höhlen im Kugelstein, im Bereich der Badlgalerie, aber auch im unteren Badlgraben sowie in der Peggauer Wand gehören hierher. Ob es dabei im Laufe der Entwicklung zu einer zeitweisen vollständigen unterirdischen Entwässerung des Frohnleitner Beckens, wie dies BOCK (1913) postulierte, kam, ist eher fraglich.

Die quartäre Erosionsleistung der Mur ist in diesem Gebiet mit etwa 250 Höhenmetern anzusetzen. Altpleistozäne Verebnungen und Verkarstungshorizonte lassen sich aber nur schwer mit den im Steirischen Becken breit entwickelten Terrassensystemen verknüpfen. Im Raum Badl - Peggau sind Verebnungen zwischen 580 und 500 m SH hierher zu stellen, so am

SW-Hang des Lammkogels, am Himmelreich, oberhalb der Badlgalerie, am Kugelstein sowie am SW-Sporn des Tannebenstockes. Die meisten von ihnen weisen eine kristallingeröllführende Schotterüberstreuung auf. Diese Verebnungs- und Höhlenniveaus wären nach WINKLER-HERMADEN (1955) in seine altquartäre **Obere Terrassengruppe** (Calabrianum bis Günzeiszeit) einzuordnen.

Wichtig ist, daß wir hier das erstmal im Altquartär eine größere Anzahl von hydrisch geformten, primär in der phreatischen Zone entstandenen Horizontalhöhlensystemen auf diese Ebenheiten beziehen können. Ein eindrucksvoller Sonderfall ist das als Auftriebslabyrinth entwickelte Badlhöhlensystem mit der Aragonithöhle (Kat.-Nr. 2836/14, 559 m SH), der Naturbrücke (Kat.-Nr. 2836/15, 557 m SH), der Kleinen Badlhöhle (Kat.-Nr. 2836/16, 536 m SH), der in Etagen gegliederten Großen Badlhöhle (Kat.-Nr. 2836/17, oberer Eingang 547 m SH, unterer Eingang 495 m SH) sowie der am gegenüberliegenden Hang des Badlgrabens in 520 m SH befindlichen Repolusthöhle (Kat.-Nr. 2837/1). Raumgestaltung und Genese dieses Systems fand bereits in MAURIN (1951) eine eingehende Darstellung (Fig. 7).

Auch die zahlreichen Höhlen in den höheren Abschnitten der Peggauer Wand (s. Fig. 2) sind auf diese altpleistozänen Vorflutniveaus ausgerichtet. Wie weit es sich dabei ursprünglich um Karstwasser-Gerinne bzw. -Austritte aus dem Tannebenstock und damit eventuell auch aus dem Semriacher Becken handelt, oder ob auch hier zeitweise ein begleitender Grundwasserstrom der Mur eine Rolle gespielt hat, läßt sich nicht eindeutig entscheiden. KYRLE (1923) berichtet, daß in der Peggauer-Wand-Höhle IV-V-VI (=Große Peggauer-Wand-Höhle, Kat.-Nr. 2836/39, Eingänge zwischen 510 und 518 m SH) anlässlich des Abbaues von Phosphaterde in den östlichen, tagfernen Abschnitten "stark gerollte Schottermassen" angetroffen wurden, desgleichen fanden sich in der Peggauer-Wand-Höhle III (=Kleine Peggauer-Wand-Höhle, Kat.-Nr. 2836/38, 511 m SH) "Geröllschutt sowie ortsfremde Gesteinsstücke". Es ist bemerkenswert, daß bereits WURMBRAND (1871) aus dieser Höhle ortsfremdes Material mit "ganz feinen Körnern verschiedenen Gesteins, selbst Quarzkörner" beschreibt.

Von den mehr als zwei Dutzend Höhlen der Peggauer Wand, die in diese altquartäre Obere Terrassengruppe zu stellen sind, seien nur noch das Weite Maul oder Glaserlucke (Kat.-Nr. 2836/41, 510 m SH) am Süden der Wand und das Pfeilerlabyrinth (Kat.-Nr. 2836/43, 535 m SH, 8 Eingänge) an deren Nordende hervorgehoben. Letzteres ist, gleich der etwa 15 m tiefer liegenden Bienenhöhle (Kat.-Nr. 2836/111, 6 Eingänge), sowie auch zahlreiche andere Objekte des Tannebenstockes, an eine ausgeprägte Bankungsfuge des Schöckelkalkes gebunden. Wie aus den Plandarstellungen und den Raumbeschreibungen im Höhlenkataster (WEISSENSTEINER 1962, 1966a) hervorgeht, sind beide Höhlen an einem sich annähernd senkrecht kreuzenden Kluftsystem ausgerichtet, wobei die Hauptkomponente, dem Verlauf der Peggauer Wand entsprechend, N-S orientiert ist (Fig. 8 u. 9).

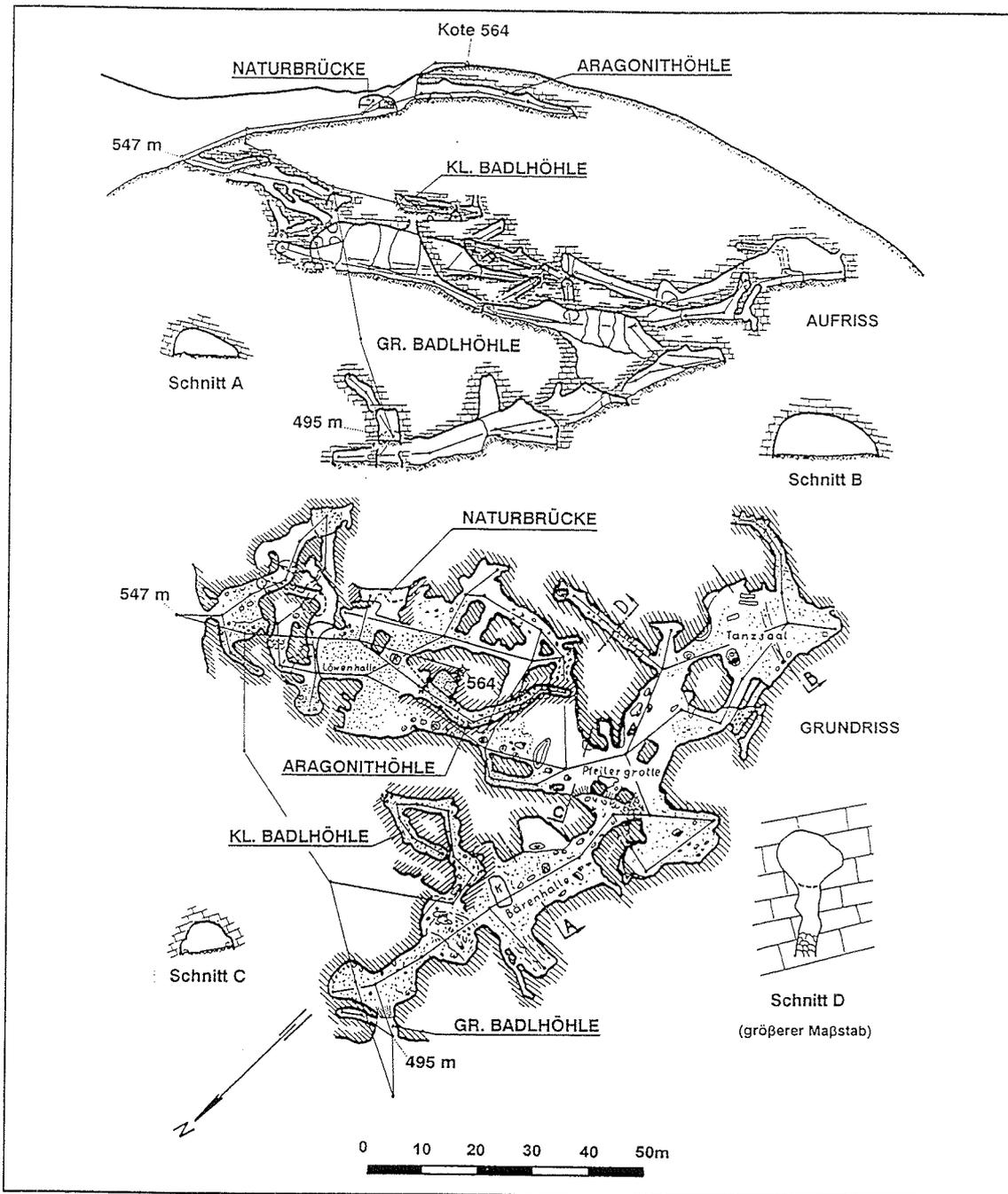


Fig. 7: Das Badlhöhlensystem in den Nordhängen des Tannebenstockes mit der Aragonithöhle (Kat.-Nr. 2836/14), der Kleinen Badlhöhle (Kat.-Nr. 2836/16) und der in Etagen gegliederten Großen Badlhöhle (Kat.-Nr. 2836/17) ist ursprünglich unter phreatischen Bedingungen entstanden und wurde später in mehreren Entwicklungsschritten zerschnitten und umgeformt. Ein von der Pfeilergrotte aufsteigender Gang zeigt mit seinem Schlüsselochprofil (Schnitt D) eindrucksvoll die Umgestaltung einer Efforationsröhre in ein absteigendes Gravitationsgerinne. (Eingemessen und zusammengestellt nach Einzelaufnahmen von GANGL, 1932, im Archiv des Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk., durch MAURIN 1951)

Unter diesem vorgegebenen Trennflächengefüge werden durch einem sich langsam bewegenden Karstgrundwasserstrom die einzelnen Kluffkörper vorwiegend korrosiv zu Pfeilern isoliert. Diese hydrische Modellierung ist in den hinteren Abschnitten beider Höhlensysteme noch gut erkennbar. Die Gangfortsetzungen sind hier durch eingeschwemmten Lehm, Schutt und Sinterbildungen verschlossen. Die tagnahen Bereiche haben vor allem durch Frosteinwirkung eine Veränderung der Felsoberfläche erfahren, ohne daß dadurch die

ursprüngliche Raumgestaltung zerstört worden wäre. Diese beiden Objekte können, neben der Badlhöhle, als Musterbeispiele für unter phreatischen Bedingungen entstandene Höhlensysteme gelten.

Die Niveaus der **Mittleren Terrassengruppe** WINKLER-HERMADENS (Günz-Mindel-Interglazial bis Mindel-Riß-Interglazial) lassen sich auf entsprechende Terrassentreppen im Bereich von Frohnleiten beziehen. Morphologisch sind sie im Abschnitt Peggau - Deutschfeistritz wenig entwickelt. Kleine Verebnungen am Ostsporn des Kugelsteins (450 m SH) und am Feistritzer Kirchberg (473 m SH) sind hier zu nennen, dafür sind aber zahlreiche Höhlen im Murchdurchbruch bei Badl (Kugelstein - Badlwand) und der Peggauer Wand hierher zu stellen.

Die Genese des Murtales zwischen Badl im N und dem Süden der Tannebenscholle seit dem mittleren Pleistozän ist für das Verständnis der Karstentwicklung des gesamten Gebietes von wesentlicher Bedeutung. Wie schon weiter oben dargestellt, kommt es in einem Karstgesteinskomplex unter und seitlich eines Fließgewässers zwangsläufig zur Ausbildung eines begleitenden Karstgrundwasserstromes, in dem sich unter phreatischen Bedingungen ein eigenständiges Röhren- und Labyrinthsystem herausbilden kann. In Flußkrümmungen werden vielfach kürzere Wasserwege entlang der Sehnen der Talmäander geschaffen. So ist die größere Höhlendichte auf der Kugelsteinseite verständlich. Über die mehr als zwei Dutzend Höhlen dieses Bereiches (Kat.-Nr. 2784/1 - 28) liegen ausführliche topographische Beschreibungen von KUSCH (1972, 1989) vor. Einige dieser Höhlen haben ein reiches paläontologisches, vor allem aber vor- und frühgeschichtliches Material geliefert (MOTTL 1953, FUCHS 1989).

Bei einer phasenhaften Tieferlegung des Haupttales können sich während der Haltezeiten auch im Untergrund niveaugebundene Systeme entwickeln. In der Badlengde wurde dies noch durch die meist gut gebankten, relativ flach liegenden Schöckelkalke begünstigt.

Infolge des großen Wasserangebotes im Murtal und der kleinen Fließgeschwindigkeiten im Grundwasserbereich sind die zahlreichen großlumigen Tunnelformen in den heute zugänglichen Höhlenruinen beiderseits des Taldurchbruches leicht erklärlich. An vielen Stellen ist die hydrische Modellierung durch meist flache Großkolke an Decken und Wänden gut erkennbar. Da sich solche Formen aber nur unter völliger Wassererfüllung bilden können, ist damit ihre Entstehung in einem phreatischen Milieu dokumentiert. Bei einer Tieferlegung des Talbodens fallen diese Höhlensysteme trocken, werden an den Talflanken geöffnet und sind damit einer Umgestaltung und schließlich dem Verfall preisgegeben. Einzelne Höhlenstrecken werden zunächst aber noch bei Hochwasser oder zeitweiser Anhebung des Talbodens - z. B. klimatisch bedingter Aufschotterung - als Wasserwege genutzt oder auch über längere Zeitabschnitte wieder inundiert. Efforationsstrecken werden z.T. zu Gravitationsgerinnen

umgeformt, Flußsedimente (Schluff, Sand, Kies) eingebracht. Die endgültig trockengefallenen und zum Tag hin geöffneten Höhlenteile werden durch CO_2 -haltige Sickerwässer und die Luftfeuchtigkeit korrodiert sowie durch Frostsprengung, Verstürze usw. verändert. Durch Sickerwässer eingeschwemmte oder eingewehte Feststoffteilchen tragen ebenfalls zur Verfüllung und damit Zerstörung solcher Hohlräume bei. Alle diese Stadien der Höhlengenesen lassen sich im Murdurchbruch bei Badl modellhaft beobachten. Durch die künstliche Öffnung von Höhlenfragmenten beim Bau der Badlgalerie vor 150 Jahren (z.B. Kolkhöhle, Kat.-Nr. 2836/21, 425 m SH) sind uns auch unverwitterte, im phreatischen Bereich geformte Kolkflächen zugänglich.

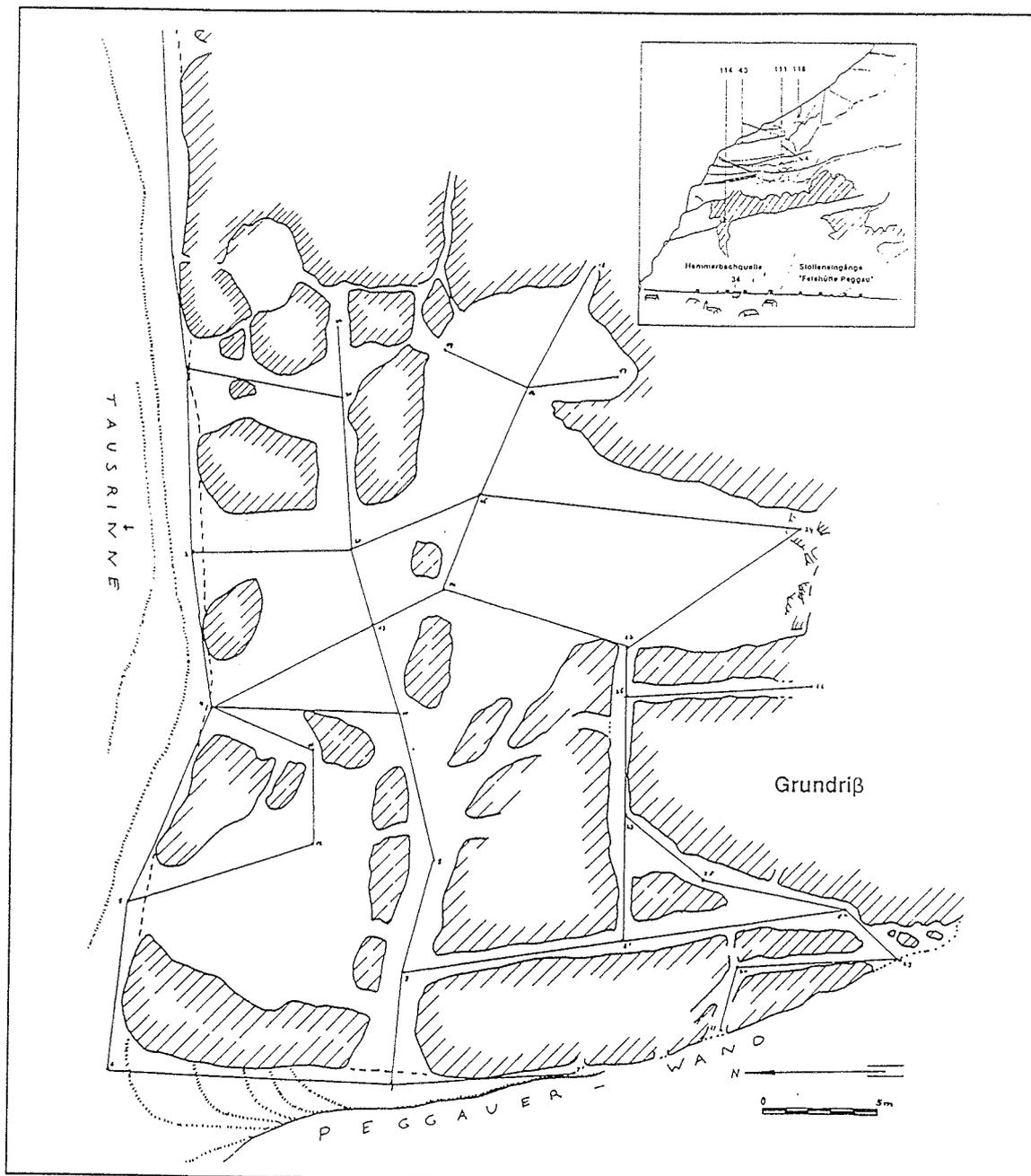


Fig. 8: Pfeilerlabyrinth (Kat.-Nr. 2836/43, 535 m SH).

Im Rahmen der weiteren Entwicklung kam es auch zur Ausbildung von Uferhöhlen, in denen z.T. grobkörnige Schotterbänke erhalten blieben, so z.B. oberhalb der Baldgalerie. Auch im Steinbruch der Peggauer und Wietersdorfer Zementwerke nördlich der Lurgrotte sind in Klüften und Karstschläuchen in etwa 450 bis 460 m SH Murschotter eingelagert, die der Mittleren Terrassengruppe zuzurechnen sind.

In diese mittelpleistozänen Verkarstungsniveaus gehört auch eine größere Anzahl von Horizontalhöhlen und Höhlenresten, so z.B. im Bereich des Kugelsteins die Grabhöhle (Kat.-Nr. 2784/5, 450 m SH) und die Stufengrotte (Kat.-Nr. 2784/6, 442 m SH), oberhalb der Badlgalerie die Einsiedlerhöhle (Kat.-Nr. 2836/20, 440 m SH) und der Büßergang (Kat.-Nr. 2836/88, 460 m SH) oder in der Peggauer Wand die Peggauer-Wand-Höhle I und Ia (Kat.-Nr. 2836/35 u. 36, 465 m SH), um nur einige zu nennen.

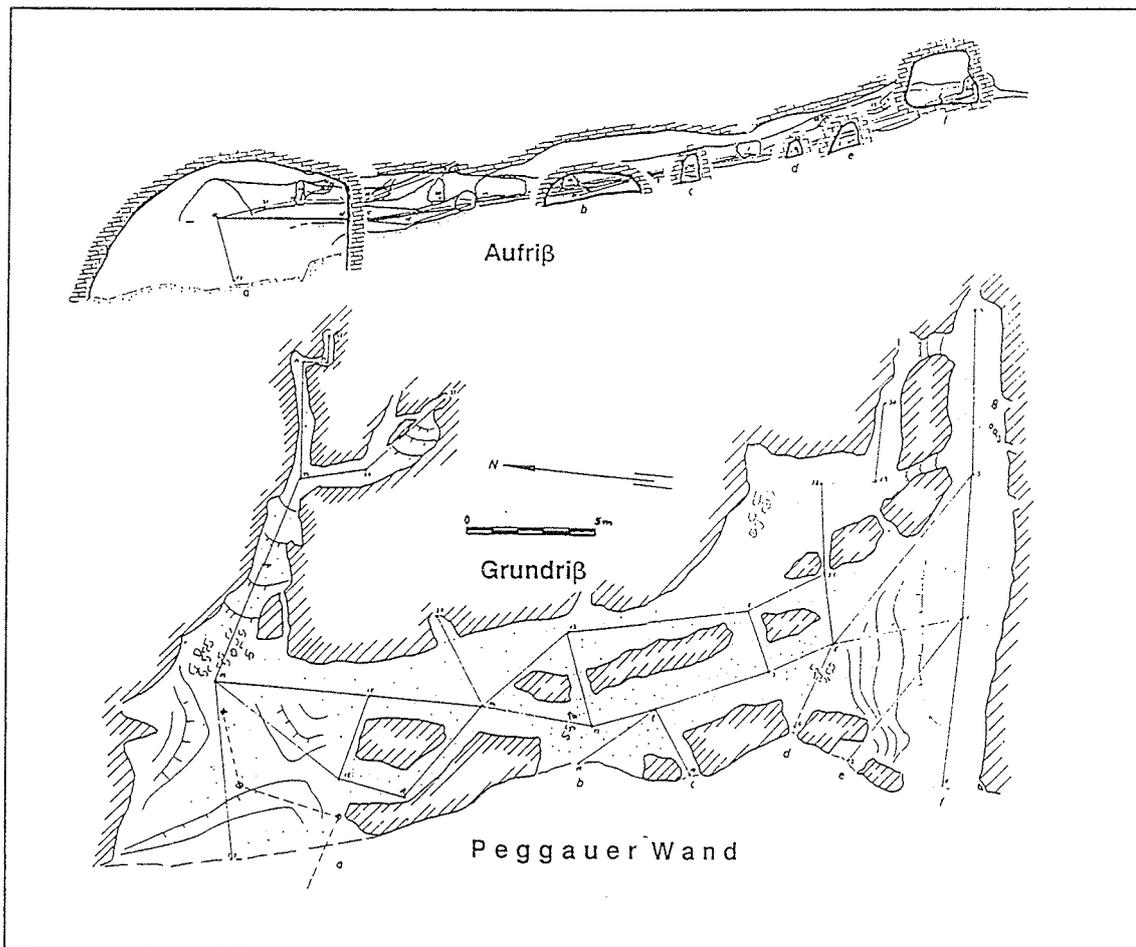


Fig. 9: Bienenhöhle (Kat.-Nr. 2836/111, 520 m SH).

Fig. 8 u. 9 nach Originalplänen 1:100 von WEISSENSTEINER (1962, 1969a) im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk. Beide Höhlen befinden sich am Nordende der Peggauer Wand (s. Fig. 2). Die Konfiguration beider Höhlen ist an Bankungsfugen des Schöckelkalkes sowie an ein ausgeprägtes NS-EW-Kluftsystem gebunden. Es handelt sich hier um charakteristische Beispiele für die Bildung von Pfeilerlabirynthen unter phreatischen Bedingungen.

Die jungpleistozäne **Untere Terrassengruppe** (Riß- bis Würmeiszeit) läßt sich im Frohnleitener, Gratkorner und Grazer Becken gut mit Hilfe z.T. ausgedehnter Terrassenreste mit meist mächtiger Schotterbasis gliedern. Diese jungpleistozäne Talentwicklung greift aber auch noch unter die aktuellen Talböden hinab, sodaß auch das Niveau der heutigen, holozänen Fluren hier mitzubehandeln ist. Im engeren Bereich Peggau - Deutschfeistritz haben wir für den älteren Zeitabschnitt dieser Terrassengruppe (Riß bis Riß-Würm-Interglazial) an der Oberfläche keine nennenswerten Äquivalente. Wohl aber sind einige Höhlen hierherzustellen, so z.B. am Kugelstein (Schlüsselloch, Kat.-Nr. 2784/19, 425 m SH), in der Badlwand (Steinbockhöhle, Kat.-Nr. 2836/23, 435 m SH), im Umkreis der Peggauer Lurgrotte (Josefinenhöhle, Kat.-Nr. 2836/32, 425 m SH) sowie in der Peggauer Wand.

Ein in diesem Zusammenhang besonders interessantes Objekt wurde im Jahre 1944 durch einen in 436 m SH gesprengten Entlüftungsstollen zum 2000 m langen Stollennetz des Projektes "Felshütte Peggau" am Fuße der Peggauer Wand aufgeschlossen (s. Fig. 2). Es handelt sich dabei um mehrere, weitgehend mit Lehm, Sand und Schotter verfüllte Karsträume. Eine bunte Gesellschaft von Kristallingeröllen mit z.T. bis 20 cm Durchmesser, vielfach schon weitgehend "vermorscht", beweist, daß hier während der Rißeiszeit oder des Riß-Würm-Interglazials ein Seitenarm der Mur dieses Karstgerinne durchflossen hat. Die angefahrenen Karstformen liegen bis 80 m hinter der heutigen Wandflucht, direkt über der Hammerbachquelle.

Das Hauptstollensystem liegt in 416 m SH, also im Niveau der Würmterrasse. Durch diese Stollen wurden weitere 30 Karstobjekte (Schlote und Horizontalgänge) aufgefahren (WEISSENSTEINER 1969). Die meisten davon waren mit Lehm verstopft. Ein Karstraum am Ende von Stollen V (170 m östlich des Einganges) war mit sandig-schluffigen, mit Schotter untermengten Sedimenten verfüllt. Dabei handelt es sich um Schiefermaterial aus dem Semriacher Becken.

Wir haben es hier also genetisch mit einem älteren, höheren Horizont des heute 6 m tiefer austretenden Hammerbachgerinnes (Kat.-Nr. 2836/34, 410 m SH) zu tun.

Die Ablagerungen des Würm sind im Raum Peggau - Deutschfeistritz gut dokumentiert. Diese kaltzeitliche Terrassenflur ist am östlichen Talrand von der Badlunge bis unter die Peggauer Wand auf einer Strecke von fast zwei Kilometern Länge und bis maximal 250 m Breite erhalten, an der westlichen Talseite unter der Feistritzer Felsenwand und dem Kirchberg in einer Erstreckung von etwa einem Kilometer und etwas ausgedehnter an der Ostseite des Schartnerkogels. Die z.T. denudierten Oberflächen dieser Schotterterrassen liegen heute zwischen 410 und 420 m SH. In diese Würmterrasse ist eine breite holozäne Flur 10 bis 15 m eingesenkt (s. Fig. 2 u. 3).

Dank einer größeren Zahl von Tiefbohrungen (SEELMEIER 1944) und Baugrundsondierungen³⁾ sowie geophysikalischer Untersuchungen (F. WEBER 1969) läßt sich das präwürmzeitliche Felsrelief im Raum Peggau recht gut erfassen. Wie im übrigen mittleren Murtal haben wir auch hier im Untergrund eine bis etwa 40 m unter die Oberkante der Würmterrasse reichende Tiefenrinne. An den Talrändern wird sie häufig von 10 bis 20 m höher liegenden Felsterrassen begleitet.

Verlauf und laterale Entwicklung der Tiefenrinne selbst ist vielfach vom Gesteinsbestand des Untergrundes abhängig. Entgegen einer früheren Annahme, daß es sich dabei um eine spätwürmzeitliche/frühholozäne Schurfrinne handelt (FLÜGEL 1960a, MAURIN 1960), muß man, aufgrund neuerer Erkenntnisse, vor allem im Grazer Feld, diese Tiefenfurche ins Präwürm stellen.

Die Tiefbohrung IV am Südfuße der Peggauer Wand (Anschlagpunkt 408,0 m) hat nach SEELMEIER in 364,50 m SH paläozoische Schiefer erreicht. Die über 43 m Quartärschotter dieser Bohrung wurden immer wieder angezweifelt, wurden nunmehr aber durch neuere Sondierungen im Bereich Hinterberg wenigstens teilweise bestätigt. Die Bohrung RB22/P am Ostrande dieser Quartärbucht hat 35 m klastisches Material durchörtert und die Schiefer in 376 m SH angefahren, eine weiter westlich niedergebrachte Bohrung (RB20/P) in 371,95 m absoluter Höhe.

Mit diesen Werten lassen sich z.T. auch die Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen vergleichen. F. WEBER (1969) hat in seiner "Reliefkarte des Felsuntergrundes in der Murebene zwischen Peggau und Friesach" ebenfalls eine Tiefenrinne dargestellt, die auf der Höhe der Peggauer Wand und der Bucht von Hinterberg bis etwa 375 m SH hinabreicht. Nach N, zur Badlengge hin, hebt sie aber bis 390 m Seehöhe aus, und nach S, Richtung Friesach, ist sie in mehrere flache Wannen gegliedert. Da es hier im mittleren Murtal keine Gegengefälle geben kann, muß man annehmen, daß schmälere Durchbruchsstrecken bei der angewendeten Methode "überschossen" und damit nicht erfaßt werden konnten. Dafür spricht auch die Tatsache, daß z.B. auf der Höhe zum Südportal des Schartnerkogeltunnels der Pyhmautobahn eine mit etwa 378 m angedeutete Schwelle erst in 370,3 bzw. 369,8 m SH erbohrt wurde. Ebenfalls nicht erkannt wurde die tiefe, weit nach E reichende Ausräumung in der Hinterberger Bucht. Die präwürmzeitliche Mur erodierte hier also einen weitausholenden Talmäander in den Schiefen südlich der Peggauer Wand.

Diese Befunde wurden auch durch spätere refraktionsseismische Untersuchungen im Murtal nördlich der Badlengge (F. WEBER 1976) untermauert: *"Im Meßgebiet Rabenstein ist*

³⁾ Für die Möglichkeit zur Auswertung dieser Unterlagen sei Herrn Univ.-Prof. Dr. W. Gräf (Inst. f. Umweltgeologie u. Angewandte Geographie, Joanneum Research, Graz) sowie Herrn Univ.-Prof. Dr. G. Riedmüller (Inst. f. Techn. Geologie, Petrographie u. Mineralogie, Techn. Univ. Graz) bestens gedankt.

eine Tiefenrinne ausgebildet, in der der paläozoische Untergrund im N von 396 m Sh. bis zum Kugelsteintunnel auf 382 m Sh. absinkt, wobei sich die Rinne im S canyonartig verschmälert. Eine Beziehung zum heutigen Flußverlauf ist nicht gegeben, Ein interessantes Ergebnis zeigt nun der Vergleich der Tiefenlage der Tiefenrinne beiderseits der Badleng: während nördlich derselben unweit von dem Eintritt in die Schlucht ein Wert von ca. 382 m Sh. gemessen wurde, liegt dieser nördlich Peggau anscheinend tiefer." Auch zwischen Kugelstein und Badlwand konnte also die Sohle der Schluchtstrecke mittels geophysikalischer Untersuchungsmethoden nicht erfaßt werden. Eine weitere Unsicherheit ergibt sich hier auch durch die intensive Verkarstung des Untergrundes.

In der kurzen Zeitspanne von knapp 100.000 Jahren seit der ausgehenden Rißeiszeit schürfte die Mur im Bereich Peggau - Deutschfeistritz also eine Rinne bis mindestens 370 m SH aus und verschüttete das Tal in der darauffolgenden Kaltzeit bis etwa 415 bis 420 m Höhe. Im Spätwürm oder im Holozän wurden davon wieder mindestens 15 bis 20 m abgetragen. Wie weit dieser junge Tiefenschurf hinabreichte und wie mächtig daher die holozäne Sedimentdecke ist, läßt sich nicht entscheiden, da Würm- und Holozänschotter voll ident sind. Wie rasch Veränderungen in einem naturbelassenen Talboden vor sich gehen können, zeigen römische und sogar mittelalterliche Fundkomplexe in Peggau, die heute unter ein bis drei Meter Sediment begraben liegen.

Als geologisch junge Ablagerungen sind in diesem Raum noch weitverbreitete kaltzeitliche Löße und Lössande, die vielfach auch in Höhlen eingeweht oder durch Sickerwässer eingeschwemmt wurden, sowie ein würm- oder postwürmzeitlicher Felssturz von der Feistritzer Felsenwand zu vermerken. Von letzterem Ereignis zeugen Felsblöcke von z.T. beachtlichen Dimensionen, die bei der ÖBB- und der Schnellstraße-Brücke den ganzen Talboden bedecken und in der Mur eine Gefällsstufe verursachen.

Unmittelbar mit der Verkarstung in Zusammenhang stehen heute bereits vollständig abgebaute Kalktuffe am ursprünglichen Austritt des Schmelzbaches. Hier waren, zum Unterschied vom Hammerbachursprung, besonders günstige Voraussetzungen für derartige Bildungen gegeben: Der Schmelzbach weist bei Niederwasser Karbonathärten über 12 °dH auf, der Hammerbach zur selben Zeit unter 8 °dH. Die Schmelzbachwässer entsprechen damit weitgehend den Sickerwässern aus dem Tannebenplateau, der Hammerbach dem aus dem Schieferareal des Semriacher Beckens zufließenden Lurbach mit Karbonathärten um 6 °dH (MAURIN & ZÖTL 1959). Für die Ausfällung des gelösten Kalkes sind weiters die Gefällsverhältnisse eines Fließgewässers maßgebend (alter Überlauf des Schmelzbaches 414 m SH, Höhe der holozänen Flur vor der Lurgrotte 406 m), und an der Oberfläche noch die Mitwirkung kalkfällender Wassermoose und Algen, sodaß es zu den rasch wachsenden biogenen Kalktufflagern kommen konnte, die früher einmal als leicht zu bearbeitende Bausteine sehr gesucht waren. Bleibt noch die Frage nach der Entstehungszeit. Als untere

Grenze ist einerseits die postglaziale Denudation der Würmterrasse anzusetzen, andererseits haben regionale Untersuchungen (STIRN 1964) ergeben, daß in Mitteleuropa junge biogene Kalktuffe hauptsächlich während der holozänen Wärmeschwankungen (Atlantikum 5.000-3.000, Subboreal 2.000-1.000 v. Chr.) entstanden sind. Mit dem jüngeren Subatlantikum (bis etwa Chr. Geb.) endet bei uns in der Regel die massive, flächenhafte Kalktuffbildung.⁴⁾

Die Peggauer Lurgrotte (Kat.-Nr. 2836/1b; früher Schmelzhöhle, s. dazu WEISSENSTEINER 1994) ist das einzige Höhlensystem, das uns vom Murtal aus einen Zutritt und damit Einblick in das heutige aktive Karstwasserregime ermöglicht. Der hier austretende Schmelzbach führt bei Niederwasser Sickerwasser aus dem Tannebenstock, bei erhöhter Wasserführung auch Hochwässer des Lurbaches ab (Mittelwasserführung des Schmelzbaches 80 l/s, Hochwasser-Maxima gegen 12 m³/s, s. dazu BENISCHKE & HARUM 1994, BENISCHKE, HARUM & STADLER 1997 in diesem Band). Bis 1914 floß der Bach über die in 414 m SH liegende Schwelle am heutigen Eingang und war auf einer Strecke von etwa 60 m bis zum I. Siphon (in der Peggauer Schmelzhöhle) zugänglich. Erst durch die mühevollen Entwässerungsarbeiten durch Adolf Mayer wurde die weitere Erschließung des Bachlaufes und damit 1924 der Durchbruch zum Semriacher Teil der Lurgrotte ermöglicht. Über diese seit 1906 laufenden Arbeiten gibt SAAR (1922) eine treffende kurze Zusammenfassung. Vor allem liegt diesem ältesten Führer über die Peggauer Lurgrotte ein exakter Höhlenplan bei, der die natürlichen Verhältnisse zu Beginn der Erschließung sehr detailliert wiedergibt. Während der alte Überlauf des Schmelzbaches mit 414 m auf die Höhe der Würmterrasse ausgerichtet war, wurde der Entwässerungsstollen vom Niveau der holozänen Flur aus angeschlagen (406,11 m SH). Er erreicht nach 68 m einen bis zu dieser Höhenmarke mit Sand und Schotter erfüllten Raum. Nach Ausräumung dieser Ablagerungen versperrte nach 40 m der II. Siphon, dessen Tiefgang bis heute nicht erkundet ist, den Weiterweg. Er konnte aber über einen etwa acht Meter ansteigenden Höhlenzug umgangen werden.

Bedeutsam ist, daß sich in diesem höheren Höhlenteil mächtige, alt anmutende, gelbliche Sinterbänke befinden, die heute weitgehend aberodiert sind. Dieser Gangabschnitt muß also über längere Zeit oberhalb des aktiven Karstwasserniveaus gelegen haben, wird aber nunmehr wieder von großen Hochwässern des Lurbaches durchströmt. Auch der IV. Siphon

4) Fanny v. Thinnfeld erwähnt 1872 noch Tuffvorkommen und -abbau vor der Schmelzhöhle (THINNFELD 1872). Die Nutzung dieser Bausteine hat schon sehr früh eingesetzt. Bereits im Mittelalter wurden bearbeitete Tuffwerksteine beim Bau der Burg Peggau sowie an der Peggauer Pfarrkirche verwendet. Renovierungsarbeiten an den Außenwänden dieser Kirche legten 1992 an der Nordseite einen romanischen, aus Tuffstein gehauenen Rundbogen frei. Er ist zur Hälfte von einem davorgesetzten gotischen Strebepfeiler verdeckt. Auch im Mauerwerk der gotischen Nachfolgekirche sind Kalktuffsteine verbaut - zur Zeit ist leider wieder alles verputzt.

Durch die vielseitige jahrhundertelange Wirtschaftstätigkeit im Bereich des heutigen Einganges der Peggauer Lurgrotte sind die ursprünglichen Verhältnisse vollkommen verändert: bis ins 19. Jh. Hüttenbetrieb für den Blei-Zink-Silber-Bergbau mittels Nutzung der Wasserkraft, um 1900 Sägewerk und unmittelbar südlich des Höhleneinganges ein Steinbruch zur Gewinnung von Schöckelkalk, 1914 Anlage des Entwässerungsstollens durch A. Mayer, danach Ausbau zum Schauhöhlenbetrieb.

konnte nur durch eine Übertunnelung, die zum endgültigen Durchbruch führte, bezwungen werden.

Der Höhlenplan von SAAR zeigt außerdem eine ausgesprochene Etagegliederung sowohl im vorderen als auch im inneren Teil der Schmelzhöhle, wobei einzelne, verschieden alte Abschnitte bis über 30 m über dem heutigen Basisniveau liegen. Im vorderen Höhlenbereich führt der sogenannte Dirnbachergang zu einem 445 m hochgelegenen Nebeneingang. Die Entstehung dieses Höhlenteiles könnte noch in das frühe Riß-Würm-Interglazial zurückreichen. Auch auf der langen Strecke bis zum Schmelzbach-Ursprung haben wir verschiedentlich 20 bis 30 m höher verlaufende, z.T. ausgedehntere Etagen (s. dazu Gesamthöhlenplan der Lurgrotte von BOCK & DOLISCHKA 1953).

Der heutige etwa ein Kilometer lange Bachlauf bis zum Ursprung (422 m SH) am Fuße des Blocksberges ist als reines Gravitationsgerinne ausgebildet. Er verläuft durchwegs im Schöckelkalk. Der vom Bachursprung an wesentlich steiler ansteigende Höhlenzug nach Semriach, der heute als Hochwasserüberlauf des Lurbaches fungiert, wird hingegen in seinen Details weitgehend von den stark wechselnden geologischen Verhältnissen bestimmt (s. Fig. 3). Er verläuft über weite Strecken in der Grenzzone Schöckelkalk/Arzberg-Schichten.

Für die Beurteilung des Verkarstungsprozesses im unmittelbaren Einflußbereich des Hauptvorfluters Mur ist aber die Tatsache, daß die talnahen Abschnitte der Lurgrotte unter das Niveau der heutigen holozänen Flur hinabreichen, von großer Bedeutung. Diese wurden im Würm wieder inundiert und bis zur Oberkante der Würmterrasse mit Geschiebematerial verfüllt und noch nicht auf natürliche Weise wieder regeneriert.

Ähnliche Zusammenhänge haben wir auch an der etwa 750 m weiter südlich, am Nordfuße der Peggauer Wand austretenden Hammerbachquelle (Kat.-Nr. 2836/34, 410 m SH). Sie entwässert bei Niedrig- bis Mittelwasser (MQ ca. 190 l/s) den Gesamtabfluß des Lurbaches. Die maximale Schüttung ist mit etwa 2000 l/s begrenzt (s. dazu MAURIN 1952, BATSCHE et al. 1967, ZOJER & ZÖTL 1974, BENISCHKE & HARUM 1994, BENISCHKE, HARUM & STADLER 1997 in diesem Band). Auch diese Karstquelle wird heute noch aus einem Siphon hochgedrückt, hat sich aber bereits etwas in die Würmterrasse (414 m SH) eingeschnitten.

Die Befunde an diesen beiden Vaclusequellen an der Westseite des Tannebenstockes geben uns also deutliche Hinweise, daß der prä- oder intrawürmzeitliche Verkarstungsprozeß im Murtal bereits bis unter die heutige Talsohle gegriffen hat. Über diese tiefliegenden inundierten Karstwege könnten auch heute noch Wässer des Lurbach-Hammerbach-Schmelzbach-Karstaquifers unkontrolliert in das Porengrundwasser des Murtales übertreten. HARUM & STADLER (1992) setzen in einer Bilanzierung hierfür etwa 50 l/s ein.

Die etwas breitere Schilderung dieses jüngsten und daher auch genauer erfaßbaren Zeitabschnittes seit dem Riß-Würm-Interglazial sollte als Anschauungsbeispiel für die oft komplizierten, oszillierenden Entwicklungsschritte der Morphogenese, der Vorflutniveaus und damit auch der darauf fixierten aktiven Verkarstung innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne, von knapp 100.000 Jahren, dienen.

Schwieriger ist die zeitliche Gliederung der morphologischen Entwicklung und damit des Verkarstungsprozesses im R a u m S e m r i a c h. Können wir bis in das obere Pliozän (Hochstradener-Niveau) noch für das gesamte Untersuchungsgebiet eine parallele Entwicklung annehmen, so ändern sich die Verhältnisse mit der im frühesten Pleistozän vom Murtal her rasch nach E zurückgreifenden unterirdischen Karstkorrosion und -erosion. Die ältesten Lurbachschwinden liegen an der Südseite des Eichberges in 720 m SH, der heutige Hauptponor des Lurbaches (Kat.-Nr. 2836/1a) in 635 m SH. Die sich an der Westseite des Tannebenstockes im Murtal auf 350 Höhenmeter erstreckende Entwicklung ist im Bereich des oberirdischen, im Kalkareal verlaufenden Lurbaches auf weniger als 100 Höhenmeter zusammengedrängt.

Etwa fünf bis zehn Meter über dem heutigen Eingang der Lurgrotte liegende Höhlenteile (Tanzboden, Wilde Burg u. a.) können als frühere Schwinden angesehen werden, lassen sich aber altersmäßig schwer einstufen. Wichtig ist, daß im Semriacher Teil der Lurgrotte, im Bereich des Großen Domes, in etwa 640 m SH Fragmente älterer Höhlenhorizonte vorhanden sind (Bärogrotte, Belvedere), die aufgrund ihrer Sinterbildungen, z.T. mit Aragonit, und mächtigen Terra-rossa-Füllungen zeitlich in eine ältere quartäre Warmzeit zu stellen sind. Am unteren Ende des Großen Domes setzt in 600 m SH eine weitere, in ihrer Fortsetzung verstürzte und versinterte Etage an (Tartarus), von der der Geisterschacht in die ca. in 560 m Höhe verlaufende Kaskadenklamm führt und von hier über den "Grazerbalkon" in das Niveau des "Poldi-Fuhrich-Domes". BOCK (1926) publizierte eine sehr instruktive Skizze über diese "Abgründe der Lurgrotte". Alle diese Niveaus hatten früher einmal eine dem jeweiligen Stand des Hauptvorfluters im W entsprechende Fortsetzung. Infolge der starken Eintiefung des Murtales wurden diese Etagen aber durch rückschreitende unterirdische Erosion etappenweise unterfahren. Der Durchbruch erfolgte entweder über Schächte oder über z.T. 50 und mehr Meter hohe Klammstrecken, an deren oberem Ende vielfach noch Rundprofile und teilweise auch noch geschlossene Gangstücke mit Bachschotter erhalten sind.

In jüngerer Zeit hat der Verkarstungsprozess noch bedeutend tiefer gegriffen. Der Lurbach verliert ab Pkt. 666, an der Grenze zwischen Kalk- und Schieferareal, ständig Wasser an den Untergrund und ist verschiedentlich auf dieser Strecke schon völlig versiegt. Daß es sich dabei nicht nur um enge, wasserwegige Spalten handelt, beweist die erst 1990 geglückte Entdeckung und Erschließung der über 600 m langen Großhöhle Blasloch im Lurkessel (Kat.-Nr. 2836/229, KUSCH 1991, 1994). Sie ist stufenförmig gegliedert und weist neben Schacht-

abstiegen großräumige Horizontalstrecken auf, die z.T. 20 m unter dem heutigen Lurgrotten-
eingang liegen. Der tiefste bisher im Blasloch erreichte Punkt befindet sich etwa 50 m unter
dem Niveau des derzeitigen Oberflächengerinnes.

Diese Höhle wird heute bei Normal- und Mittelwasserverhältnissen nicht mehr von den
im Lurbachbett versickernden Wässern erfüllt, das heißt also, daß die vom Murtal
zurückgreifende Drainage des Tannebenstockes schon so weit fortgeschritten ist, daß der
phreatische Karstwasserbereich auch hier im E des Kalkmassives bereits wesentlich tiefer liegt.
Nur bei extremen Hochwasserereignissen, bei denen auch der Lurkessel unter Wasser steht,
wird auch das Blasloch inundiert.

Der weitere Weg der über Sickerstellen im Bachbett sowie der Hauptschwinde im
obersten Teil der Lurgrotte in die Tiefe absinkenden Lurbachwässer ist im Detail nicht bekannt.
Zahlreiche Markierungsversuche (BEHRENS et al. 1992) haben aber gezeigt, daß sie bei
Nieder- und Mittelwasserverhältnissen in erster Linie aus einem phreatischen Sammelbecken
der Hammerbachquelle zufließen. Bei Hochwasserverhältnissen werden in verstärktem Maße
höhere, ältere Karsthorizonte im vadosen Bereich benützt. Wir müssen für beide Zonen ein
umfangreiches, vernetztes Karstsystem annehmen, in dem es im Laufe der Entwicklung zu
wiederholten Malen zu Umlagerungen, Verstopfungen und Reaktivierungen gekommen ist.

Von diesem verzweigten Karstlabyrinth ist uns bis heute nur der begehbare
Hochwasserlauf des Lurbaches zwischen der Semriacher und der Peggauer Lurgrotte zu-
gänglich. Auf dieser Strecke sind alle diese Wechselprozesse gut beobachtbar. So war z. B.
der Verbindungsgang zwischen Lurbachschwinde und dem Großen Dom (Brunello-
gang) über
lange Zeit mit Schotterablagerungen und mächtigen Sinterformationen völlig plombiert und
wurde erst in späterer Zeit wieder ausgeräumt und für das Lurbachhochwasser passierbar. Wie
groß solche Veränderungen sein können, zeigt auch eine, über eine längere Erstreckung
vorhandene, angesinterte Konglomeratbank an der Decke der Westhälfte des Großen Domes in
etwa 640 m SH.

Die aktuelle hydrologische Situation im Lurbach-Hammerbach-Schmelzbach-System
wird von BENISCHKE & HARUM (1994) bzw. von BENISCHKE, HARUM & STADLER (in
diesem Band) dargestellt. Hier sei nur noch kurz auf die derzeitigen hydrographischen
Verhältnisse an der Oberfläche eingegangen. Der aus dem Schieferareal des Semriacher
Beckens kommende Lurbach verliert bereits von der Schiefer-Kalk-Grenze bei Pkt. 666 an
ständig Wasser an den Untergrund. Der Hauptponor lag in den letzten Jahrzehnten etwa 200 m
innerhalb der Höhle. Seit einigen Jahren dominiert bei Niederwasser aber eine neu
aufgetretene Schwinde am linken Bachufer bei der Geschiebesperre, etwa 450 m vor dem
Höhlenportal. Bei extremen Hochwässern (WEISSENSTEINER 1972a) kann der Lurkessel
auch heute noch unter Wasser gesetzt werden.

Außerhalb des Lurkessels (s. Fig. 4) haben wir - abgesehen von der flächenhaften Verteilung zahlloser Versickerungsstellen im gesamten Karstareal - noch aktive Schwinden an der Ostseite des Eichberges (z.B. Eisgrube, Kat.-Nr. 2836/4, Bachschwinde bei Neudorf, Kat.-Nr. 2836/64) und die Katzenbachschwinde (Kat.-Nr. 2836/65) im Reizengraben (s. BOCK 1913, MAURIN & ZÖTL 1959, EHRENREICH 1994 bzw. in diesem Band). Im Baßgraben, so wird der Oberlauf des Badlgrabens bezeichnet, haben wir oberhalb der Einmündung des Mühlgrabens sowie der Abzweigung nach Schönegg Niederwasserschwinden. Eine Untersuchung der subterranean Abflußwege fand hier bisher nicht statt, wäre aber zur besseren Abgrenzung des ober- und unterirdischen Einzugsgebietes des Lurbachsystems sehr wünschenswert. Das gleiche gilt für Schwinden am Südrande des Tannebenstockes im Bereich des Mitterbaches, so z.B. unterhalb des Gehöftes Mitteregger oder oberhalb der Ruine Peggau. Auch hier ist offen, ob diese Wässer wieder dem Mitterbach oder aber der Hammerbachquelle zufließen.

Das K e s s e l f a l l - G e b i e t südlich von Semriach bildet ein kleines in sich geschlossenes, in seiner Genese aber doch mit dem oben ausführlich behandelten Karstareal des Tannebenstockes verknüpftes Objekt. Diese wildromantische Schlucht mit ihren Wasserfällen und tiefen Erosionskolken wurde durch den Steirischen Gebirgsverein im Jahre 1904 erschlossen (COELLN 1911) und ist eines der bedeutendsten Naturdenkmale in der näheren Umgebung von Graz.

Seine Entstehung verdankt der Kesselfall dem Umstand, daß im Störungsbündel des Leberbruches an dieser Stelle Schöckelkalkspäne in die Gesteine der Semriach-Passailer-Schiefermulde eingeklemmt wurden. Beim Leberbruch handelt es sich um eine der Hauptstörungszonen des Grazer Berglandes, die, aus dem Grazer Becken nach N streichend, Hohe Rannach (Rannachdecke) und Schöckelgebiet (Schöckeldecke) trennt und versetzt. Es ist daher verständlich, daß in ihrem Verlauf auch die Schöckelkalke des Kesselfalles tiefgründig eingeschuppt wurden (ob von oben oder unten, sei noch dahingestellt).

Im Oberpliozän (Hochstradner-Niveau, s. Fig. 4) ging die Oberflächenentwässerung aus dem Trötsch-Areal und dem Raum Semriach noch in etwa 750 m SH über das heutige Kesselfallgebiet hinweg. Mit der raschen Eintiefung des Murtales kam es aber seit dem ältesten Pleistozän durch die damit verbundene verstärkte Verkarstung des Tannebenstockes zu einer Anzapfung dieses Entwässerungsstranges und damit verbunden zur Kappung der nördlichen Zubringer. Das alte, breite Paläogerinne wurde nunmehr nur noch von einem kleinen Nebenbächlein, dem heutigen obersten Rötschbach mit etwa 9,5 km² Niederschlagsfläche, alimentiert. Trotzdem kam es vom Murtal her durch rückschreitende Erosion zu einer kräftigen, wenn auch verzögerten Eintiefung und Ausräumung des heutigen Rötsch- und Augrabens (Mur bei Friesach 384 m SH, Kassahäuschen am Ausgang der Kesselfallklamm ca. 560 m SH, dies entspricht einem Gefälle von 2,5%). Hier bildete aber der den Dolomiten und Schieferrn gegenüber widerstandsfähigere Schöckelkalk eine Barriere und führte damit zu der auch heute

noch nicht ausgeglichenen Steilstufe des Kesselfalles (oberes Ende der Klammstrecke bei der Kerschbaumühle 649 m SH, 15 % Gefälle) und im Untergrund zu einem entsprechenden Druckgefälle im Kluftwasserkörper.

Es ist daher naheliegend, daß sich in diesem verkarstungsfreudigen, noch dazu tektonisch aufbereiteten Schöckelkalkkomplex sehr bald eine ausgeprägte unterirdische Entwässerung einstellte. Fast zwei Dutzend Höhlen und Höhlenreste in diesem räumlich beschränkten Areal geben dafür ein beredtes Zeugnis. Einige davon zeigen ausgesprochen hydrische Modellierungen, wie sie sich nur im Grundwasserbereich in der phreatischen Zone entwickeln konnten, da die geringe Wasserführung des Rötschbaches ja nicht ausgereicht hätte, in einem Gravitationsgerinne die relativ großen Profile zu füllen.

Auch in diesem Gebiet läßt sich eine gewisse Höhengliederung erkennen. In ein oberstes, nur mehr in Fragmenten vorhandenes Stockwerk gehören das berühmte Stein- oder Felsentor (Kat.-Nr. 2832/10, 688 m SH) am Westabsturz des Karlstein, dem sogenannten Teesenfelsen und an der Rückseite dieser Felsbastion die "Höhlenruine" (Kat.-Nr. 2832/38, 670 m SH), ein 7 m langer Karstschlauch mit zwei Eingängen. Auch das etwa drei Meter hohe Steintor, das durch exogene Einflüsse schon wesentlich umgeformt wurde, zeigt an seinem westlichen Kämpfer noch Reste primärer Karsthohlformen (Fig. 10). Die nächst tiefer ansetzenden Höhlen sind die Vicogrotte (Kat.-Nr. 2832/26, 663 m SH) und das Windloch auf der rechten Talseite (Kat.-Nr. 2836/31, 658 m SH). Während bei der Vicogrotte die hydrische Formung noch gut erkennbar ist, ist dies beim kleinen Windloch wegen der starken Einwirkung der Verwitterung nur mehr im hinteren Abschnitt der Fall.

Die wichtigsten Höhlen des Kesselfallgebietes, sowohl in speläogenetischer als auch in paläontologischer und archäologischer Sicht, sind die Leopoldinengrotte (Kat.-Nr. 2832/11, 642 m SH), das Wildfrauenloch oder die Frauenhöhle (Kat.-Nr. 2832/15, 600 m SH) und die Nixhöhle oder Hoheggergrotte (Kat.-Nr. 2832/12, 585 m SH). Die beiden letzteren, in geringer Entfernung liegenden Höhlen gehörten einem gemeinsamen System an. Die Nixhöhle gliedert sich in einen 65 m N-S-verlaufenden Horizontaltunnel, der zum Ausgang hin in eine 25 m lange Steilstufe übergeht. Diese ist, wie der Kesselfall an der Oberfläche, in eine Kolkterappe gegliedert, wobei die untersten Kessel bis 5 m Durchmesser aufweisen.

Die zeitliche Einstufung der einzelnen Horizontalhöhlen im Bereich des Karlstein ist insofern schwierig, als wir hier nicht unmittelbar an die Terrassengliederung des Murtales anknüpfen können. Sicher ist aber auch die Eintiefung des Rötschgrabens, in Abhängigkeit vom Geschehen im Haupttale, eine phasenhafte gewesen. Fest steht nur, daß die letztgenannten Höhlen in etwa 600 m SH im Jungpleistozän bereits geöffnet waren, da sie reichlich, wärmzeitliches fossiles Knochenmaterial geliefert haben.

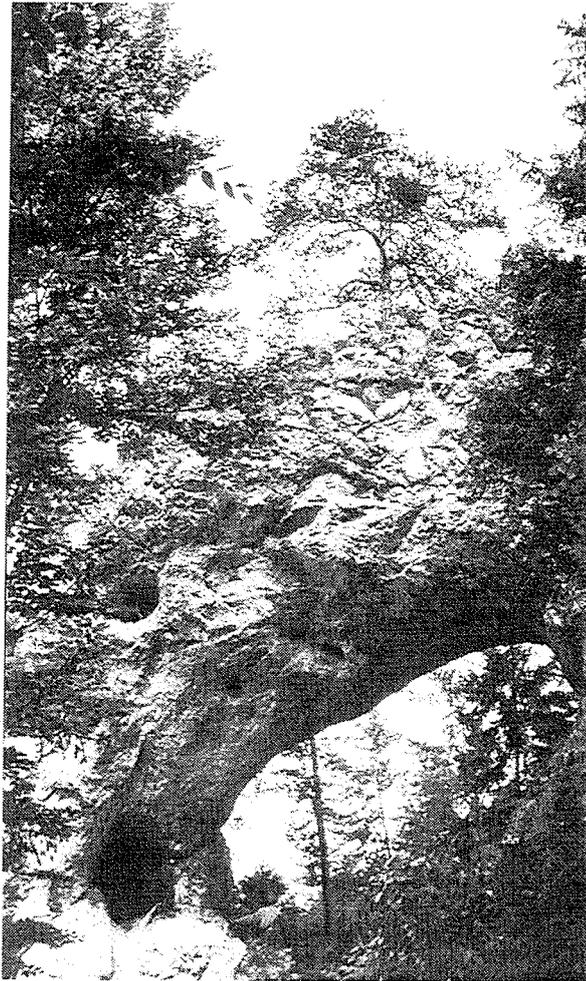


Fig. 10: Das Stein- oder Felsentor (Kat.-Nr. 2832/10, 688 m SH) am Westabsturz des Karlstein im Kesselfallgebiet (Foto: Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.).

Ob es im Laufe der Entwicklung zeitweise zu einer vollständigen unterirdischen Entwässerung des obersten Rötschgrabens, oberhalb der Kerschbaumühle, gekommen ist, läßt sich nicht entscheiden. Hierfür wären noch spezielle Untersuchungen erforderlich. Daß der Bach aber auch heute noch Wasser an den Untergrund verliert, zeigt eine Schwinde am rechten Steilufer unterhalb des großen Wasserfalles. Auch der Abfluß dieser Schwinde ist noch nicht untersucht. Abschließend sei noch festgehalten, daß dieses kleine, so romantische Karstareal des Karlstein mit dem Kesselfall und seinen Höhlen bereits eine umfangreiche und vielfältige Bearbeitung erfahren hat. Hier seien nur die wichtigsten Publikationen erwähnt: BOCK 1913, LÄMMERMAYR 1918, MOTTTL 1950, 1975, MAURIN 1953c, KUSCH 1974 u. a.

4. LITERATUR UND UNTERLAGEN

- BATSCHKE, H., F. BAUER, H. BEHRENS, K. BUCHTELA, F. HRIBAR, W. KÄSS, G. KNUTSSON, J. MAIRHOFER, V. MAURIN, H. MOSER, F. NEUMAIER, L. OSTANEK, V. RAJNER, W. RAUERT, H. SAGL, W. A. SCHNITZER & J. ZÖTL (1967): Vergleichende Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **18/19**, 331-403, Graz.
- BEHRENS, H., R. BENISCHKE, M. BRICELJ, T. HARUM, W. KÄSS, G. KOSI, H.P. LEDITZKY, CH. LEIBUNDGUT, P. MALOSZEWSKI, V. MAURIN, V. RAJNER, D. RANK, B. REICHERT, H. STADLER, W. STICHLER, P. TRIMBORN, H. ZOJER & M. ZUPAN (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria).- In: ATH (1992): Transport Phenomena in Different Aquifers (Investigations 1987-1992), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 9-158, Graz.
- BENISCHKE, R. & T. HARUM (1994): Zur Hydrologie und Hydrogeologie des Gebietes Peggau-Tanneben-Semriach.- In: R. BENISCHKE, H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 143-181, Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM & H. STADLER (1997): Zur Hydrologie und Hydrogeologie des Gebietes Peggau-Tanneben-Semriach.- Berichte d. wasserwirtschaftl. Planung, **80**, 47-89, Graz. (in diesem Band)
- BOCK, H. (1913): Charakter des mittelsteirischen Karstes.- Mitt. Höhlenk., **6** (4), 5-19, Graz.
- BOCK, H. (1917): Der Korallenfundpunkt im Lurloch bei Semriach.- Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont., **1917**, 137-138, Stuttgart.
- BOCK, H. (1926): Die Abgründe in der Lurgrotte bei Semriach.- Mitt. ü. Höhlen- und Karstforschung, **1926**, 70-72, Berlin.
- BOCK, H. (1928): Das Lurloch in der Steiermark.- Mitt. ü. Höhlen- und Karstforschung, **1928**, 65-81, Berlin.
- BOCK, H. & A. DOLISCHKA (1953): Plan der Lurgrotte Peggau - Semriach, M = 1:2.500, Graz.
- COELLN, E. (1911): Das Buch vom Schöckel.- 158 S., Graz.
- EBNER, F. (1983): Erläuterungen zur geologischen Basiskarte 1:50.000 der Naturraumpotentialkarte "Mittleres Murta".- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **29**, 99-131, Wien.
- EBNER, F. & L. WEBER (1978): Die geologisch-tektonischen Verhältnisse zwischen Tannebenstock und Rötschgraben (Grazer Paläozoikum).- Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **108**, 95-113, Graz.
- EHRENREICH, H. (1994): Die Oberflächenkarsterscheinungen des Eichberg bei Semriach.- In: R. BENISCHKE, H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 143-181, Graz.
- EHRENREICH, H. (1997): Die Oberflächenkarsterscheinungen des Eichberg bei Semriach.- Ber. d. wasserwirtschaftl. Planung, **80**, 43-45, Graz. (in diesem Band)
- FLÜGEL, H. W. (1960a): Die jungquartäre Entwicklung des Grazer Feldes (Steiermark).- Mitt. Österr. Geogr. Ges., **102**, 52-64, Wien.
- FLÜGEL, H. W. (1960b): Geologische Wanderkarte des Grazer Berglandes 1: 100.000.- Geol. B.-A., Wien.
- FLÜGEL, H. W. (1975): Die Geologie des Grazer Berglandes. 2. Aufl.- Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, SH 1, 288 S., Graz.
- FLÜGEL, H. W., V. MAURIN & K. NEBERT (1952): Zur Altersfrage von Schöckelkalk und Grenzphyllit im Grazer Paläozoikum.- Verh. Geol. B.-A., **1952**, 129-142, Wien.
- FLÜGEL, H. W. & F. NEUBAUER (1984): Steiermark. Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1: 200.000.- Geol. d. Österr. Bundesländer, 127 S., Wien.
- FRITZ, H. (1986): Zur Geologie des nordwestlichen Grazer Paläozoikums (im Bereich Schartnerkogel-Parmaseggkogel).- Unpubl. Diss., Univ. Graz, 209 S., Graz.
- FRITZ, H. (1991): Stratigraphie, Fazies und Tektonik im nordwestlichen Grazer Paläozoikum (Ostalpen).- Jb. Geol. B.-A., **134**, 227-255, Wien.
- FUCHS, G. (1989): Höhlenfundplätze im Raum Peggau-Deutschfeistritz, Steiermark, Österreich.- B.A.R. Internat. Series 510, 326 S., Oxford.
- HARUM, T. & H. STADLER (1992): Hydrologic and Climatologic Conditions.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau-Tanneben-Semriach, Austria).- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 34-49, Graz.
- HAUSER, A. & H. URREGG (1949): Die Kalke, Marmore und Dolomite Steiermarks. 1. Teil: Allgemeines und der Schöckelkalk.- Die bautechn. nutz. Gest. Stmk., H. 3, 48 S., Graz.
- HERITSCH, F. & R. SCHWINNER (1932): Versteinerungen aus dem Schöckelkalk.- Verh. Geol. B.-A., **1932**, 149-152, Wien.
- HILBER, V. (1912): Taltreppe.- 50 S., Graz.
- KUSCH, H. (1972): Die Höhlen im Kugelstein bei Peggau (Steiermark).- Die Höhle, **23** (4), 145-157, Wien.
- KUSCH, H. (1974): Neue Höhlen im Karlstal bei Semriach.- Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk., **3** (3), 169-171, Graz.
- KUSCH, H. (1989): Die Kugelsteinhöhlen im Murta bei Peggau.- In: G. FUCHS (1989): Höhlenfundplätze im Raum Peggau-Deutschfeistritz, Steiermark, Österreich.- B.A.R. Internat. Series 510, 33-57, Oxford.

- KUSCH, H. (1991): Das Blasloch (Kat.-Nr. 2836/229) im Tannebenstock bei Semriach (Steiermark).- Die Höhle, **42** (1), 1-4, Wien.
- KUSCH, H. (1994): Das Blasloch (Kat.-Nr. 2836/229) bei Semriach, Steiermark.- In: R. BENISCHKE, H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 63-79, Graz.
- KYRLE, G. (1923): Grundriß der theoretischen Speläologie. III. Höhlen in der Peggauer Wand.- Speläolog. Monographien, I, 230-251, Wien.
- LÄMMERMAYR, L. (1918): Die grüne Vegetation steirischer Höhlen.- Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **54**, 53-88, Graz.
- MAURIN, V. (1951): Topographie und Geologie des Badlhöhlsystems.- Arch. Aust., **8**, 2-15, Wien.
- MAURIN, V. (1952): Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Lurhöhlensystems.- Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **81/82**, 169-180, Graz.
- MAURIN, V. (1953a): Über jüngste Bewegungen im Grazer Paläozoikum.- Verh. Geol. B.-A., **1953**, 216-220, Wien.
- MAURIN, V. (1953b): Die geologischen Verhältnisse im Raum zwischen Deutschfeistritz und Semriach.- Unpubl. Phil. Diss., Univ. Graz, 117 S., Graz.
- MAURIN, V. (1953c): Das Peggauer Höhlengebiet.- In: Landesver. f. Höhlenkunde i. Stmk. & Lurgrottenges. (1953): Die Lurgrotte. Eine Schauhöhle zwischen Semriach und Peggau in Steiermark, 16-18, Graz.
- MAURIN, V. (1954): Das Paläozoikum im Raum zwischen Deutschfeistritz und Semriach.- Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **84**, 81-102, Graz.
- MAURIN, V. (1960): Hydrogeologische Untersuchungen im Grazer Bergland und deren Wert für die Versorgungswasserwirtschaft.- Habil.-Schr. T.H. Graz, 240 S., Graz.
- MAURIN, V. (1961): Hydrogeologie und Verkarstung.- In: H.W. FLÜGEL (1961): Die Geologie des Grazer Berglandes.- Mitt. Museum Bergbau, Geol. u. Techn. Landesmuseum. Joanneum, **23**, 173-195, Graz.
- MAURIN, V. (1975): Hydrogeologie und Verkarstung.- In: H.W. Flügel (1975): Die Geologie des Grazer Berglandes.- Erl. geol. Wanderkarte Grazer Bergland, Geol. B.-A., 223-269, Wien.
- MAURIN, V. (1992): Geology.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau-Tanneben-Semriach, Austria).- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 15-22, Graz.
- MAURIN, V. & R. BENISCHKE (1992): Morphogeny, Paleohydrography and Karst Development.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau-Tanneben-Semriach, Austria).- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 22-33, Graz.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1959): Die Untersuchungen der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **10/11**, 184 S., Graz.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1969): Kartenblatt 11: Hauptverkarstungsgebiete der Steiermark, 1:120.000.- In: Atlas d. Stmk., Graz.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1973): Hydrogeologie und Verkarstung der Steiermark (Kartenblatt 10). Hauptverkarstungsgebiete der Steiermark (Kartenblatt 11).- In: Erl. z. Atlas d. Stmk., 57-77, Graz.
- MOTTL, M. (1950): Die pleistozäne Säugetierfauna des Frauenloches im Rötschgraben bei Stübing.- Verh. Geol. B.-A., **1947**, 94-120, Wien.
- MOTTL, M. (1953): Eiszeitforschungen des Joanneums in Höhlen der Steiermark. 2. Die Erforschung der Höhlen.- Mitt. Museum Bergbau, Geol. u. Techn. Landesmuseum Joanneum, **11**, 14-58, Graz.
- SAAR, R. (1922): Die Lurhöhle bei Peggau in der Steiermark.- Österr. Höhlenführer, Bd. III, 23 S., 1 Höhlenplan 1:500, Wien.
- SCHWINNER, R. (1925): Das Bergland nordöstlich von Graz.- Sitzungsber. Akad. Wiss. in Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I, **134**, 219-276, Wien.
- SEELMEIER, H. (1944): Beitrag zur Geologie des erzführenden Paläozoikums der Umgebung von Peggau-Deutschfeistritz bei Graz.- Ber. d. Reichsst. f. Bodenf., **1944**, 1-25, Wien.
- STIRN, A. (1964): Kalktuffvorkommen und Kalktufftypen der Schwäbischen Alb.- Abh. Karst- u. Höhlenkd., Reihe E, H.1, 92 S., München.
- THINNFELD, F. (1872): Die Peggauer Bäche.- Grazer Tagespost, (ad 231), Graz.
- TSCHELAUT, W. (1985): Über das Alter der Arzbergschichten und der Blei-Zink-Vererzungen im Grazer Paläozoikum.- Jb. Geol. B.-A., **128**, 241-243, Wien.
- URREGG, H. (1942): Chemisch-petrographisch-technische Untersuchungen an Schöckelkalken (Steiermark), II. Teil. Mechanisch-technische Versuchsergebnisse dreier Schöckelkalke.- Centralbl. Mineral., Geol. u. Paläont., A, 94-106, Stuttgart.
- VORMAIR, F. (1938): Studien im mittelsteirischen Karst.- Unpubl. Phil. Diss., Univ. Graz, 120 S., Graz.
- VORMAIR, F. (1940): Die Dolinenwelt des mittelsteirischen Karstes.- Zeitschr. f. Geomorph., A.F., **11**, 123-150, Berlin.
- WEBER, F. (1969): Die refraktionsseismischen Messungen im Murtal zwischen Peggau und Eggenfeld (Mittelsteiermark) und ihre Bedeutung für die hydrogeologische Erforschung der quartären Schotterbecken.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **21**, 5-25, Graz.
- WEBER, F. (1976): Beiträge zur Anwendung geophysikalischer Methoden bei Problemen der Angewandten Geologie.- Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, **36**, 48 S., Graz.

- WEBER, L. (1990): Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen.- Arch f. Lagerstättenforschung Geol. B.-A., **12**, 289 S., Wien.
- WEISSENSTEINER, V. (1962): Tourenbericht im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.
- WEISSENSTEINER, V. (1966a): Tourenbericht im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.
- WEISSENSTEINER, V. (1966b): Die G. W. Geßmann-Doline auf der Tanneben bei Peggau (Steiermark), Kataster-Nr. 2836/6.- Die Höhle, **17** (2), 44-48, Wien.
- WEISSENSTEINER, V. (1969): Der Hammerbach bei Peggau (Steiermark, Kat.-Nr. 2836/34).- Die Höhle, **20** (4), 113-123, Wien.
- WEISSENSTEINER, V. (1972a): Die Hochwässer im Frühjahr und Frühsommer 1972 in der Lurgrotte.- Die Höhle **23** (3), 112-113, Wien
- WEISSENSTEINER, V. (1972b): Das Wildemannloch bei Peggau (Steiermark).- Die Höhle, **23** (4), 135-144, Wien.
- WEISSENSTEINER, V. (1994): Zur Kenntnis der Lurgrotte vor der Entdeckung 1894.- In: R. BENISCHKE, H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 5-36, Graz.
- WINKLER-HERMADEN, A. (1955): Ergebnisse und Probleme der quartären Entwicklungs-geschichte am östlichen Alpensaum außerhalb der Vereisungsgebiete.- Denkschr. Österr. Akad. d. Wiss., math.-naturwiss. Kl., **110**, Abh., 180 S., Wien.
- WINKLER-HERMADEN, A. (1957): Geologisches Kräftespiel und Landformung.- 822 S., Wien.
- WURMBRAND, G. (1871): Über die Höhlen und Grotten in dem Kalkgebirge bei Peggau.- Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **2**, 407-428, Graz.
- ZOJER, H. & J. ZÖTL (1974): Die Bedeutung von Isotopenmessungen im Rahmen kombinierter Karstwasseruntersuchungen dargestellt an einem Beispiel aus dem Mittelsteirischen Karst.- Österr. Wasserwirtschaft, **26**, 62-70, Wien.

DIE OBERFLÄCHENKARSTERSCHEINUNGEN DES EICHBERG BEI SEMRIACH

H. EHRENREICH ¹⁾
(mit 1 Fig.)

Der Eichberg (891m) liegt rund zwei Kilometer nordwestlich des Ortskernes von Semriach und zur Gänze im Semriacher Becken, dem Einzugsgebiet der Lurgrotte.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Bestandsaufnahme aller mit dem Karst am Eichberg in Verbindung stehenden Erscheinungen an der Oberfläche wie Dolinen, Höhlen, Quellen und Schwinden zu erstellen (Fig. 1). Die Basis zu dieser Bestandsaufnahme ist die Österreichische Karte 1:25.000, Blatt 164/1, Ausgabe I.57, des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Wien. Als Abgrenzung von Dolinen und besonders Schwinden, wurde das oberirdische Wassereinzugsgebiet angenommen. Die Dolinentiefe ergibt sich aus der Differenz zwischen tiefstem Dolinenrand und der tiefsten Stelle des Dolinenbodens. Eine Übersicht bietet Tab. 1. Die Abgrenzung des Arbeitsgebietes beginnt im Süden an der Straße bei der Kote 720, führt über den "Lurpeter" nach "Pöllau" im Westen, von dort durch den "Reizengraben" nach Norden bis zum "Häuserl im Wald", nach Osten die "Eisgrube" einschließend, bis nach Neudorf, von hier dann zum Ausgangspunkt, zur Kote 720, im Süden zurück.

Der Eichberg zeigt sich arm an begehbaren Höhlen und ist wahrscheinlich aus diesem Grund immer im Schatten von Lurgrotte und Tanneben gestanden. Sicher ist aber, daß der Karst der Tanneben nicht ohne Eichberg und die rundum liegenden Schwinden gesehen werden kann.

Bei der Begehung des Geländes und der fortschreitenden Aufnahme der Karsterscheinungen hat sich herausgestellt, daß die momentan gebräuchliche Definition "Doline" nicht ausreicht. Ein Beispiel dazu sind Hohlformen an Hängen, die talseitig offen sind, also keine im strengen Sinn rundum geschlossene Doline darstellen. Diese offenen Dolinen treten fallweise in einer Reihe auf und sind dann manchmal mit geschlossenen Dolinen vermischt. Da solche Reihen oder auch einzelne Dolinen nicht immer in die der obertägigen Entwässerung dienenden und von deren Wässern geformten Grabenstrukturen einzuordnen sind, muß wohl von einer eigenen Form oder Abart der Doline gesprochen werden.

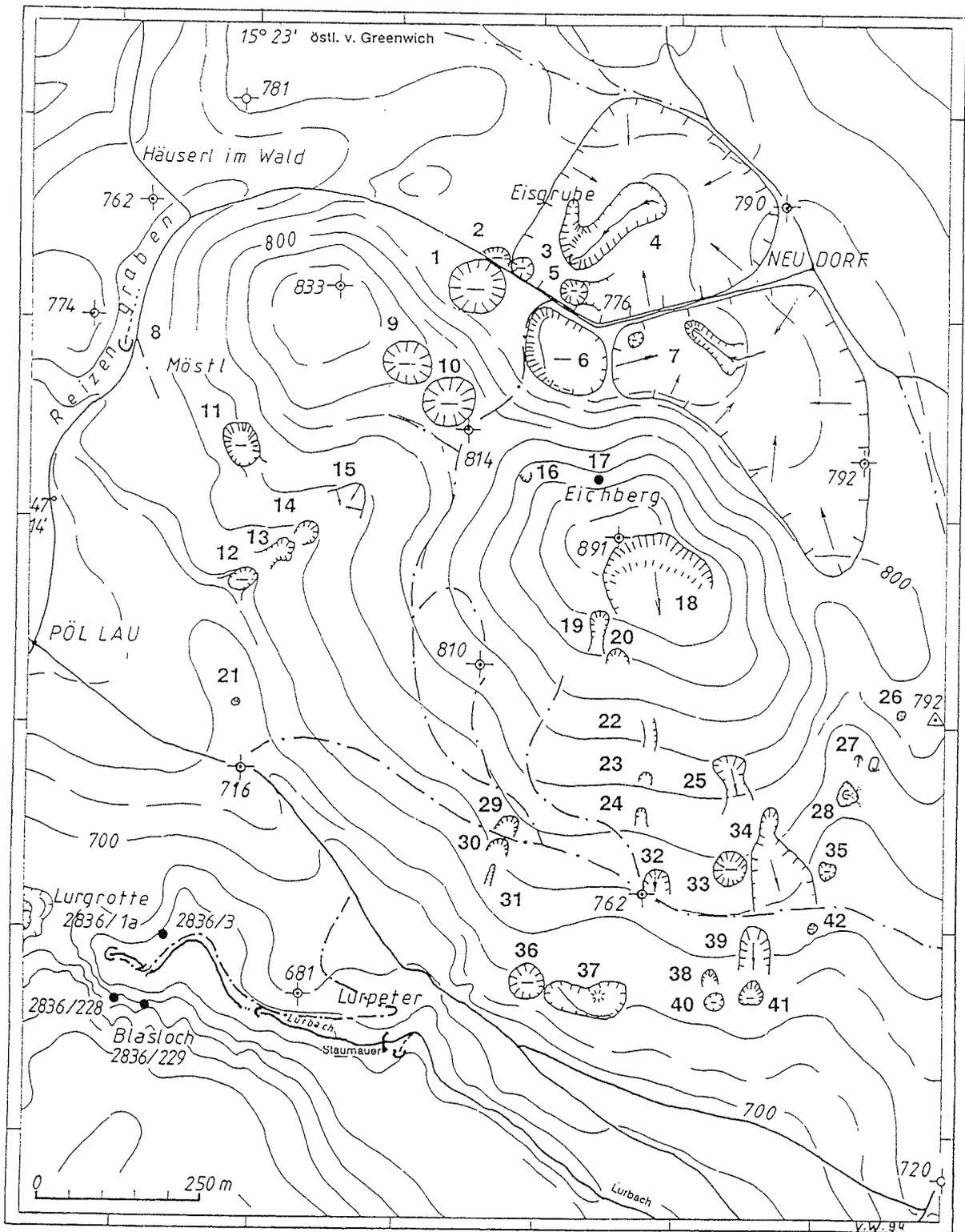
Weiters sind bei den Begehungen, außer den gesuchten Karsterscheinungen, einige von Menschenhand vorgenommene Oberflächenveränderungen aufgefallen. Zum Einen handelt es sich dabei um ringförmige Anhäufungen von Bruchsteinen, möglicherweise Ruinen primitiver

¹⁾ Helmut Ehrenreich, A-8114 Kleinstübing 56, Austria.

Kalkbrennöfen, insgesamt elf Objekte mit Durchmesser von ca. drei bis fünf Metern. Weiters wurden drei Reste von aufgelassenen Kohlenmeilern mit rechteckigem und einer mit rundem Grundriß gefunden. Zwei Hügel, deren Untersuchung noch aussteht, sind ebenfalls festgestellt worden.

Tab. 1: Übersicht der Oberflächenkarstformen des Eichberges.

Nr.	Durchmesser	Breite	Länge	Tiefe	Seehöhe	Art	Kurzbeschreibung	Kat.-Nr.
1	80	-	-	0,5	780	Doline	Sehr flache Senke.	
2	40	-	-	-	780	Doline	An zwei Seiten offen, durch Steinbruch verfälscht ?	
3	40	-	-	-	780	Doline	Sehr flache Senke.	
4	-	320	370	35,0	775	Schwinde	"Eisgrube", dauernd aktiv, am Dolinenrand entspringender Bach.	2836/4
5	-	40	45	1,0	775	Doline	Niedere Schwelle nach Osten.	
6	-	100	130	1,5	772	Doline	Flache Senke.	
7	-	130	440	25,0	775	Schwinde	"Bachschwinde bei Neudorf".	2836/64
8	2	-	-	2,0	740	Schwinde	"Katzenbachschwinde".	2836/65
9	73	-	-	20,0	814	Doline	Ca. kreisrund.	
10	80	-	-	25,0	814	Doline	Ca. kreisrund.	
11	69	-	-	1,0	780	Doline	Am Hang, Dolinenrand ungleich hoch.	
12	-	30	50	0,5	735	Doline	Talseitig sehr niedere Schwelle.	
13	-	25	50	-	750	Doline	Talseitig offen.	
14	40	-	-	-	758	Doline	Ca. kreisrund, talseitig offen.	
15	-	70	70	-	780	Doline	Stark geneigter Boden, talseitig offen.	
16	-	10	-	-	853	Schacht	Zwei schachtartige Ansätze, offen, nicht schließbar, 105 m westlich von Nr. 17.	
17	-	-	-	-	850	Höhle	Vom höchsten Punkt des Eichberg (891m) etwas NNW haltend über Nordhang absteigen.	2836/232
18	-	120	180	-	891	Doline	Im Gipfelbereich, steile unterschiedlich hohe Begrenzung, nach SE offen.	
19	-	25	75	-	870	Doline	Nach S offen.	
20	-	20	25	-	860	Doline	Nach S offen.	
21	10	-	-	0,5	715	Doline	Sehr flach.	
22	-	15	40	-	820	Doline	Schluchtartig.	
23	22	-	-	-	800	Doline	Nach S offen.	
24	-	17	25	-	780	Doline	Nach S offen, durch Steinbruch verändert ?	
25	-	40	120	-	800	Doline	Nach S offen, Boden stark geneigt.	
26	15	-	-	1,5	780	Doline	Doline oder Steinbruch ?	
27	-	-	-	-	775	Quelle	Gefaßt.	
28	25	-	-	1	770	Schwinde	Zur Grundentwässerung genutzt, Betonschacht.	
29	-	30	40	-	765	Doline	Talseitig offen, Boden stark geneigt.	
30	30	-	-	-	760	Doline	Talseitig offen.	
31	-	6	30	-	752	Doline	Talseitig offen.	
32	35	-	-	-	763	Doline	Nach S offen.	
33	60	-	-	1,5	770	Doline	Richtung Nr. 34 offen.	
34	-	95	160	-	760	Doline	Boden stark geneigt, talseitig Wohnhaus.	
35	20	-	-	0,5	755	Doline	Sehr flach.	
36	45	-	-	0,5	722	Doline	SE-Seite niedere Schwelle, übrige Seiten steile Hänge.	
37	-	50	120	0,5	715	Doline	Großflächig sehr seicht, lt. Dr. Maurin war hier ein Schacht, der mit Schutt einer Brandruine zugeschüttet wurde.	
38	25	-	-	-	738	Doline	Nach SE offen.	
39	-	30	50	-	740	Doline	Nach S offen.	
40	25	-	-	1,0	720	Doline	Sehr seicht.	
41	45	-	-	1,0	720	Doline	Niedere Schwelle nach S.	
42	15	-	-	0,3	740	Doline	Kreisrund.	



- | | | | |
|-----------|-------------------------------|----|---------------------------|
| ● 2836/11 | Höhle, Katasternummer | Q | Quelle |
| ☉ ☽ | Doline, steil / flach gebösch | ~ | Schwinde, permanent |
| ☾ | Doline, erosiv geöffnet | ~ | Schwinde, episodisch |
| ☾ | Gefällerrichtung | △ | Trigonometrischer Punkt |
| | | ⊕ | Höhenpunkt d. Landesaufn. |
| | | 41 | Numerierung der Objekte |

Fig. 1: Übersichtsplan zu den Oberflächenkarsterscheinungen des Eichberges bei Semriach.

ZUR HYDROLOGIE UND HYDROGEOLOGIE DES GEBIETES PEGGAU - TANNEBEN - SEMRIACH

R. BENISCHKE, T. HARUM & H. STADLER ¹⁾

(mit 12 Fig., 2 Taf.)

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Überblick über die hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des Gebietes Peggau-Tanneben-Semriach geboten. Ausgehend von historischen Notizen über die ersten Versuche, das Karstgebiet der Tanneben hydrogeologisch zu erforschen, wird über die zahlreichen Markierungsversuche berichtet, die zur Klärung der unterirdischen Entwässerungsverhältnisse angesetzt wurden. Nach dem heutigen Stand der Kenntnisse kann das Gebiet als eines der bestuntersuchten Karstgebiete angesehen werden. Vor allem für die Entwicklung der Markierungstechnik bot das Gebiet gute Voraussetzungen, neue Markierungsstoffe auf ihre hydrologische Eignung zu testen, Transporteigenschaften zu untersuchen und parallel dazu neue Erkenntnisse über die Dynamik der Karstentwässerung zu erhalten. Naturgemäß blieben viele Fragen offen oder wurden wegen der intensiven Forschungstätigkeit neu gestellt, sodaß auch für die Zukunft ein reiches Betätigungsfeld für hydrogeologische Forschung bleiben wird.

Abstract

In the present study an overview of the hydrological and hydrogeological conditions of the karst area Peggau-Tanneben-Semriach is given. Beginning with historical notes of the first attempts of hydrogeological research in this region the numerous tracing experiments carried out with the aim to determine the underground discharge conditions are summarized. Concerning the actual knowledge of karsthydrological research the region can be considered today as one of the best investigated karstic zones. Due to the well known boundary conditions the area offered ideal assumptions to test new tracers on their hydrological suitability, to investigate the mechanism of solute transport and to extend the knowledge of the dynamics of the flow conditions in karst aquifers. Many questions remained open or are started again due to new results of the intensive research. Therefore the karstic region of Tanneben will represent also in future one of the main test sites of karsthydrological research.

Résumé

Le présent travail propose une analyse des conditions hydrologiques et hydrogéologiques de la région karstique de Peggau-Tanneben-Semriach. Partant de notices historiques sur les premières tentatives de recherches dans cette région, un résumé des nombreux essais de traçage est effectué. Ceux-ci ont permis de mieux comprendre les systèmes d'écoulements souterrains dans le karst. Le massif de la Tanneben représente actuellement l'une des zones karstiques les mieux connues. Ces conditions favorables permettent de tester l'aptitude hydrologique de nouveaux traceurs ainsi que leur qualité de transport et parallèlement à cela d'obtenir de nouvelles connaissances sur l'hydrodynamique du karst. De nombreuses questions restent, bien entendu, encore sans réponse et de nouvelles se posent à la suite de ces recherches intenses, ce qui offre à l'avenir un large champ d'investigations pour la recherche hydrogéologique.

¹⁾ Ralf Benischke, Till Harum, Mag. Dr. Hermann Stadler, Institut f. Hydrogeologie & Geothermie, JOANNEUM RESEARCH, Elisabethstr. 16/II, A-8010 Graz, Austria.

Inhalt

Zusammenfassung

Abstract

Résumé

1. EINLEITUNG

2. KLIMATOLOGISCHE UND HYDROLOGISCHE ÜBERSICHT

2.1. Klimatologischer Überblick

2.2. Hydrologische Übersicht

2.3. Rezessionsanalysen

2.3.2. Ergebnisse

2.4. Einflüsse von Hochwässern

2.4.1. Historische Aufzeichnungen

2.4.2. Ursachen der Hochwässer

2.4.3. Abflußverbesserungen und Retentionsmaßnahmen

3. KARSTWASSERZUSAMMENHÄNGE

3.1. Allgemeines - Geschichtliches

3.2. Markierungsversuche nach 1950

3.3. Fließzeiten und -geschwindigkeiten im Karstsystem

3.4. Zusammenhänge zwischen Karstaquifer und Porengrundwasser im Murtal bei Peggau

4. WASSERBILANZ, KARSTWASSERDYNAMIK UND SPEICHERVERMÖGEN IM TANNEBENSTOCK

5. SCHLUSSBEMERKUNG

6. LITERATUR UND UNTERLAGEN

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit zur Hydrologie und Hydrogeologie des Gebietes Peggau - Tanneben - Semriach stellt zu einem beträchtlichen Teil die verkürzte und in manchen Abschnitten durch neue Ergebnisse ergänzte Wiedergabe einer sehr umfangreichen Untersuchung der **Arbeitsgemeinschaft für Tracerhydrologie (ATH)** zur Hydrogeologie des Tannebenstockes dar (BEHRENS et al. 1992). Eine weitere Darstellung dieser Arbeiten erfolgte im Jahre 1994 im Rahmen der "Festschrift Lurgrotte 1894 - 1994" (BENISCHKE, SCHAFFLER & WEISSENSTEINER, Red., 1994) für einen größeren Leserkreis von Speläologen. Im vorliegenden Band erfolgt nunmehr für den mehr hydrogeologisch Interessierten eine Neuauflage, die in einigen Punkten ergänzt und korrigiert ist, im wesentlichen aber den zuvor zitierten Arbeiten folgt. Wir empfehlen daher den Lesern, die sich für mehr Details über die Hydrogeologie, Hydrologie und Hydrodynamik interessieren, sie den oben zitierten Arbeiten zu entnehmen. Um dem Leser das Suchen zu speziellen Themenkomplexen zu erleichtern, wurden in der vorliegenden Arbeit bei Bezug zu diesen in den "Steirischen Beiträgen zur Hydrogeologie" bzw. in der "Festschrift Lurgrotte 1894 - 1994" erschienenen Publikationen die jeweiligen Kapitel mit der entsprechenden Thematik zitiert.

Die Beschreibung der topographischen Verhältnisse des Untersuchungsraumes ist in einer eigenen Arbeit am Beginn dieses Bandes dargestellt, sodaß hier nicht näher darauf eingegangen wird.

2. KLIMATOLOGISCHE UND HYDROLOGISCHE ÜBERSICHT

2.1. Klimatologischer Überblick

Aufgrund seiner Lage südlich des Alpenhauptkamms liegt das Gebiet leeseitig in Relation zu den häufigen N- und NW-Staulagen, die im Norden hohe Niederschläge bringen. Größere Niederschlagsmengen fallen im Gebiet des Tannebenstockes und Semriacher Beckens nur bei Tiefdrucklagen aus dem Adria- und Mittelmeerraum, bei NE- und E-Wetterlagen und während der häufig auftretenden lokalen Sommergewitter, dann allerdings oft in beträchtlicher Intensität. Die mittlere Jahresniederschlagshöhe beträgt in Semriach 880 mm jedoch mit großer Streuung der Einzeljahre mit Summen zwischen 669 und 1351 mm (1971-80). In Fig. 1 sind die mittleren Monatssummen des Niederschlags der Station Semriach (720 m Sh) und die Monatsmittel der Lufttemperatur der Station Frohnleiten (440 m Sh, ca. 20 km nördlich des Arbeitsgebietes im Murtal) des Beobachtungszeitraumes 1971-1980 dargestellt.

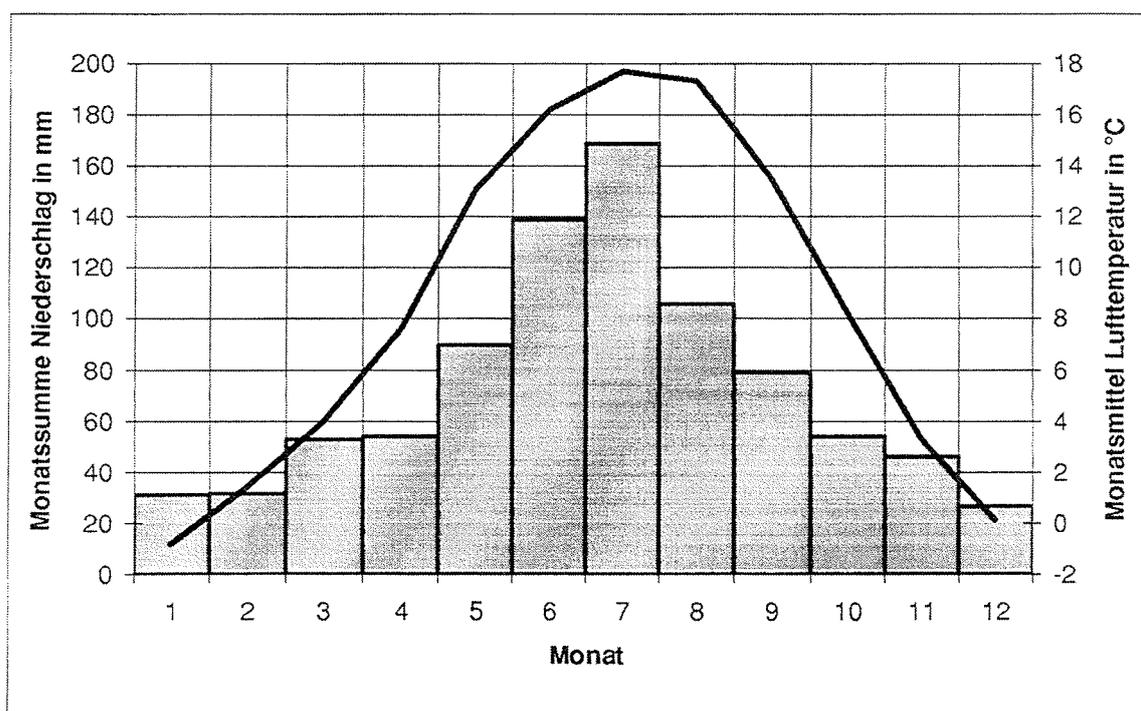


Fig. 1: Mittlere Monatssummen des Niederschlages der Station Semriach und mittlere monatliche Lufttemperaturen der Station Frohnleiten für den Zeitraum 1971-1980.

Relativ geringe Niederschläge sind im Winter (Minimum im Dezember mit 27 mm) zu verzeichnen, ein signifikantes meist durch die häufige Gewittertätigkeit verursachtes Maximum im Sommer (169 mm im Juli). Die höchste Tagessumme der Niederschläge wurde im Juli 1975 mit 93,5 mm in Semriach registriert. Im Mittel sind 262 Tage ohne Niederschlag, 10,5 Tage weisen Tagessummen von über 20 mm auf, die meisten im Sommer. Das Temperaturminimum wird im Jänner erreicht, das Maximum im Juli.

Der mittlere Zeitraum mit durchgehender Schneedecke ist mit 54 Tagen relativ kurz (von Anfang Jänner bis Ende Februar), nur an durchschnittlich 2,1 Tagen liegen mehr als 50 cm Schnee.

2.2. Hydrologische Übersicht

Das Gebiet zwischen Peggau und dem Semriacher Becken kann in drei hydrogeologische Einheiten (Fig. 2) mit sehr unterschiedlichen Infiltrations- und Abflußverhältnissen unterteilt werden. Bezüglich der detaillierten geologischen Verhältnisse sei auf die Arbeit von MAURIN (1992, 1994 bzw. auch in diesem Band) verwiesen:

- 1) Das überwiegend aus Schöckelkalk aufgebaute Massiv des Tannebenstocks (Oberfläche 8,3 km²) ist intensiv verkarstet und wird zur Gänze unterirdisch entwässert. Es gibt zwei große (Hammerbach und Schmelzbach) und einige kleinere Quellen, die das Karstgebiet entwässern.
- 2) Das Einzugsgebiet des Lurbaches (Fläche 14,5 km²) liegt überwiegend in gering durchlässigen paläozoischen Schiefen und weist daher im Gegensatz zu 1) ein differenziertes Oberflächengewässernetz auf.
- 3) Die westliche Grenze des Karststockes der Tanneben wird durch die Badlwand und die Peggauer Wand gebildet, die steil in das Murtal abfallen. Das Tal wurde während der Kaltzeiten wiederholt erodiert und wieder mit fluviatilen Ablagerungen (Schotter und Sande) aufgefüllt. Diese jungen Sedimente erreichen Mächtigkeiten bis zu 40 m und stellen einen sehr gut durchlässigen Grundwasserleiter dar.

Die Wässer des Lurbaches und zweier kleinerer Gerinne - Eisgrube (Kat.-Nr. 2836/4) und Katzenbach (Katzenbachschwinde, Kat.-Nr. 2836/65) - versinken zur Gänze in Schwinden. Die bedeutendste davon ist die Schwinde des Lurbaches am Semriacher Eingang der Lurgrotte. Während der Lurbach ganzjährig aktiv ist, sind die Gerinne von Eisgrube, Katzenbach und anderer kleiner Schwindenzubringer oftmals trocken. Der Lurbach infiltriert ab dem Eintritt in die verkarsteten Schöckelkalke und verschwindet bei Niedrigwasserverhältnissen einige 100 m oberhalb des Höhleneinganges der Semriacher Lurgrotte zur Gänze. Bei erhöhter Wasserführung erreicht das Gerinne den Höhleneingang, um dann nach etwa 200 m in Schwinden zu versinken. Der Rest der Semriacher Lurgrotte ist bei Normalwasserführung trocken, nur größere Hochwässer des Lurbaches durchqueren die gesamte Höhle, wenn die Kapazität der Schwinden im Semriacher Teil nicht ausreicht, um die gesamte Wasserführung aufzunehmen. Im unteren Teil der Höhle entspringen zwei bedeutendere Quellen: der Schmelzbach-Ursprung als Hauptaustritt und die kleinere Laurinsquelle. Beide bilden i. w. das Höhlengerinne des Schmelzbaches, der am Peggauer Eingang der Lurgrotte zu Tage tritt. Die übrigen Sickerwasserzutritte und Quellen (z.B. der Böcklinbrunnen) erlangen mengenmäßig gegenüber den beiden Hauptquellen keine Bedeutung.

Die Lage aller hydrographischen Meßstellen im Gebiet Semriacher Becken - Tannebenstock - Murtal am Fuß der Peggauer Wand ist Fig. 2 zu entnehmen. Die Niederschlagsmengen werden durchgehend seit 1965 in Semriach registriert, seit 1986 ist auch eine Niederschlags- und Lufttemperaturmeßstation auf dem Karstplateau der Tanneben (Ertlhube) in Betrieb.

Die Abflußmengen des Lurbaches als einer der wichtigsten Faktoren für die Grundwasserneubildung des Karstmassivs werden an einer Pegelstation oberhalb der Kalk-Schiefer-Grenze gemessen, Daten sind verfügbar für die Periode 1965-73 und mit Unterbrechungen seit 1987.

Die Schüttungen der beiden großen Karstquellen im Murtal am Fuß der Peggauer Wand werden ebenfalls kontinuierlich registriert. Von der Hammerbachquelle liegen Daten von 1965-75 und seit 1983 vor, vom Schmelzbach von 1965-70 und mit Unterbrechungen seit 1983.

Die wichtigsten Schüttungsdaten des Lurbaches und der Karstquellen sind in Tab. 1 zusammengestellt, die mittleren Tagesmittel der Abflüsse und deren Schwankungsbreite in Fig. 3.

Tab. 1: Schüttungsdaten in l/s des Lurbaches (Beobachtungszeitraum 1965-73 und 1987-89), der Hammerbachquelle (1965-75, 1983-89), des Schmelzbaches (1965-70, 1983-89) und der Laurinsquelle (1986-87). NQ = niedrigster gemessener Wert, MQ = Jahresmittel, HQ = höchste gemessene Abflußmenge. * MQ- und HQ-Werte eher zu niedrig aufgrund sehr ungenauer Hochwasserwerte, NQ wahrscheinlich beeinflußt.

	NQ	MQ	HQ	HQ:NQ
Lurbach *	4	141	15300	3817
Hammerbach	33	193	2000	61
Schmelzbach	15	79	11400	760
Laurinsquelle	0,4	3,7	12	30

Die mittleren Hydrogramme von Lurbach, Hammerbach und Schmelzbach und die stark differierenden Schüttungsschwankungen (vgl. Verhältnis HQ:NQ in Tab. 1) belegen deren sehr unterschiedliche Abflußdynamik.

Die Abflußganglinie des **Lurbaches** mit ihren sehr hohen Schwankungen ist typisch für ein kleines Einzugsgebiet in gering durchlässigen Schiefen. Es sind zwei Perioden erhöhter Wasserführung erkennbar: eine erste im März/April durch die Schneeschmelze und eine zweite durch zahlreiche kurzfristige Hochwassereignisse geprägte im Sommer. Die meist durch heftige Sommerniederschläge ausgelösten extremen Hochwässer des Lurbaches führten immer wieder zu Verklausungen im Bereich des Semriacher Lurgrotteinganges und zu häufigen Zerstörungen in der Lurgrotte (s. Abschn. über Hochwässer).

Durch zahlreiche Markierungsversuche mit Tracereingaben in die Lurbachschwinde konnte belegt werden, daß die **Hammerbachquelle** den permanenten Wiederaustritt der in der Lurbachschwinde versinkenden Wässer aus dem Semriacher Becken darstellt (BENISCHKE & HARUM 1992; weitere Arbeiten und Lit. *ibid.*). Nur bei drei Versuchen bei erhöhter Wasserführung konnten die eingespeisten Markierungsmittel auch im Schmelzbach

nachgewiesen werden. Diese später genauer erläuterten Untersuchungen belegen, daß **die beiden Quellen bei Niedrigwasserverhältnissen zwei vollkommen isolierte Systeme entwässern, die nur bei höheren Schüttungen eine Verbindung aufweisen.**

Dementsprechend zeichnet die Schüttungsganglinie der Hammerbachquelle mit Verzögerung und gedämpft die Abflußschwankungen des Lurbaches nach. Die Hochwasserspitzen sind aufgrund der Entlastung durch den aktiv werdenden Abfluß von Lurbachwasser in das Schmelzbachsystem bedeutend geringer ausgeprägt. Für den Großteil des Jahres sind die Schüttungen der Quelle beträchtlich höher als diejenigen am Pegel Lurbach, da diese zusätzlich den gesamten Südteil des verkarsteten Tannebenplateaus entwässert.

Hingegen wird die Schüttungsganglinie des **Schmelzbaches** nur episodisch vom Lurbach beeinflusst. Bei Niedrigwasser entwässert dessen Hauptaustritt, der **Schmelzbach-Ursprung**, nur den Nordteil des Tannebenplateaus und - wie durch Markierungsversuche belegt (vgl. BATSCHE et al. 1967, BENISCHKE & HARUM 1992) - die zwei kleinen Schwinden Eisgrube und Katzenloch (s. Fig. 2). Der zeitweise aktive Überlauf vom Hammerbachsystem und vor allem die größeren Lurbachhochwässer, die direkt durch den begehbaren Teil der Lurgrotte zum Peggauer Eingang abfließen, bewirken extreme Schüttungsschwankungen des Schmelzbaches. So wurden im Peggauer Teil der Lurgrotte Hinweise auf Rückstauhöhen von bis zu 30 m (WEISSENSTEINER & TRIMMEL 1971) beschrieben. Im Gegensatz zum Hammerbach verursachte der Schmelzbach häufig Überschwemmungen im Bereich des Peggauer Eingangs.

Untersuchungen der Überschreitungsdauer der Schüttungen und vor allem die Korrelation der Dauerlinien von Hammerbach und Schmelzbach zeigten, daß der Überlauf vom Hammerbach- in das Schmelzbachsystem signifikant von der Schüttung des Hammerbaches als Maß für den Auffüllungszustand im Karstaquifer abhängig ist (HARUM et al. 1990, HARUM & STADLER 1992). Die Ergebnisse dieser Korrelation zeigten, daß es ab der Überschreitung einer Abflußmenge von rund 200 l/s der Hammerbachquelle zu einem deutlichen Überschub beim Schmelzbach kommt (Fig. 4), der durch den Abfluß von Wasser aus dem Hammerbach- in das Schmelzbachsystem bewirkt wird. Dieser Überlauf kann durchaus auch zu Zeiten einer Niedrigwasserführung des Lurbaches aktiv sein, wenn das Hammerbachsystem noch aufgefüllt ist. Dafür spricht auch die von ZOJER & ZÖTL (1974) festgestellte nicht-konstante Beziehung zwischen den Lurbachabflußmengen und dem Anteil von Lurbachwasser an der Schmelzbachschüttung. Veränderungen der Überlaufmarke durch Sedimentationsvorgänge oder Erosion von Höhlensedimenten im Hammerbachsystem scheinen nur temporärer Natur zu sein; die hydrologischen Untersuchungen ergaben für den gesamten Beobachtungszeitraum kaum derartige Hinweise (HARUM et al. 1990).

- Paläozoikum
- Tonschiefer - Schöckelkalk-Fazies
 - Grünschiefer, Metadiabase, Phyllite (Passailer Gruppe)
 - Ton- bzw. Kalkschiefer, Quarzite (Arzberg-Formation)
 - Schöckelkalke
 - Rannach-Fazies
 - Tonschiefer, Sandsteine, Dolomite, Kalke
 - Quarzfär
 - Terrassenschotter des Würm und Holozän (nur im Murtal ausgeschieden)
 - Bedeutende Störungen
 - Überschiebungen / Aufschiebungen
 - Grenze der hydrographischen Bezugsfläche
 - Aktive Karstschwinden
 - Steinbruch
 - Schreibpegel
 - Tracereingabestelle
 - Nachgewiesene Verbindung
 - Nachgewiesene Verbindung (aktiv nur bei Hochwasser)
 - Verbindung (punktueller Nachweis)
 - Niederschlagsstation

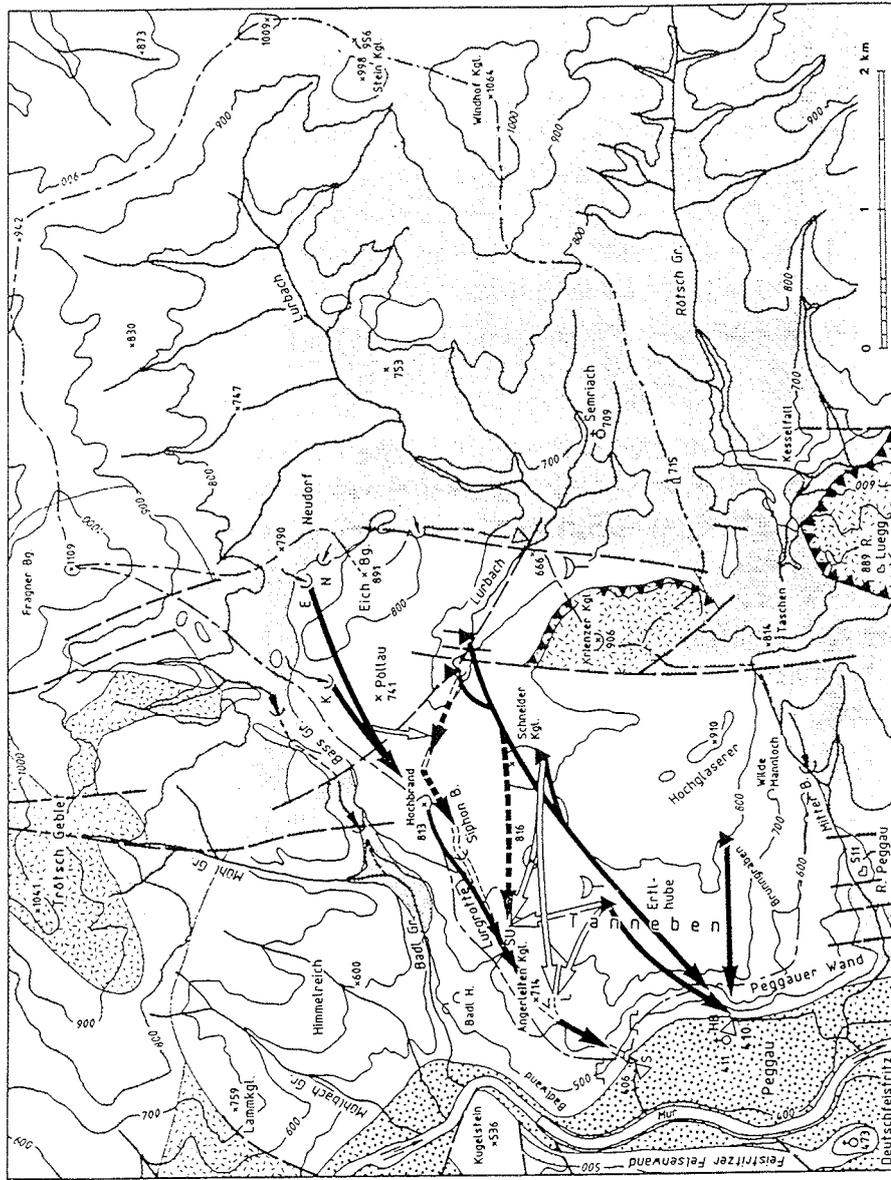


Fig. 1: Generalisierte hydrogeologische Karte des Gebietes Peggau-Tanneben-Semriach mit Darstellung der bisher nachgewiesenen Karstwasserverbindungen (aus MAURIN 1992).

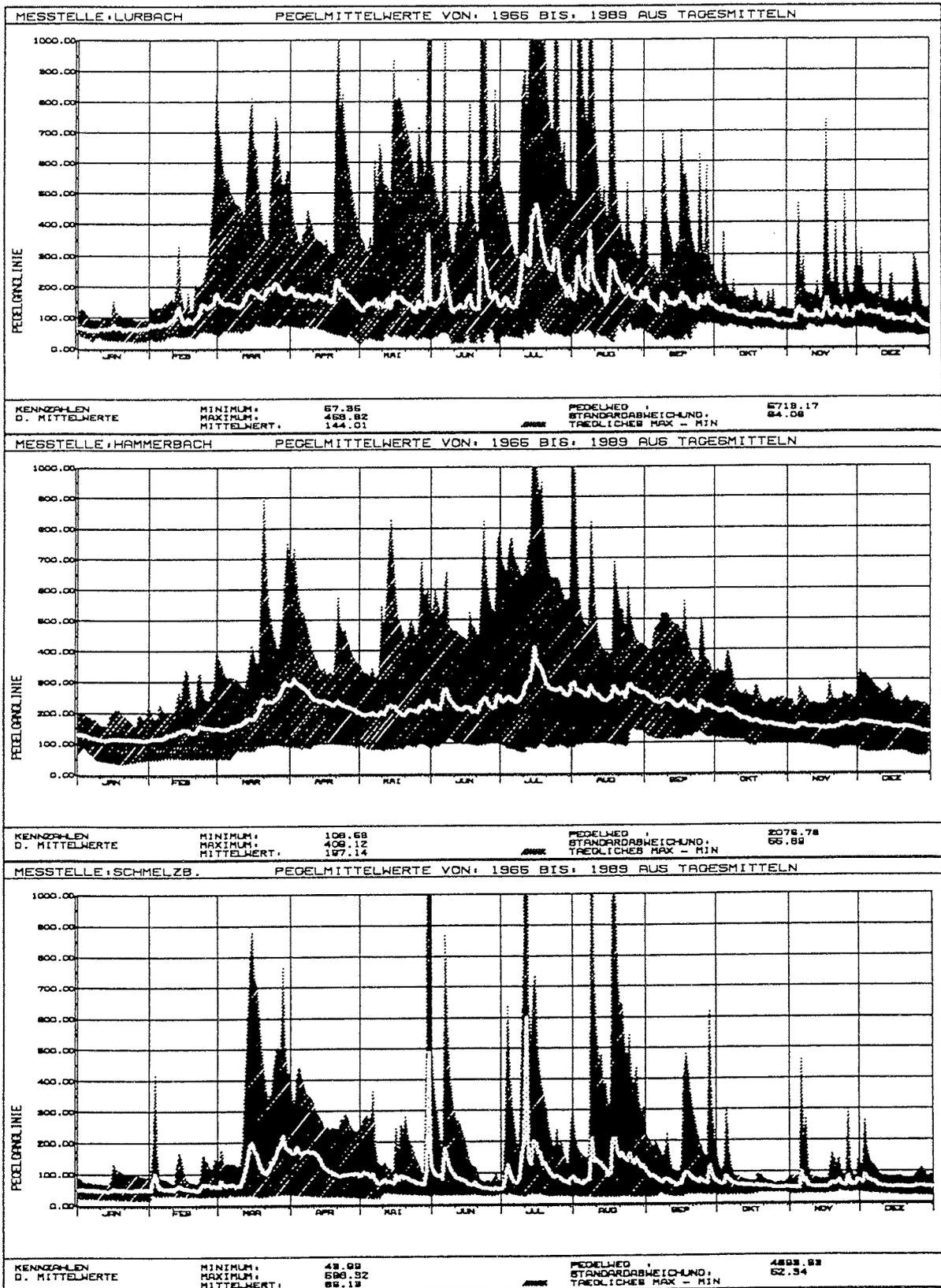


Fig. 3: Mittlere Schüttungsganglinien und Hüllkurven der Extremwerte des Lur-, Hammer- und Schmelzbaches (berechnet aus Tagesmitteln, Angaben in l/s).

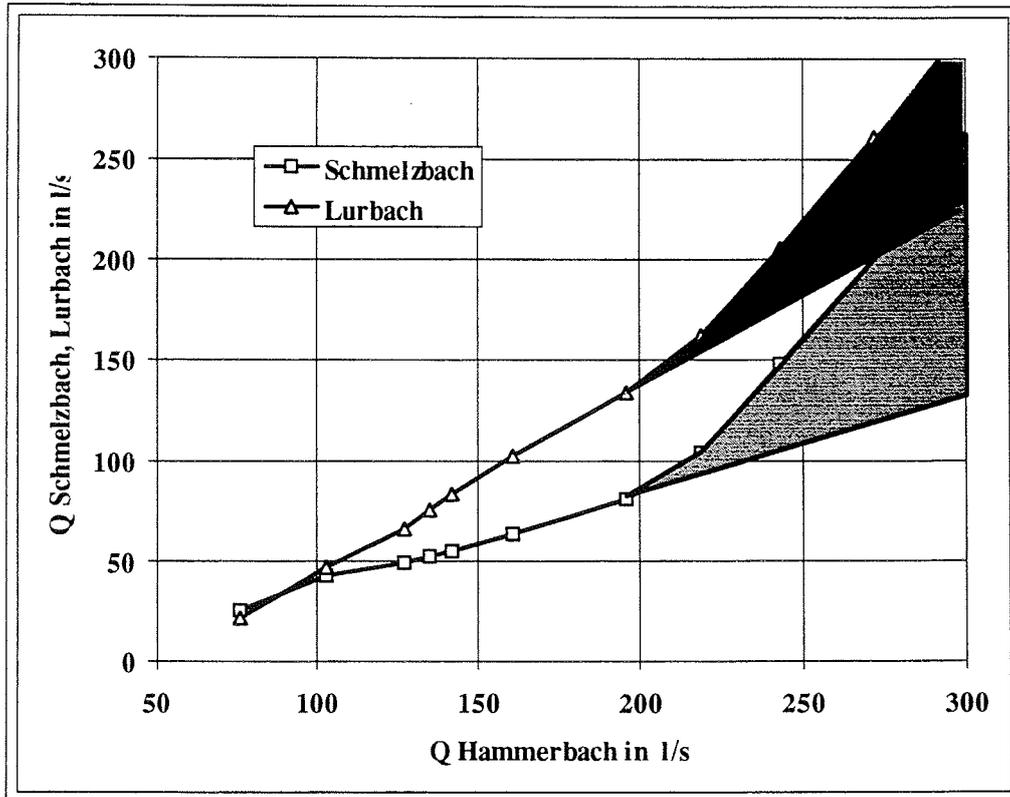


Fig. 4: Ermittlung der Überlaufmarke vom Hammerbach- in das Schmelzbachsystem durch Korrelation von Schüttungsdauerwerten. An den Knickpunkten beginnend stellen die schraffierten Flächen die Überlaufbereiche dar.

Somit können die Abflußverhältnisse in den Aquiferteilsystemen des Karststocks der Tanneben durch drei hydrologische Zustände typisiert werden, die drei sehr klar differenzierbaren Fließwegen (Fig. 2) im Karstsystem entsprechen (auf das Vorhandensein weiterer, aber nicht eindeutig lokalisierbarer Fließwege bzw. Fließsysteme weisen die Ergebnisse der zahlreichen Markierungsversuche hin; vgl. MALOSZEWSKI et al. 1992):

- 1) Bei Schüttungen der Hammerbachquelle unterhalb der Überlaufmarke von rund 200 l/s sind beide Karstentwässerungssysteme vollkommen isoliert. Unter diesen Bedingungen entwässert der Hammerbach ausschließlich die in den Lurbachschwinden versinkenden Wässer aus dem Semriacher Becken und im Südteil des Tannebenplateaus versickernde Niederschlagswässer. Der unter diesen Verhältnissen vollkommen isolierte Schmelzbachaquifer entwässert nur den Nordteil des Tannebenplateaus und die Schwinden W und N des Eichberges wie Katzenloch und Eisgrube. **Es gibt keine Verbindung zwischen der Lurbachschwinde und den beiden Hauptquellen im unteren Teil der Lurgrotte (Schmelzbach-Ursprung und Laurinsquelle).**
- 2) Der Überlauf vom Hammerbach- zum Schmelzbachaquifer wird aktiv, wenn die Schüttung der Hammerbachquelle (als Maß für den Auffüllungszustand des Karstreservoirs) das Jahresmittel von rund 200 l/s überschreitet. **Unter diesen hydrologischen Verhältnissen entwässert der Schmelzbach-Ursprung einen mit steigender Schüttung des Hammerbachs zunehmenden Anteil von Lurbachwasser, der Aquifer der Laurinsquelle bleibt weiterhin isoliert.**

- 3) **Größere Hochwässer des Lurbaches nehmen zumindest drei verschiedene Fließwege im Karstsystem.** Der größte Anteil von Lurbachwasser fließt dann direkt durch die ca. 5 km lange begehbare Lurgrotte über den Schmelzbachursprung hinweg und bewirkt die extremen Schüttungsschwankungen des Schmelzbaches am Peggauer Höhlenausgang. Ein zweiter Anteil fließt über die Schwinden im oberen Teil der Höhle in den Hammerbachaquifer ab, wo er sich wieder verzweigt: ein Teil fließt direkt zur Hammerbachquelle, der zweite über die Überlaufverbindungen, die derzeit nur zum Teil lokalisierbar sind, zum Schmelzbach-Ursprung. Der Aquifer der Laurinsquelle bleibt auch bei extremeren Hochwässern vom Hammerbach- und Schmelzbachsystem isoliert.

2.3. Rezessionsanalysen

Der Schüttungsrückgang während längerer Trockenwetterperioden kann durch die Exponentialfunktion (E. MAILLET, 1905)

$$Q_t = Q_0 * e^{-\alpha t}$$

beschrieben werden, wobei

- Q_t = Schüttung nach der Zeit t während der Rezessionsperiode [l/sec]
- Q_0 = Schüttung zum Zeitpunkt $t=0$ (Ordinatenschnittpunkt)
- α = Rezessionskoeffizient (d^{-1})
- e = Basis des natürlichen Logarithmus

Die Steigung α (Rezessionskoeffizient) ist charakteristisch für die Speicherentleerung im Einzugsgebiet und beschreibt somit auch die Speichereigenschaften des Aquifers. Bei einer halblogarithmischen Darstellung von Rezessionskurven erkennt man das Auslaufen unterschiedlicher Speicher durch Knickpunkte bzw. Änderungen der Steigung. Rezessionskurven, die durch das Auslaufen mehrerer Speicher entstehen, die durch eine Exponentialfunktion beschreibbar sind, sind in einer derartigen Darstellung nicht mehr geradlinig. Besonders im ersten Teil von Auslaufkurven können so schneller auslaufende Speicher erkannt werden.

Die Aufteilung in einzelne Exponentialfunktionen entsprechend einzelner Abflußkomponenten wird am Ende der Rezession (bei den niedrigsten Schüttungen) begonnen. Folgt dieser Teil der Rezession der Gleichung nach MAILLET (1905), wird nach der Methode der kleinsten Quadrate eine Exponentialfunktion angepaßt. Diese Funktion entspricht der Komponente des Basisabflusses. Sie wird bei Karstquellen üblicherweise bis zur theoretischen Schüttungsspitze unter dem Maximum des Gesamtabflusses extrapoliert. Die Differenz zwischen gemessener Gesamtschüttung und dem berechneten Anteil des Basisabflusses ergibt die Summe der verbleibenden Abflußanteile.

Dies wird - wenn möglich - zur weiteren Aufteilung einzelner Komponenten wiederholt (BARNES 1939). Die so errechneten α -Werte charakterisieren die einzelnen Abflußanteile

Tab. 3: Errechnete Wasservolumina bezogen auf MQ und MoMNQT.

	MQ	V_{MQ}	MoMNQT	V_{MoMNQT}	Leerlaufzeit in Tagen	
	(l/s)	(m ³)	(l/s)	(m ³)	MQ	MoMNQT _T
Lurbach	129	264 000	72	147 000	187	172
Hammerbach	180	1 044 000	135	783 000	547	529
Schmelzbach	97	710 000	57	417 000	612	596
Tanneben Total	148	1 490 000	120	1 053 000		

Der Karstaquifer kann durch zwei sehr unterschiedliche Speicher- und Abflußsysteme beschrieben werden. Ein Anteil, der durch sehr geringes Rückhaltevermögen charakterisiert ist, wird aus großlumigen Karstgefäßen aufgebaut (Direktabfluß). Der andere Anteil ist durch Bereiche hoher Speicherkapazität beschreibbar (Mikrokluft, Sedimentfüllungen).

Die in Tab. 2 ausgewiesenen Volumina zeigen deutliche Unterschiede zwischen Direktabfluß und Basisabfluß, wobei das Volumen des Basisabflusses am Schmelzbach 55 mal, am Hammerbach 186 mal größer ist als das des Direktabflusses.

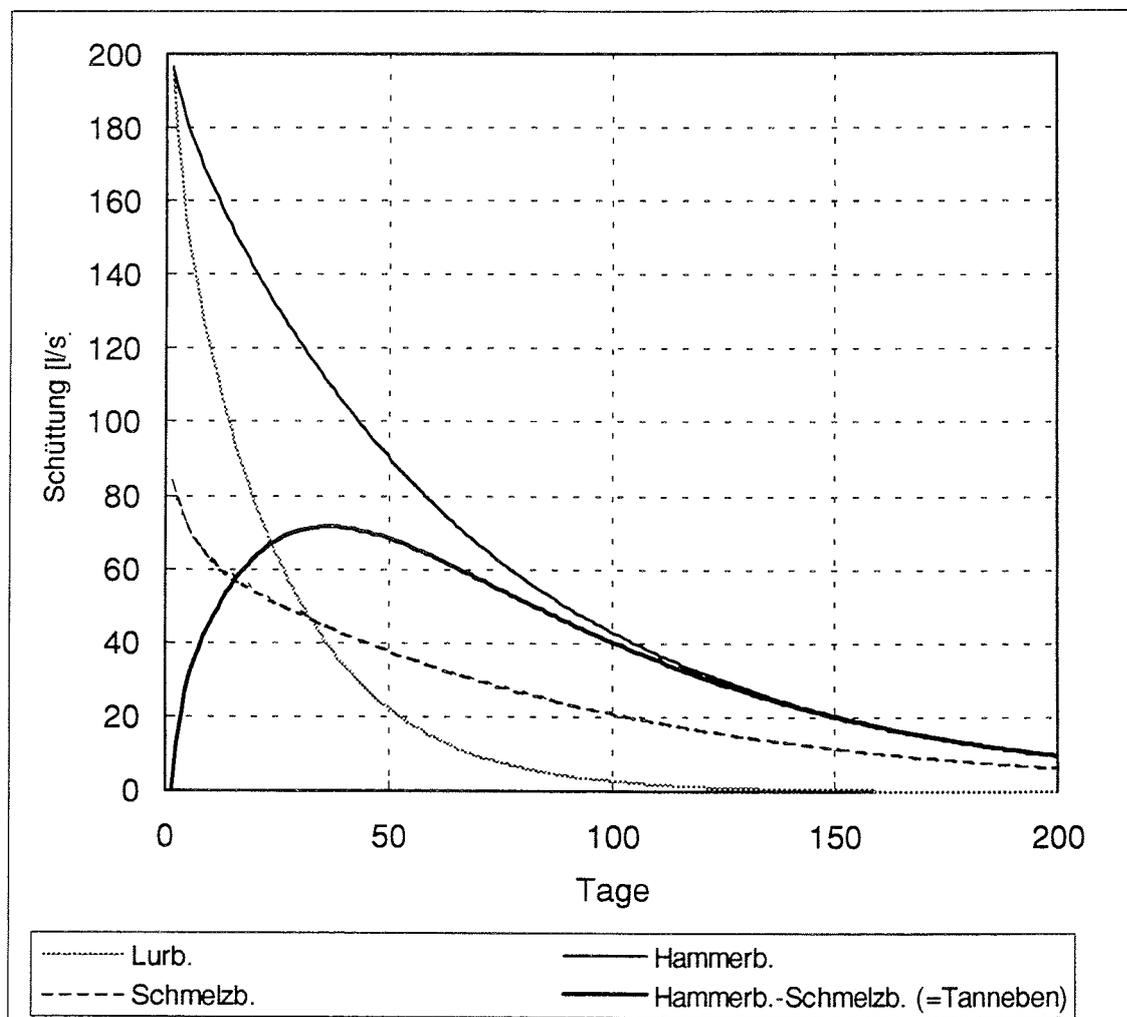


Fig. 5: Mittlere Abflußrezessionen des Lurbaches (Input), des Hammerbaches und des Schmelzbach-Ursprungs sowie des aus dem Tannebenstock zufließenden Wassers (=Differenz zwischen Hammerbach- und Lurbachrezession).

Geht die Schüttung des Hammerbaches auf unter 200 l/s zurück, existiert kein direkter Überlauf zum Abflußsystem des Schmelzbaches. In diesem Fall wird der Hammerbachaquifer nur vom Lurbach-Einzugsgebiet und aus dem Tannebenstock gespeist. Die Differenz der Auslaufkurven von Hammerbach und Lurbach, wie sie in Fig. 5 dargestellt ist, erlaubt Aussagen über die Dynamik des Karstwasseranteils aus dem Tannebenstock. Die Auslaufkurve repräsentiert den Hauptanteil des länger gespeicherten Karstwassers dieses Einzugsgebietes.

Die Berechnungsgrundlage für die in Fig. 5 dargestellten Auslaufkurven waren Rezessionen mit einer maximalen Länge von 35 Tagen. Die Extrapolation auf die hier dargestellten 200 Tage erfolgte unter der Annahme einer entsprechend langen Zeit ohne Grundwasserneubildung. Ebenso wurde vorausgesetzt, daß der zugrundegelegte α -Wert für die gesamte Auslaufzeit des Speichers Gültigkeit besitzt. Diese Annahme kann natürlich nur eine theoretische sein, da keine derart langen Trockenwetterperioden auftreten und die aus einem Zeitraum von 35 Tagen errechneten Exponentialfunktionen keine Aussagen über mögliche weitere Auslauffunktionen und zugehörige Aquifere erlauben.

Aus Fig. 5 ist deutlich zu erkennen, daß bei einer Schüttung von ca. 200 l/s am Hammerbach der Lurbachanteil etwa gleich groß ist. Bei höheren Schüttungen ist der Überlauf zum Schmelzbachsystem aktiv, der Input des Lurbachs natürlich größer als die Gesamtschüttung des Hammerbachs.

Im ersten Teil der Auslaufkurve steigt die Differenz zwischen Input (Lurbach) und Output (Hammerbach) kontinuierlich an, um nach etwa 36 Tagen sein Maximum mit 71 l/s zu erreichen. Diese Verzögerung der Schüttungsspitze der Differenzkurve (= Input Tanneben) kann durch die hydrodynamischen Prozesse während und nach eines Hochwasserereignisses am Lurbach erklärt werden.

Bei hohen Schüttungen bewirkt der erhöhte Auffüllungsgrad im Karstaquifer einen positiven hydraulischen Gradienten zwischen den größeren Karstgefäßen und den Bereichen mit geringerer Durchlässigkeit; das heißt, „älteres“ Reservoirwasser wird zurückgehalten und Ereigniswasser wird von den großlumigen Karstgefäßen u.a. in Mikroklüfte gedrückt. Dort kann es länger gespeichert werden. In der Folge bewirkt der fallende Wasserspiegel (Wasserdruck) ein Umkehren des hydraulischen Gradienten. Es steigt daher der Anteil von „älterem“ Reservoirwasser aus den weniger durchlässigen Bereichen des Aquifers an der Gesamtschüttung mit abnehmender Schüttung des Hammerbachs und erreicht das Maximum mit großer Verzögerung zu seiner Schüttungsspitze. Die oben angeführten Berechnungsergebnisse werden durch die Tatsache bestätigt, daß Rezessionskurven einzelner Ereignisse sehr ähnliche α -Werte aufweisen. Abweichungen von den Mittelwerten sind von den Werten der Schüttungsmaxima und den hydrologischen Bedingungen vor dem jeweiligen Ereignis abhängig.

Der Anteil des „älteren“ Reservoirwassers an der Quellschüttung steigt kontinuierlich. Etwa 180 Tage nach Rezessionsbeginn ist der Lurbachaquifer theoretisch leer, somit erreicht der Anteil des Reservoirwassers aus dem Karstaquifer 100 %.

Das Volumen des länger gespeicherten Wassers beträgt etwa 65 % des Hammerbach-Gesamtvolumens (s. Tab. 3). Dies bestätigt die hohe Speicherkapazität dieser Rückhaltezone.

2.4. Einflüsse von Hochwässern

2.4.1. Historische Aufzeichnungen

Auf Grund alter Berichte, die anlässlich der Hochwasserereignisse von 1894 (Einschließung von Höhlenforschern über 9 Tage) der Pfarrchronik von Semriach entnommen wurden, ist zu schließen, daß Überschwemmungen im Bereiche des Semriacher Beckens und insbesondere des Lurkessels (unterer Bereich des Lurbaches bis zum Höhleneingang) relativ häufig waren und in einigen Fällen katastrophenartige Ausmaße angenommen hatten. Die angeführte Liste ist selbstverständlich bei weitem nicht vollständig (s. a. WEISSENSTEINER 1994), da es im Laufe der Zeit weit mehr Hochwässer gegeben hat. Diese haben aber nur dann ihren Niederschlag in der Literatur gefunden, wenn damit auch Zerstörungen oder ernste Störungen für den späteren Schauhöhlenbetrieb verbunden waren. Im folgenden sei von den in der Pfarrchronik von Semriach und in der Literatur verzeichneten Katastrophenhochwässern berichtet.:

- 18. Jh.:** Am Ende dieses Jahrhunderts soll es einen Stau bis 700 m SH gegeben haben. Nach der topographischen Karte würde dies bedeuten, daß die Überflutung bis knapp unter die Kirche von Semriach gereicht hätte (PUTICK 1894, n. Angaben des Semriacher Pfarrers A. GASPARITZ).
- 1812:** Ein Stau reichte bis ca. 667 m SH und soll etwas geringer gewesen sein als der von 1827; vermutlich wurde der gesamte Lurkessel eingestaut. Wassermarken in der Lurwandhöhle (Kat.-Nr. 2836/220), die zumindest höhenmäßig mit dem Stau korrelierbar sind (WEISSENSTEINER 1974b), deuten darauf hin. Die Lurwandhöhle liegt ca. 40 m S oberhalb des Semriacher Eingangsportales mitten in der Felswand und kann nur durch Abseilen von der Oberkante der sog. "Lurwand" erreicht werden.
- 1827:** Der Stau erreichte ebenfalls ca. 667 m SH, jedoch waren bisher keine näheren Angaben über das Semriacher Becken zu finden (PUTICK 1894). In Peggau soll es eine Überschwemmung sowohl durch den Schmelzbach als auch durch den Hammerbach gegeben haben (THINNFELD 1872).
- 1844:** Der Stau soll etwas geringer als 1827 aber ähnlich dem von 1812 gewesen sein (PUTICK 1894).
- 1853:** Im Sommer dieses Jahres besuchte im Zuge geologischer Aufnahmen ANDRAE (1854) den Peggauer Eingang der Lurgrotte und beschreibt, wie die Wassermassen aus dem Höhleneingang stürzten.
- 1865:** Am 30.8.1865 ging ein Wolkenbruch nieder, der die damalige Bezirksstraße durch den Badgraben und die neu erbaute Sägemühle am Schmelzbach zerstörte; der Hammerbach soll nur sehr trüb gewesen aber nicht ausgeföhrt sein (THINNFELD 1872).
- 1874:** Der Stau soll bis 651,5 m SH (PUTICK 1894; n. Angaben des Semriacher Pfarrers A. GASPARITZ) gereicht haben. Die Ursache für die übergenaue Dezimalangabe der Seehöhe ist nicht bekannt und könnte aus einer Umrechnung ausgehend von einem Fixpunkt stammen.
- 1894:** Während der vom 29.4.-7.5.1894 in wechselnder Intensität auftretenden Regenfälle führte die damit verbundene Hochwassersituation zur Einschließung von 7 Höhlenforschern in der Lurgrotte. Auch damals lagen im Portalbereich der Höhle schon zahlreiche Baumstämme, Wurzelwerk etc., was zu Verklausungen führte, und den Höhlenforschern den Weg nach außen versperrte. PUTICK (1894), der vom damaligen k.k. Ackerbauministerium eigens von Laibach mit einem Sonderzug zunächst nach Peggau und dann nach Semriach beordert wurde, führte die ersten Berechnungen über Höchstabflußmengen auf Basis der Raumdimensionen in der Vorhöhle und der Halle der Eingeschlossenen der Semriacher Lurgrotte durch und schätzte die Abflußmenge des Lurbaches

- am 6.5.1894 auf 1,5 m³/s. Die Schwankung gab er mit 1,5-5 m³/s an (die Gesamtschüttung des Lurbaches dürfte aber um einiges höher gewesen sein). Während der maximale Wasserstand nach den durch PUTICK an Ort und Stelle erhobenen Verhältnissen (s.a. Pläne v. WALBAUM & SIENER 1894; Taf. 2) im Vergleich zu den anderen Hochwässern eigentlich nicht besonders hoch war und nur wegen der sehr tiefen bachnahen Lage des sog. "Schlurfes" zur Einschließung der Höhlenforscher geführt hatte, trat im Herbst desselben Jahres wieder ein Hochwasser auf. Wie den Grazer Zeitungen zu entnehmen ist, begann es am 3.10.1894 im Laufe des Tages heftig zu regnen. Im Originaltext aus dem GRAZER EXTRABLATT (1894a): steht zu lesen:
- "Wie uns aus Semriach mitgeteilt wurde, ist der Semriacher Bach [heute Lurbach; Anm. d. Verf.] durch die von den Hängen herabstürzenden Wildbäche so gewaltig geworden, daß er alles mit sich riß, was seinen dahinbrausenden Fluten widerstehen sollte. Die Höhe der vor dem Lurloche gestauten Wassermasse ist viel bedeutender, als selbe zur Zeit war, als die Höhlenforscher im Lurloch abgesperrt worden waren. Vom Hause des Lederermeisters bis zum Lurlochfelsen hat der Bach einen See gebildet, der Rechen vor der Felsenhöhle wurde durchgerissen und die Holzstämme in die Öffnung getrieben. Bei weiter anhaltendem Regen dürfte für Semriach die Situation eine sehr gefährliche werden."*
- Aus den Plänen von WALBAUM & SIENER (1894) ist die Lage des Lederermeisterhauses (bezeichnet mit seinem Namen Priborsky; Taf. 6) zu ersehen. Demnach erreichte der Wasserspiegel eine Hochwassermarke von ca. 670 m SH und somit eine maximale Stauhöhe von 35-40 m beim Lurgrotteingang. Im GRAZER EXTRABLATT (1894b) vom 6.10.1894 wird auch der Peggauer Bach (heute Hammerbach) erwähnt, daß er angeschwollen sei wie noch nie. Über ein Ausuferen wird nichts berichtet.
- 1900:** Am 24.3.1900 soll es lt. Tagebuch von A. MAYER sen. Hochwasser gegeben haben. MAYER, der damals mit einem Netz sowohl im Schmelzbach der Lurgrotte Peggau als auch im Hammerbach fischte, um aus dem Schwemmgut Rückschlüsse über dessen Herkunft zu ziehen, berichtete, daß der Schmelzbach nichts besonderes brachte. Am Hammerbach gelang ihm der Nachweis von "Lederer Lohe", die von der Gerberei (Lederer Priborsky) am Ufer des Lurbaches bei Semriach weggespült worden war.²⁾
- 1907:** Hochwasser zerstörte Einbauten in der Semriacher Lurgrotte (BOCK 1928:72).
- 1909:** 22.3.1909: Nach dem Abschluß von Vermessungsarbeiten trat Hochwasser im Zuge der Schneeschmelze ein (BOCK 1909:7).
- 1910:** Arbeiten im Semriacher Teil der Lurgrotte im sog. Teischingergraben (der frühere rechte Bachlauf) zur Öffnung von Schwinden wurden durch die Frühjahrshochwässer unterbrochen. (BOCK 1911a:5). 20.-21.5.1910: Die Unwetter fanden zunächst ihren Niederschlag in den Zeitungen wegen des tragischen Todes von 12 Arbeitern durch eine aus der Raabklamm kommende Flutwelle (TAGESPOST 1910a). In Peggau stieg der Wasserstand im Schmelzbachbett um 3 m, riß gelagertes Holz mit und verwüstete die Sägeanlage Dirnbacher (TAGESPOST 1910b, 1910c). Während der Hammerbach zuerst keine Reaktion zeigte und der Wasserstand des Schmelzbaches relativ rasch wieder fiel, begann danach der Wasserstand des Hammerbaches rasch zu steigen, trat zwar nicht aus den Ufern, doch waren die Keller der angrenzenden Häuser trotzdem überflutet. Bei der Lurgrotte Semriach soll das Hochwasser, dessen Spitzenabfluß von BOCK (1928:75) auf 50-80 m³/s (die Angaben dürften nach heutiger Kenntnis übertrieben sein) geschätzt wurde, vor der Höhle einen 7 m hohen Stausee gebildet und das Kassahaus ca. 1 m hoch überschwemmt haben. 14.6.1910: neuerliche Unwetter bringen wieder eine Überschwemmung in der Semriacher Lurgrotte (BOCK 1911b:1-2, 1911c:5-6), wobei die Steiganlagen zerstört wurden.
- 1917:** Im August dieses Jahres trat wieder ein Hochwasser auf (s.a. SAAR 1922:8).
- 1953:** Schäden durch vorangegangene Hochwässer erforderten umfangreiche Instandsetzungsarbeiten und einen Brückenneubau.
- 1959:** Nach einem Bericht von REPIS (1959) zerstörte Hochwasser die Stege und Lichtleitungen in der Lurgrotte Semriach. Das Hochwasser war schon im August aufgetreten.
- 1970:** 10.7.1970: Die Lurbachschwinden wurden so weit verlegt, daß nur mehr ein geringer Abflußanteil in die Schwinden abfloß, der größere jedoch in die Schauhöhle (WEISSENSTEINER & TRIMMEL 1971). 8.-10.8.1970: Hochwasser verursachte zumindest temporäre Veränderungen an den Fließwegen, was dazu führte, daß der Lurbach nicht nur bei Hochwasser sondern schon bei Mittelwasser sowohl den Hammerbach als auch den Schmelzbach alimentierte (ZÖTL, 1971). Der durchgehende Weg von Semriach nach Peggau wurde endgültig unterbrochen, die Betonstege des Schauhöhlenweges wurden 1,5 m hoch vermurt. Oberhalb des "Spannageldomes" kam es zu

2) Das genannte Datum erscheint etwas fragwürdig, da zu dieser Zeit schon eine Niederschlagsstation in Semriach existierte, welche für den angegebenen Zeitraum keine nennenswerten Niederschläge registrierte (am 18.3.1900 waren es 25,3 mm, am 22.3. d.J. 6,8 mm und am 24.3. d.J. überhaupt nur 1 mm, dazwischen und davor waren niederschlagsfreie Tage. Möglich wäre aber auch, daß Gewitterregen nur im oberen Lurbacheinzugsgebiet (am "Boden") niedergegangen sind und die Station Semriach daher nicht betroffen war.

Rückstauhöhen bis zu 30 m. Am Hammerbach konnten keine außergewöhnlichen Veränderungen festgestellt werden (WEISSENSTEINER & TRIMMEL 1971).

- 1971:** Im Februar 1971 erfolgten Bauarbeiten zur Wiederherstellung von Führungswegen in der Höhle durch das Bundesheer, danach trat wieder Hochwasser ein. Der linke Bachlauf wird durch Holzeinbauten verstopft (WEISSENSTEINER 1974a).
- 1972:** 27.6.1972: Der Schreibpegel am Schmelzbach wird zerstört, u.a. kommt es durch Treibgut zur Verklausung des Mayerstollens in Peggau (WEISSENSTEINER 1972).
- 1973:** 27.9.1973: Bei einer Begehung (WEISSENSTEINER 1974a) wurde festgestellt, daß die mittlere Schwinde durch Verklausung nach mehrtägigen Regenfällen verlegt war (die Station Semriach verzeichnete insgesamt 121,8 mm Niederschlag zwischen 21.9. und 27.9. d.J.).
- 1974:** Erbauung der Geschiebesperre bachaufwärts, in der Höhle erfolgte eine Reaktivierung der mittleren Schwinde, welche jedoch nur eingeschränkte Funktion erlangte.
- 1975:** Anfang Februar: Ausbaggern der Schwinde mit Caterpillar beginnend vom Eingang Semriach, zuvor Abschluß von Regulierungsarbeiten außerhalb der Höhle. Der Lurbach war völlig trocken. 9.2.1975: Tieferlegung der Sohle um 2-4 m, um die Einfahrt des Caterpillars zu ermöglichen, dieser erreichte den sog. Entdeckerschluß, der ca. 4 m tief unterfahren wurde. 2.3.1975: Ende der Arbeiten, da der Felsuntergrund zu steil abfiel und ein weiteres Arbeiten zu gefährlich gewesen wäre. 3.4.1975: Überflutung der Höhle nach Regenfällen und durch Schneeschmelze, Nachbrechen der ungesicherten Böschungen mit teilweiser Verfüllung der ausgebagerten Strecke. Die tieferen Teile stehen bis zu 8 m unter Wasser. Das Wasser wird von den Schwinden nicht mehr aufgenommen und fließt in die Schauhöhle ab. 26.4.1975: Der linke Bachlauf ist wieder fassungsfähig, allerdings nur für NQ. Am Höhleneingang wurde mittlerweile eine Sperre gegen unbefugten Zutritt aus 10-15 cm dicken Baumstämmen errichtet. Geschiebe hatte sich bis zu diesem Datum bis 0,5 m angestaut. 15.7.1975: Am Frühnachmittag (15.00 Uhr) heftiger Wolkenbruch und weitere starke Regenfälle bis 21.30 Uhr (Station Semriach 93,5 mm), die Lurbachflutwelle, die von den Schwinden nicht mehr aufgenommen werden konnte, trat in die Schauhöhle ein und erreicht in 30 min den Höhlenausgang in Peggau. Die Geschiebesperre wurde überflutet und brach seitwärts an einer schlechten Fundierung. In der Folge wurde der Höhleneingang ca. 10 m überstaut, das Wasser stand bis zu 2 m hoch in der linken Seitenhöhle ("Tanzboden") und das Kassahaus wurde fast bis zum Dachbeginn überflutet. 17.7.1975: In der Peggauer Lurgrotte 3-5 m Stau im 2. Tunnel. 30.8.1975: In der Semriacher Lurgrotte Begehung bis 1. Siphon möglich, dann Stau, Schlamm in den Siphonumgehungen. Der Bachlauf ist bis zum Entdeckerschluß auf sein natürliches Niveau wieder aufgefüllt.
- 1987:** Am 3.7.1987 kam es nach einem Wolkenbruch im oberen Lurbacheinzugsgebiet zu einem Hochwasserereignis, das kurzfristig zu Überschwemmungen im Semriacher Lurgrottenteil führte.
- 1989:** In der Nacht vom 11. auf den 12. Juli 1989 kam es im Semriacher Becken nach Wolkenbrüchen zu einem außergewöhnlich starken Hochwasser, das durch den Schauhöhlenteil abfloß und mit einer Flutwelle beim Peggauer Eingang austrat und beim "Gasthaus zur Lurgrotte" und am Angelande Schäden verursachte (der Schmelzbach war über 1 m hoch aus seinem steingemauerten Bett ausgetreten (MARCHER 1989; POKORNY 1989).

2.4.2. Ursachen der Hochwässer

Als Ursache praktisch aller Hochwässer kann die besondere hydrographische Situation gelten, die im Verein mit den morphologisch-geologischen Verhältnissen im oberen Semriacher Becken bzw. Lurbacheinzugsgebiet mit gering bis undurchlässiger Unterlage praktisch ausschließlich zu oberirdischer Entwässerung führt. Bei exzessiven Regenfällen kommt die überwiegende Abflußmenge des oberen Lurbacheinzugsgebietes der Lurgrotte zu. Mitgeführtes Wildholz führte in den meisten Fällen zu Verklausungen im Bereich der Schwinden und verursachte einen Rückstau, der je nach Grad der Verklausung die oben angeführten Katastrophen herbeiführte. Aus der Zeit vor 1894 war mündlich überliefert, daß die im Semriacher Becken lebenden Bauern die Verpflichtung hatten, den Lurbach vom Treibgut freizuhalten, eine Angelegenheit, die der gesunde Hausverstand zwar nahelegt, aber bei weitem nicht immer eingehalten wurde.

Insbesondere das Katastrophenhochwasser von 1975 wurde dadurch verursacht, daß am Bacheinlauf in die Semriacher Lurgrotte ein Holzrechen eingebaut wurde, der zwar das

Wildholz abging aber, weil er nicht geräumt werden konnte, die Verklausung vollkommen machte. Erst nach Überschreiten der Festigkeitsgrenzen brach diese Barriere durch und verursachte somit eine Flutwelle, die praktisch die meisten Einbauten zerstörte und dazu führte, daß die Lurgrotte bis zum heutigen Tage außer bei Spezialführungen mit geeigneter Ausrüstung nicht mehr durchgängig geführt werden kann. Auch die nach 1975 folgenden Hochwässer bauten auf den Umlagerungen und Zerstörungen des Jahres 1975 auf und führten so zu einer in manchen Abschnitten mehr als 50%-igen Verschüttung der Gänge und Querschnittsverringering der Gangprofile.

2.4.3. Abflußverbesserungen und Retentionsmaßnahmen

Die Auswirkungen von Hochwässern führten immer wieder dazu, daß versucht wurde, die Abflußverhältnisse in der Lurgrotte zu verbessern. Es mangelte nicht an Plänen und Projekten, wie dies zu bewerkstelligen sei.

Wie im Abschnitt über die Ursachen von Hochwässern schon angeführt worden ist, stellt die größte Beeinträchtigung nicht die bei Hochwässern allenfalls auftretende Wassermenge dar, sondern eher das mit den Hochwässern mitgeführte Wildholz und sonstige Material, das zu Verklausungen von Engstellen führen kann. Hochwasserereignisse und auch anthropogene Eingriffe im Schauhöhlenteil der Lurgrotte führten im Laufe der Jahre zu einigen Veränderungen, die bei Verbesserungsarbeiten berücksichtigt werden müssen.

Die älteren als Vollbetonstege (mit entspr. Armierung) ausgeführten Weganlagen erwiesen sich bei Hochwässern als besonders gutes Verklausungsmaterial. Unter Stau bzw. während des Aufstaus wurden diese Platten aus ihren Lagern gehoben und weitertransportiert, wo sie die Grundlage für weitere Verklausungen bildeten. Ein Aufarbeiten ist wegen der Armierung nur eingeschränkt möglich. Ähnlich verhält es sich mit unzweckmäßig angebrachten Geländern, die als ausgezeichnete Holzfänger funktionieren.

Von den zum Teil schon 15 Jahre alten Zerstörungen an den Einbauten durch die Hochwässer der 70er-Jahre wurden von den beiden Schauhöhlenbetrieben erhebliche Instandsetzungsarbeiten geleistet. Es sind jedoch noch immer zahlreiche Hindernisse zu beseitigen, deren Aufarbeitung den einzelnen Betrieb überfordert und somit die öffentliche Hand aufgerufen wäre, nachhaltig im Sinne der Erhaltung dieses einmaligen steirischen Naturdenkmals einzugreifen. So ist immer wieder eingeschwemmtes Holz herauszutransportieren, oder es sollten Blöcke, die vor Engstellen liegen und somit gefährdet sind, beim nächsten Hochwasser den Verschluß der Engstelle auszulösen, beseitigt werden. Steinschichtungen sollten auf keinen Fall in Prallhangbereiche verlegt werden. Recht gut bewährt hat sich u.a. die von den Schauhöhlenbetrieben eingeführte Praxis, statt aufwendiger Erneuerung von Betonstegen in exponierten Bereichen, nunmehr Gitterroste verankert auf Stahlträgern zu verwenden, da dadurch der früher von unten auf eine Betonplatte wirkende

Wasserdruck vermieden werden kann. Darüber hinaus wäre zu prüfen, ob dort, wo die Sicherheit der Besucher nicht gefährdet ist, auf Stege oder Geländer überhaupt verzichtet werden kann. Diese Frage betrifft hauptsächlich den Teil ab dem Geisterschacht.

Eine ganze Reihe von Vorschlägen zur Sanierung einzelner Höhlenteile führt WEISSENSTEINER (1974a, b, 1975, 1976a, b) an, die im Hinblick auf ihre praktische Durchführbarkeit zu überprüfen bzw. zu modifizieren wären.

Neben den unerläßlichen Wartungsarbeiten zur Offenhaltung der Abflußwege gab es auch schon frühzeitig Überlegungen, außerhalb der Lurgrotte Semriach sowohl im Semriacher Becken und/oder im oberen Lurbach-Einzugsgebiet (am "Boden") Retentionsmaßnahmen zu setzen und so Hochwasserspitzen abzufangen und die Wassermenge dosiert abzugeben. Auch dazu gab und gibt es eine Reihe von Vorschlägen, die in der Vergangenheit von der Ableitung in einem Kanal oder Stollen in den Rötschgraben bzw. an der Lurgrotte vorbei in den Badelgraben reichten, bis zum Bau von Hochwasserrückhaltebecken an verschiedenen Standorten. So schlug z.B. anlässlich der Hochwasserkatastrophe 1894 PUTICK vor, in der Waldschlucht oberhalb der heutigen Kläranlage eine 12 m hohe "Steinkasten-Stausperre" zu errichten, wobei er den Fassungsraum des Staubeckens mit ca. 37500 m³ bezifferte und bei einem Zufluß von ca. 2 m³/s die Füllzeit mit 5 h 12 min angab.

Tatsächlich wurden zur Wasserhaltung während der Rettungsarbeiten zwei Staudämme (Erddämme) errichtet, die im Bereich des Lurbachknies oberhalb Kote 666 situiert waren, und ein Vorhalt am Eingang in die Waldschlucht oberhalb der heutigen Kläranlage (s. WALBAUM & SIENER 1894; Taf. 1 bzw. Fig. 2).

Auch später wurden verschiedentlich in Projekten Maßnahmen (2 Retentionsbecken) geplant, die, begleitet durch Abflußverbesserungen in der Lurgrotte und weiterer Schwindenaufschließungen außerhalb der Höhle, es ermöglichen sollten, die Hochwasserbelastung der Lurgrotte zu senken.

Allen Projekten ist aber gemeinsam, daß sie für die Bemessung des Rückhaltes die Grundinanspruchnahme für Retentionsbecken, d.h. das Volumen und jene Wassermenge abschätzen müssen, die für einen ungehinderten Abfluß durch die Höhle gerade noch vertretbar ist. So ergaben Berechnungen an genau vermessenen Raumprofilen (z.B. Steg in der Vorhöhle bzw. Stelle des ehemaligen Entdeckerschluhs) im Eingangsbereich der Lurgrotte Semriach, daß eine Menge von 5-6 m³/s entsprechend einem Wasserstand von 1 m unter Voraussetzung, daß das Wasser frei von allfälligem Verkläusungsmaterial ist, ohne weiteres abflußfähig ist (BENISCHKE 1991). Dieser Wasserstand reicht gerade knapp unter das Niveau des betonierten Führungsweges im Umgehungsstollen des "Entdeckerschluhs". Größere Wassermengen würden in diesen eintreten und ihn letztlich unpassierbar machen.

3. KARSTWASSERZUSAMMENHÄNGE

3.1. Allgemeines - Geschichtliches

Die Feststellung hydrographischer Zusammenhänge im Karst erfolgt in der Praxis u.a. mittels Markierungsversuchen. Im einfachsten Fall wird ein Markierungsstoff, von dem man überprüft hat, daß er im zu untersuchenden Gerinne nicht oder nur in vernachlässigbaren Konzentrationen vorkommt, absichtlich in den Untergrund (z.B. in aktive Schwinden, Dolinen etc.) eingebracht. Als Ergebnis erhält man, wenn der Versuch erfolgreich verlaufen ist, den Nachweis einer Verbindung z.B. durch eine konkrete Färbung (bzw. ein durch andere analytische Verfahren erfaßbares Meßsignal) einer Quelle. Die Ergebnisse aus Markierungsversuchen, die im Laufe der Zeit im Bereich Tanneben-Semriach durchgeführt worden sind, sollen im folgenden näher dargestellt werden, wobei naturgemäß in diesem Rahmen nicht der Platz ist, jeden dieser Markierungsversuche in allen Details, in ihrer technischen Durchführung und in jeder ihrer Schlußfolgerungen darzustellen.

Zunächst erscheint es notwendig, einige historische Anmerkungen über die Bemühungen u.a. im vorigen Jahrhundert bzw. am Beginn dieses Jahrhunderts zu bringen, den unterirdischen Lauf des Lurbaches zu erforschen. Gleichzeitig stellen die meisten dieser Versuche letztlich wichtige Entwicklungsabschnitte der Markierungstechnik dar.

Eine der ältesten in der Literatur veröffentlichten Informationen (für weitere und darüber hinaus noch ältere historische Nachrichten siehe auch den Artikel von WEISSENSTEINER 1994) über die Lurbachschwinden bzw. die Lurgrotte Semriach und über eine mögliche Verbindung mit dem Schmelzbach auf der W-Seite des Tanneben-Massivs als eine Kuriosität der Natur stammt von KINDERMANN (1779):

"Semriach, ein Markt von 60 Häusern. Bei dem Markte verliert sich ein Bach in einem Berge und kömmt, nachdem er gegen 2000 Klafter unter demselben fortgeflossen, endlich unweit Peckau wieder zum Vorschein"

Diese Beschreibung war sicherlich von der Vorstellungen der Bewohner des Semriacher Beckens bzw. von Peggau geprägt, die mit dem "gesunden Hausverstand" gleichsam wußten, daß der Lurbach mit dem Hammerbach oder dem Schmelzbach in Peggau in Verbindung steht.

Über frühe Versuche, die Verbindung des Lurbaches mit den Austritten in Peggau nachzuweisen, berichtete ANDRAE (1854:27) in einer Arbeit über geologische Kartierungen dieses Raumes, die von der damaligen k.k. Geologischen Reichsanstalt durchgeführt worden waren:

"Die Peggauer Höhle, welche Herr Prof. U n g e r (a.a.O:) erwähnt, ist wohl diejenige, die oberhalb Peggau [der Ort Peggau reichte früher nicht bis zum Lurgrotteneingang im heutigen Peggau, sondern endete ca. auf Höhe der Kirche; Anm. d. Verf.] in einem einspringenden Winkel glatt abfallender Kalkwände bei der ehemaligen Bleischmelze liegt. Sie hat eine ziemlich umfangreiche Oeffnung, aus der ein Bächlein, das angeblich von Schöckl herkommen soll, zu Tage tritt, und hier gegen 20 Fuss hinabstürzt, um alsdann seinen kurzen Lauf zur Mur zu nehmen. Zur Zeit meines beabsichtigten Besuches, bald nach einem heftigen Regen, war sein Wasser so angeschwollen, dass ungeheure Massen desselben in jähem Sturze und mit

Donnergetöse aus der Höhlenmündung hervorbrachen, daher der Zutritt nicht gestattet ward. Etwas Näheres habe ich über die Höhle nicht erfahren können.

Von der Quelle des Peggauer Grabens [gemeint ist das ursprüngliche Bachbett des heutigen Hammerbaches; Anm. d. Verf.], die hinter dem Eisenbahn-Stationsgebäude unter den schroffen Uebergangskalkwänden hervortritt, wird allgemein behauptet, dass sie mit dem Wasser des Lukgrabens bei Semriach, welches im sogenannten Lukloche 1) [Fußnote v. Andrae: "Wohl eigentlich Luggraben und Lugloch"] verschwindet, in Verbindung stehe, und von diesem gespeist werde; die Communication soll angeblich dadurch näher bestätigt worden sein, dass in das Lukloch geworfene Holzsplitter bei Peggau wieder zum Vorschein gekommen wären."

Aus dem Artikel von ANDRAE geht jedenfalls hervor, daß er selbst die Gegend nicht allzu gut einschätzen konnte, da ihm andernfalls die Widersprüchlichkeiten in der Behauptung, der heutige Schmelzbach käme vom Schöckl und nur der Hammerbach werde vom Lurbach gespeist, auffallen hätte müssen. Andererseits gibt auch er eine Kurzdarstellung über ein Hochwasser (der Bericht datiert aus dem Sommer 1853), Einzelheiten sind bis jetzt nicht bekannt.

Ebenfalls im letzten Jahrhundert begann die detaillierte geologische Erforschung dieses Gebietes. Ein "hydrogeologisches" West-Ost-Profil (Fig. 6) vom Murtal durch den Tannebenstock in das Semriacher Becken mit Bezug auf das Lurbachsystem und entsprechende Vorstellungen über Morphogenese und eine Verbindung zwischen dem Lurbach in Semriach und den Quellen in Peggau lieferte WURMBRAND (1871).

WURMBRAND - späterer Handelsminister - stellte auch Überlegungen an, wie die Höhlen entstanden sein könnten und inwieweit durch den versinkenden Lurbach, bevor er seine heutige Position eingenommen hatte, die Höhlen der Peggauer Wand durch diesen entstanden sein könnten. Die Vorstellung, daß der Lurbach in einem höheren Niveau durch die Tanneben geflossen sei und dadurch die hochgelegenen Höhlen der Peggauer Wand entstehen konnten und dort wieder ausgetreten sei, ist in dieser Einfachheit sicherlich nur mehr historisch von Wert und entspricht zum Teil nicht den heutigen Vorstellungen vom Verkarstungsprozeß.

Trotz der aus heutiger Sicht teilweise unrichtigen geologischen Darstellungen kann WURMBRAND als jener Forscher gelten, der schon zu dieser frühen Zeit erste Vorstellungen von einer Vorflutbeziehung in der Höhlenentwicklung gehabt haben mußte, wenn er schreibt:

S. 416 ff.: "Was den Wasserzug dieses Gebirges betrifft, so hat er seit der Bildung der Höhlen und gewiss auch während der Diluvialzeit Veränderungen erfahren.....Der Semriacher Bach nämlich fließt über den Schiefergrund und die ihn bedeckenden Tertiärlagerungen hinweg und ergießt sich beim sogenannten L u g l o c h, einer nicht unbedeutenden Einbruchshöhle, in die Peggauer Kalksteinmasse.....Der Semriacher Bach, der einzige, dessen Einströmen uns nun bekannt ist, bildet, wie man bei Hochgewittern und mittelst eingeworfener Holzspäne oft beobachtet haben will, den früher erwähnten H a m m e r b a c h [der Autor bezeichnet mit Hammerbach den heutigen Schmelzbach, also den Austritt aus der Lurgrotte Peggau, während der heutige Hammerbach bei ihm als Peggauer Bach bezeichnet wird; wie sein Vorgänger ANDRAE, schreibt auch WURMBRAND über Versuche mittels hineingeworfener Holzspäne, die Verbindungen nachzuweisen; Anm. d. Verf.].....Wie dem auch sei, um diese Kalkhöhlen zu bilden, musste die Wasserströmung eine viel bedeutendere gewesen sein und die Verbindung der beiden Kalkmassen von Peggau und dem Westabhange des Schöckels ist vorauszusetzen. Auch ist anzunehmen, dass nachdem der durchklüftete Fels dem Wasserzug wenig Schwierigkeiten zu bieten scheint, die Auswaschung der unteren Höhlen erst dann erfolgte, als das Wasserniveau

diese Tiefe erlangte [das Nachhinken der Entwicklung der Höhlenentwicklung hinter der Tieferlegung der Vorflut kommt deutlich zum Ausdruck; Anm. d. Verf.]..."

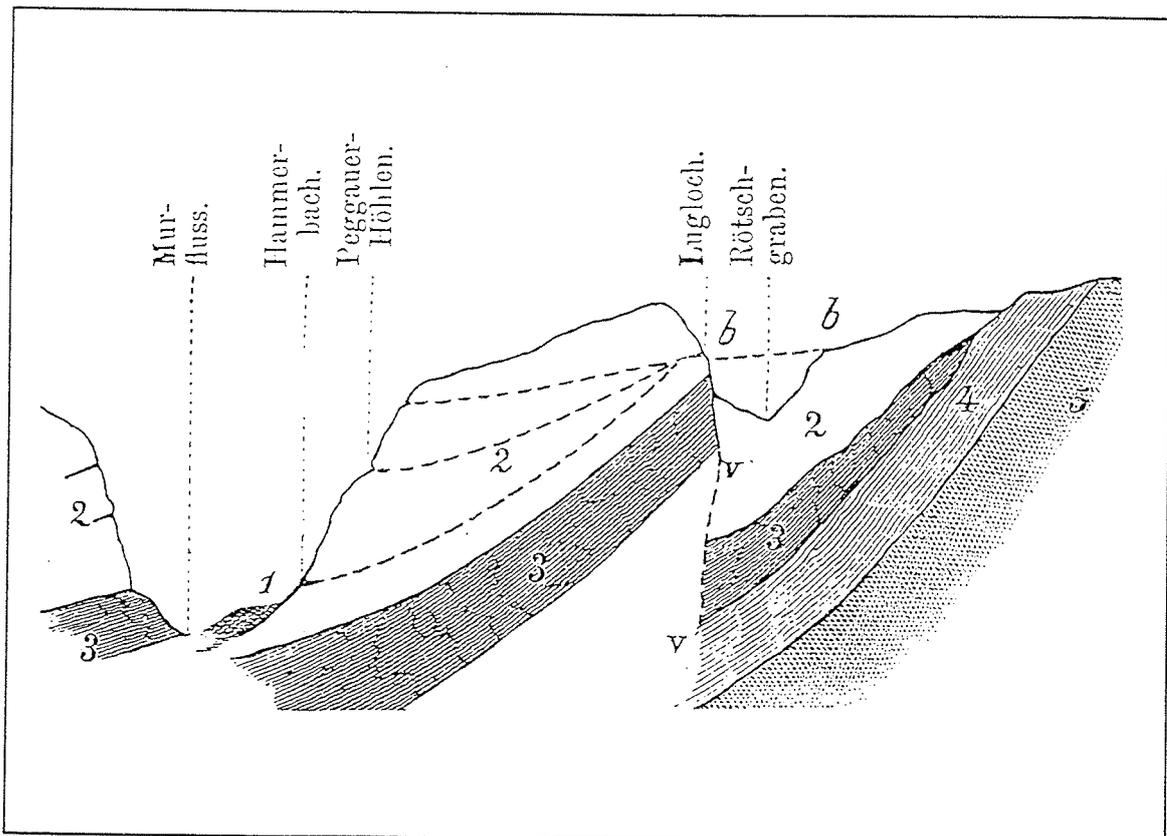


Fig. 6: "Hydrogeologisches" West-Ost-Profil durch den Tannebenstock mit Andeutung (strichlierte Linien deuten die sukzessive Tieferlegung an) der Karstentwässerung.

Legende: 1 = Schotter- u. Lössterrasse am Fuß d. Peggauer Wand, 2 = Devonischer Kalkstein, 3 = Devonischer Schiefer, 4 = Glimmerschiefer, 5 = Gneis des Schöckelstocks, vv = Verwerfungslinie, bb = einstiger Lauf des Semriacher (Lugloch-Röttschgraben-) Bachs (aus WURMBRAND 1871). Die ausgewiesenen Gesteinseinheiten entsprechen teilweise nicht dem heutigen Kenntnisstand.

Überlegungen zur Verbindung zwischen dem Lurbach und Austritten in Peggau und sorgfältige Beobachtungen über die Hochwasserereignisse im Semriacher Becken und ihr Einfluß auf Überschwemmungen in Peggau führte zu Ergebnissen, die den heutigen Vorstellungen von der Entwässerung nahekommen. Diese Vorstellungen wurden zuerst in einer Grazer Zeitung im letzten Jahrhundert von THINNFELD (1871, 1872), einer an Naturbeobachtungen interessierten Adligen (Fanny Freiin v. Thinnfeld), formuliert, die auch heute noch als fundamental³⁾ bezüglich der dynamischen Karstwasserbindung zwischen

³⁾ Fanny v.. THINNFELD hatte sicherlich nicht die volle Bedeutung ihrer Beobachtungen erfaßt. Sie kann zunächst nur als eine genaue Beobachterin gelten, die, weil sie schließlich in Peggau bzw. Deutschfeistritz wohnte, jedes Hochwasser und das unterschiedliche Verhalten von Hammerbach und Schmelzbach nach derartigen Ereignissen genau mitbekam. F. Thinnfeld's Beobachtungsgabe wurde offenbar durch ihren Vater Ferdinand Freiherrn v. THINNFELD gefördert, der schon 1837 als damaliger Besitzer der Badhöhle (Kat.-Nr. 2836/17) mit seinem Schwager Wilhelm Ritter v. HAIDINGER und mit Franz UNGER, Professor am Joanneum, die Höhlen des Gebietes insbesondere die Badhöhle untersuchte. Die Bezeichnung ihrer Beobachtungen als "fundamental" ist daher eine subjektive Wertung der Verf. und erst aus der heutigen Sicht und einer umfassenderen Kenntnis der Karstentwässerung dieses Gebietes vertretbar.

Hammerbach und Schmelzbach gelten kann. Aus diesem Grund soll auch dazu eine Volltextversion, zuerst jene von 1871 und danach die von 1872, mitgeteilt werden:

1871: *"..Oestlich von der Tanneben liegt das Semriacher Thal und das Wasser des größten Theiles dieser hochgelegenen Mulde fließt bei dem sogenannten Luegloch....., einer merkwürdigen, imposanten Höhlenbildung, in die Tanneben ein, und benöthigt ungefähr sechzehn Stunden, um durch den Berg zu gelangen...."* [schon hier zeigt sich, daß man durchaus wußte, wie lang u.U. Hochwässer von Semriach nach Peggau benötigen; die erwähnten sechzehn Stunden können, wie man heute aufgrund der zahlreichen Markierungsversuche weiß, zumindest am Hammerbach nur bei großen Hochwässern Gültigkeit haben, während beim Schmelzbach Hochwasserwellen mit ca. 30-45 min Durchgangszeit beobachtet worden sind; Anm. d. Verf.]

1872: *"Am Fuße des Felsens - im Orte Peggau selbst - entströmt dem Berge ein rascher klarer Bach, welcher nach kurzem Laufe, während dessen er zwei Mühlen und eine Drahtstiftenfabrik in Gang bringt, unterhalb Peggau in die Mur fällt. Ein zweiter, weit schwächerer Bach fließt etwa zehm Minuten Weges nördlich von Peggau ebenfalls aus der Tanneben, und das Felsenportal, aus dem er zu Tage tritt, sieht imposanter aus, als der Ausfluß des Peggauer Baches..... Das mindestens der Peggauer Bach identisch mit dem bei Semriach in die Tanneben einfließenden Bache sei, darüber dürfte wohl kein Zweifel obwalten; einanderes ist es mit dem nördlicheren dem sogenannten Schmelzbach. Während, nach jedem Regengusse der Peggauer Bach sich trübt und etwas anschwillt, hat ein solcher auf den Schmolzbach keinen Einfluß und derselbe bleibt beinahe immer klar. Das Wasser des Peggauer Baches trübt sich jedoch erst 16-17 Stunden nach Beginn des Regens im Semriacher Thale und bleibt manchmal einen Tag, bei anhaltenderem oder stärkerem Regen aber auch zwei oder drei Tage trüb."*

*Doch wächst der Bach nie stark an, während der Schmolzbach, so klein er gewöhnlich ist und bleibt, bei s e h r heftigen Gewittergüssen starke Ueberschwemmungen verursacht. So zerstörte er am 30. August 1865 nach einem furchtbaren Gewitter und Wolkenbruch, der auch die Bezirksstraße durch den Badelgraben gänzlich verwüstete, die damals neugebaute Sägemühle und war noch am nächsten Tage ein tosender Wildbach, während der Peggauer Bach zwar sehr trübe und größer als gewöhnlich war, doch nirgends seine Ufer überfluthete. Nur im Jahre 1827, zur Zeit der größten Ueberschwemmung, die es im ganzen Lande seit Menschengedenken gab, soll auch der Peggauer Bach nach vierzehntägigem Regen übergegangen und in manche tiefliegende Häuser geflossen sein.Das ist aber auch das einzigmal, daß man von einem Uebergehen des Peggauerbaches weiß, während beim Schmelzbache nach jedem stärkeren, länger heftig andauernden Regengusse verderbenbringende Ueberschwemmungen zu befürchten sind. **Diese sonderbaren Erscheinungen, welche sich zu widersprechen scheinen, dürften wohl nur damit zu erklären sein, daß man annehmen muß, der Lauf des Baches durch den Berg sei eine geraume Strecke so verengt, daß nicht mehr als eine bestimmte Wassermasse durchfließen kann, während bei großer Wasseranstauung ein anderes höheres Rinnsal, das in Verbindung mit dem Schmolzbache ist, erreicht wird, durch welches dann die größere Wassermasse schnell abläuft** [Fettdruck durch d. Verf]."*

Diese sehr präzisen Beobachtungen, welche zu jener Zeit ohne Möglichkeit eines Zuganges in den unterirdischen Abschnitt der Tanneben erfolgten, konnten schließlich quantitativ, basierend auf Auswertungen hydrographischer Beobachtungen am Hammerbach und am Schmelzbach, bestätigt werden (HARUM et al. 1990) und im Rahmen von Markierungsversuchen bei definierten Abflußzuständen (vgl. Kap. 3.2.) bewiesen werden.

Daß die Idee, den unterirdischen Lauf des Lurbaches durch Markierung mit einer geeigneten Substanz zu verfolgen, größere Verbreitung erlangt hat, ist u.a. auch daran zu erkennen, daß sie interessant genug war, um sie in eine touristische Beschreibung aus dem letzten Jahrhundert aufzunehmen (STEIR. GEBIRGSVEREIN 1882)

Das Interesse an den hydrologischen oder karsthydrogeologischen Phänomenen im Zusammenhang mit dem Lurbach entstand aus der Beobachtung des Verlaufes exzessiver

Regenfälle, die eine Überflutung des Semriacher Beckens bewirkten. Rückstau ereigneten sich immer dann, wenn die Lurgrotte und die übrigen Schwinden des Lurbaches mit eingeschwemmten Baumstämmen, Buschresten, Blöcken und anderen Materialien verlegt waren.

Schon gegen Ende des letzten und mehr noch am Beginn dieses Jahrhunderts war das Gebiet Peggau-Tanneben-Semriach durch die unermüdlich tätigen Erforscher weit über den lokalen Rahmen hinaus bekannt und bot sich auch damals schon als Experimentierfeld an. Zu dieser Zeit waren die Forscher von Semriach aus weit Richtung Peggauer Eingang vorgedrungen, Siphone (heute durch künstliche Stollen umgehbar) versperren aber den Weiterweg. Damals fanden die ersten Versuche statt, u.a. auch künstlich Salze als Markierungsmittel einzubringen. Anlässlich einer Höhlenfahrt wurden am oberen Ende der "Siegeshalle" in den in einem Siphon verschwindenden Bach 6 kg Viehsalz eingebracht. Als Beobachter für den Austritt am Schmelzbach ist Ing. (Josef) STINY und für den Hammerbach ein phil. Fr(anz) WONISCH genannt. Über die Art der Beobachtung und die Ergebnisse konnte bisher nichts in Erfahrung gebracht werden - vermutlich gab es wegen zu geringer Eingabemenge oder zu kurzer Beobachtungszeit kein Ergebnis (BOCK 1908). In einem späteren Artikel äußerte WONISCH (1908) seine Gedanken zu den hydrologischen Verhältnissen und den offensichtlichen Diskrepanzen in der Wasserbilanz, daß die Abflußmengen von Schmelzbach und Hammerbach die des Lurbaches übersteigen. Er bezieht in seine Überlegungen auch die Schwinden von Neudorf nördlich des Eichberges ein und zusätzlich jene des Badlgrabens. WONISCH regt auch an, zur Klärung in erster Linie Färbeversuche durchzuführen und findet es wünschenswert:

"...wenn zahlreiche Messungen des Wasserquantums der Peggauer und Semriacher Bäche, auf größere Zeit und verschiedene Wasserstände verteilt, vorgenommen würden."

Darüber hinaus gab es lokale Interessen, die Lurgrotte weiter zu erschließen und schon damals wurden die Hochwässer als das größte Hindernis erkannt. Im Jahre 1927 wurde dann der erste wissenschaftlich geplante Markierungsversuch ausgeführt (KYRLE 1928)⁴). Aber wissenschaftliche Planung und sorgfältige Durchführung sind nicht notwendigerweise erfolgreich, wenn die angewendeten Methoden für diesen Zweck nicht ausreichen. Zweck des Experimentes war, die Verbindung zwischen Lurbach und Schmelzbach bzw. Hammerbach eindeutig zu beweisen und die Durchflußzeit zwischen Schwinden und Wiederaustritt zu bestimmen. KYRLE (1928:33) berichtet u.a. über Vermutungen, daß dieser Zusammenhang nicht nur bei Hochwasser sondern auch bei Niederwasser bestünde. BOCK (1913, auch zit. in

4) KYRLE (1928:29) schreibt über die Motivation zu diesem Versuch: "Bei der am 18. und 19. November 1926 stattgefundenen kommissionellen Besichtigung der Lurhöhle bei Peggau und Semriach in Mittelsteiermark,....., wurde einstimmig die Notwendigkeit erkannt, daß es für die 'Klarstellung der unterirdischen Entwässerungsverhältnisse vom Semriacher Becken zum Murtal und als Grundlage für alle weiteren einschlägigen Entschlüsse unbeding notwendig erscheint, durch einen Chlorierungsversuch die unterirdischen Abflußverhältnisse festzustellen. Erst nach dieser Arbeit könne durch eine Fachmännerkommission an eine Überprüfung der bestehenden Ausbauprojekte oder Neuerstellung eines solchen geschritten werden'."

KYRLE 1928:33), der an der Erforschung der Lurgrotte maßgeblichen Anteil hatte, nahm an, daß der Lurbach bei Mittel- und Niederwasser nur den Hammerbach, bei Hochwasser dagegen auch den Schmelzbach alimentiert, bei Niederwasser der Schmelzbach-Ursprung sein Wasser aus den Schwinden bei Neudorf, Pöllau, Baßgraben und Aufragen und die Laurinsquelle aus dem darüberliegenden Tannebenstock gespeist wird, eine Ansicht, die mit Ausnahme des Augrabens durch die zahlreichen späteren Markierungsversuche bestätigt werden konnte. Am 18.2.1927 wurden schließlich unter Gesamtleitung von KYRLE 5 kg Korkschnitzel, 500 g gelöstes Fuchsin und 250 kg Viehsalz in die linke Lurbachschwinde eingespeist und am 19.02.1927 1000 Stückchen Holztrift, 500 g gelöstes Fuchsin und 250 kg Viehsalz in die rechte Lurbachschwinde. In keiner Beobachtungsstation (Schmelzbach-Ursprung, Laurinsquelle, Schmelzbach am Peggauer Ausgang und am Hammerbach) konnte eines dieser Markierungsmittel nachgewiesen werden. Wegen falscher Grundannahmen über Beschickungsmengen, nach heutiger Kenntnis inadäquater Analysemethoden und **vor allem wegen zu kurzer Beobachtungszeiten** schlug dieser Versuch fehl. Die Schlußfolgerung (KYRLE 1928:90) lautet im Originaltext wie folgt:

"Im Zusammenhalte und Vergleich der gewonnenen Resultate der kombinierten Chlorierungen können wir mit Sicherheit aussagen, daß zwischen dem Lurbache bei Semriach und dem Schmelzbach-Ursprung, der Laurinsquelle und dem Hammerbach-Ursprung bei Peggau keinerlei Zusammenhang nach Art eines Höhlenflusses bei Niederwasser besteht."

Daran zeigte sich letztlich deutlich, daß die Beurteilung negativer Resultate zu un-kritisch erfolgte, obwohl selbst KYRLE (1928:2) in der Einleitung zu seiner Publikation bei der kritischen Betrachtung über Färbeversuche schreibt:

"Der Versuch ist also nur im positiven Falle beweisend, im negativen kann er aber nichts Bestimmtes aussagen."

Der damals angewendeten Methodik wurde unbegrenzt vertraut und man konnte sich nicht vorstellen, daß bei diesem Versuch die Konzentrationen des Markierungsmittels auch unter der Nachweisgrenze des Verfahrens liegen könnten. Vor allem aber zeigen die heute bekannten Durchgangszeiten (s. Fig. 7, 8 und 9), daß beim damaligen Niederwasserversuch viel zu kurz beobachtet worden ist. Hätte KYRLE seine Schlußfolgerung nur auf den Schmelzbach-Ursprung bzw. auf die Laurinsquelle eingeschränkt, so wäre die Aussage für sich allein gesehen, obwohl nicht auf einem Beweis beruhend, richtig gewesen.

Im folgenden Kapitel werden die neueren Markierungsversuche behandelt. Eine Trennung von den älteren Versuchen erschien deswegen angebracht, weil bis zu den Versuchen Kyrles - diese eingeschlossen - nur qualitative Ergebnisse aufscheinen, während in der nachfolgenden Zeit der quantitative Aspekt immer mehr in den Vordergrund tritt.

3.2. Markierungsversuche nach 1950

Abgesehen von den oben erwähnten Versuchen konnte etwa 170 Jahre nach KINDERMANN die Verbindung zwischen dem Lurbach in Semriach und der Hammerbachquelle in Peggau im Rahmen eines wissenschaftlich geplanten und methodisch einwandfrei durchgeführten und darüber hinaus auch ausführlich dokumentierten Markierungsversuches erstmals bewiesen werden (MAURIN 1952, 1953a) als eine größere Salzmenge (800 kg) eingebracht und die Beobachtungszeit auf 82 h verlängert wurde.

Nachfolgende Experimente in den Jahren 1959 und 1966 zeigten (wie auch schon BOCK 1913 vermutet hatte), daß auch einige andere Schwinden in der Umgebung der Lurgotte Semriach (Eisgrube und Katzenbachschwinde N des Eichberges) ebenfalls mit dem Schmelzbach Verbindung hatten (MAURIN & ZÖTL 1959, BATSCHE et al. 1967). Die Versuche 1959 und 1966 waren der Beginn einer intensiven Erforschung der Eigenschaften von Markierungsmitteln. Eine Anzahl verschiedenster Substanzen wurde auf ihre Eignung als Markierungsstoff untersucht.

So wurden z.B. 1959 blaue Lycopodiumsporen in die Eisgrube NW von Neudorf, ungefärbte Lycopodiumsporen, blau gefärbtes Sägemehl, Diatomeenerde und Kunststoffkügelchen (Vestyron N) in die Lurbachschwinde eingespeist und rotgefärbtes Sägemehl in den damals aktiven Siphonbach kurz vor dem 3. Siphon in der Lurgrotte. Auch dieses Experiment bewies die Verbindung zwischen Lurbach und Hammerbach. Der Nachweis von 2 blauen Sporen im 3. Siphon wurde als Beweis einer Verbindung mit der Eisgrube angesehen (eine neuere Verifikation dieses Resultats ist noch ausständig), während die Untersuchung des Schmelzbach-Ursprunges negativ blieb.

1966 wurde in einem weiteren Experiment eine Anzahl von Markierungsstoffen auf ihre Eignung für derartige Zwecke untersucht (BATSCHE et al. 1967). Iod-131, Tritium, Mangan, braun gefärbte Lycopodiumsporen und Uranin wurden in die Lurbachschwinde eingebracht, blau gefärbte Lycopodiumsporen in die Eisgrube, Ammoniumbromid und grün gefärbte Lycopodiumsporen in die Katzenbachschwinde. Dabei wurde eine Verbindung zwischen Katzenbachschwinde und Schmelzbach-Ursprung, Kaskadenbach und Laurinsquelle beschrieben. Eine Verbindung zwischen Lurbach und Schmelzbach wurde nicht definitiv nachgewiesen und war möglicherweise eine Verschleppung von Markierungsmittel. Dasselbe kann für den Nachweis grün gefärbter Sporen in der Laurinsquelle vermutet werden, da alle späteren Experimente auch unter sehr unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen niemals den Zusammenhang mit dem Lurbach erbrachten. Darüber hinaus kann dies auch aus den Resultaten von isotopehydrologischen Untersuchungen und der Hydrochemie abgeleitet werden. (s. HARUM et al. 1992a, BENISCHKE et al. 1994).

1970 wurden zwei Experimente ausgeführt. Bei einem Versuch im Herbst jenes Jahres wurde Indium als EDTA-Komplex injiziert, um seine Eignung als Markierungsstoff zu untersuchen (ZÖTL 1971a). Die Versuche waren erfolgreich, die Eignung von Indium als Tracer wurde bestätigt und darüber hinaus auch die Verbindung zwischen Lurbach und Hammerbach wiederum nachgewiesen. Im selben Jahr wurden auch weitere Farbstoffe getestet mit Uranin als Referenzsubstanz bei gleichzeitiger Eingabe von Sulforhodamin G und B um herauszufinden, ob die Farbstoffe danach voneinander im Quellwasser unterschieden werden können (BAUER 1972).

Von 1971 bis 1983 wurden Versuche im Zweijahresabstand im Rahmen von Lehrveranstaltungen während der "Postgraduate Training Courses on Groundwater Tracing Techniques" (ZÖTL 1971b, 1973, 1975, 1977, 1979; ZOJER 1981, 1983) unter Verwendung (mit wenigen Ausnahmen) konstanter Eingabemengen ausgeführt. Diese Versuche wurden nicht ausgeführt, um neue Verbindungen nachzuweisen oder neue Substanzen zu testen, sondern ausschließlich, um die bestehenden Techniken zu lehren. Als Entnahmestellen waren jeweils nur Hammerbach und Schmelzbach vorgesehen. Weil die Versuche immer im Herbst stattfanden (mit Ausnahme eines größeren Experiments im Sommer 1975; BAUER 1975) war unter den zu diesen Zeiten normalerweise herrschenden Niederwasserbedingungen nur ein Nachweis am Hammerbach möglich.

Erst 1985 gab es wieder ein größeres kombiniertes Experiment mit verschiedenen Substanzen und unterschiedlichen Eingabestellen, um neuerlich die Verbindung zu den Schwinden des Neudorfer Gebietes zu verifizieren und als Neuerung erstmals auch die Verbindungen (mit Angabe von Durchgangszeiten) zwischen der Hochfläche der Tanneben und den bekannten Quellaustritten nachzuweisen, u.a. auch mit einer Langzeitbeobachtung von Schmelzbach-Ursprung und Laurinsquelle. Der Versuch war erfolgreich, da er zeigte, daß alle Markierungsstoffe, die auf der Hochfläche eingespeist worden waren (Fig. 2), sowohl im Hammerbach, als auch im Schmelzbach und in der Laurinsquelle nachzuweisen waren, jedoch erwartungsgemäß wegen der notwendigen Durchörterung der ungesättigten Zone mit stark reduzierter Wiederausbringung (2-3 %) im Vergleich zu den Tracern, die in die Lurbachschwinde eingebracht worden waren. Tracer, die in die Lurbachschwinde eingegeben worden waren (Amidorhodamin B 200 und Kaliumchlorid) brachten einen Erstnachweis 28-32 h nach der Einspeisung und wiesen die höchste Konzentration ca. 42 h nach Eingabe auf mit einer Wiederausbringung zwischen 50-70%. Das in die Eisgrube eingespeiste Natriumchlorid als Kochsalz erreichte nach 55 h den Schmelzbach am Lurgrottenausgang in Semriach mit einer Konzentrationsspitze 120 h nach Eingabe und einer Wiederausbringung von 9 % für Natrium und 34 % für Chlorid. Eosin, das auf der Hochfläche in eine durch Grabung erweiterte Doline knapp W' der Ertlhuber eingespist worden war, traf 67 h und mit einem Maximum 157 h nach Eingabe ein, Uranin aus der Schneiderkogelhöhle (Kat.-Nr. 2836/61) wurde im

Hammerbach 183 h mit einer isolierten Spitze 332 h nach Eingabe nachgewiesen. Diese Ergebnisse zeigen, daß bei Versuchen auf der Hochfläche mit einem bemerkenswerten Rückhalt innerhalb der ungesättigten Zone, die eine Mächtigkeit von 350-400 m aufweist, zu rechnen ist. Darüber hinaus verifizierte das Experiment die Verbindung zwischen Eisgrube (Kat.-Nr. 2836/64) und Schmelzbach-Ursprung, erbrachte aber keinen Nachweis einer Verbindung mit der Laurinsquelle (vgl. mit dem Experiment von 1966). Tracer, die in die Lurbachschwinde eingespeist worden waren, erschienen erwartungsgemäß im Hammerbach. Gleichzeitig wurden in Brunnen am Fuße der Peggauer Wand Proben entnommen, die aber keinen Nachweis einer direkten Grundwasseranreicherung erbrachten (BENISCHKE et al. 1988, ZOJER 1985). Die weitere Beprobung über eineinhalb Jahre ergab, daß der Tracer Uranin bis zum Frühjahr 1987 nachzuweisen war (in der Spätphase der Beprobung allerdings nur mehr über Aktivkohleproben und nicht mehr durch Direktmessung in der Wasserprobe). Diese Ergebnisse zeigten deutlich die erhöhte mittlere Verweilzeit des Tracers beim Durchtritt durch die ungesättigte Zone, was im Einklang mit den Ergebnissen der hydrochemischen und isopenhydrologischen Analysen steht.

Der Markierungsversuch 1987, der wieder nur die Beschickung der Lurbachschwinde zum Ziel hatte, brachte wieder dasselbe Ergebnis wie bei den Versuchen zuvor (BENISCHKE et al. 1987). Ähnlich verhielt es sich mit dem Versuch von 1988, der den Test, die einwandfreie Trennung bzw. Unterscheidung voneinander und den Vergleich von ca. 13 verschiedenen gleichzeitig eingebrachten Substanzen zum Ziel hatte (BENISCHKE & HARUM 1990a, BEHRENS et al. 1992). Dabei wurden auch wieder in den der Peggauer Wand vorgelagerten Brunnen Proben gezogen, die aber auch diesmal keinen Nachweis erbrachten.

Neue Erkenntnisse brachte der Versuch 1989, der bei abklingendem Hochwasser durchgeführt worden war, da zum ersten Mal eine fast 100%-Wiederausbringung der eingespeisten Substanzen festgestellt wurde. Aus dem zeitlichen Konzentrationsverlauf konnte eine klare Überlagerung der Entwässerung verschiedener hydraulisch zusammenhängender Karst-Teilsysteme erkannt werden, die je nach Zustand des Gesamtsystems vor, während und nach einem Hochwasser zeitlich versetzt aktiv werden (BENISCHKE & HARUM 1990a, 1990b). Dieses Phänomen wird noch später etwas genauer abgehandelt (Kap. 3.3.).

1991 wurde anlässlich des "Postgraduate Training Course" wieder unter Niederwasserbedingungen gearbeitet (BENISCHKE & HACKER 1991), und der einzige Nachweis erfolgte in der Hammerbachquelle. Ähnlich verlief der Versuch 1993, bei dem neuentwickelte Geräte (automatische Datenaufzeichnung durch vor Ort eingesetzte Meßgeräte) getestet wurden (BENISCHKE & HACKER 1993).

3.3. Fließzeiten und -geschwindigkeiten im Karstsystem

Zur Abschätzung der Fließgeschwindigkeiten dienen einerseits die aus den geschichtlichen Aufzeichnungen gewonnenen Daten, andererseits Berechnungen aus Markierungsversuchen. Bei letzteren ist allerdings Vorsicht geboten, da die meisten Markierungsversuche entweder bei Nieder- oder Mittelwasser oder im abklingenden Hochwasser durchgeführt wurden. Von den insgesamt 20 Markierungsversuchen war wegen des Termins der Markierungen meist im Herbst der Schmelzbach nur sehr selten betroffen.

So wurde im September 1975 das erste Auftreten des Tracers am Schmelzbachauslauf ($Q_{\max} = 5500 \text{ l/s}$) in Peggau nach 18,75 h, das Konzentrationsmaximum nach 22,75 h gemessen. Schüttungsspitze und Konzentrationsspitze waren allerdings nicht gleichzeitig. Messungen vom Lurbachpegel gibt es leider keine. Im September 1981 wurde an derselben Stelle ($Q_{\max} = 128 \text{ l/s}$) das 1. Auftreten mit 25,42 h und das Maximum mit 41,25 h gemessen. Die mit Tracern erfaßte kürzeste Durchgangszeit wurde im September 1989 ($Q_{\max} = 180 \text{ l/s}$) mit 12,72 h für das 1. Auftreten und mit 21,72 h für das Maximum gemessen. Diese Zeiten geben lediglich Anhaltspunkte und sind für Extremverhältnisse nicht repräsentativ. Neben den Beobachtungen aus dem vorigen Jahrhundert gibt es auch von BOCK (1913:8) Berichte über das verschiedenartige Abflußverhalten des Schmelz- und Hammerbaches nach Niederschlägen im Semriacher Becken:

"...Der Schmelzbach zeigt fast immer und stets schon nach kurzer Zeit, 1 1/2 bis 3 Stunden nach dem Eintreten des Hochwassers in Semriach höheren Wasserstand. Der Hammerbach reagiert nur bei außergewöhnlich hohen Niederschlägen und erst nach 16-18 Stunden, während die Wasserführung des Schmelzbaches oft bereits wieder zu normaler Höhe gesunken ist."

Beim Katastrophenhochwasser 1975 dürfte die Welle überhaupt nur ca. 30 min zwischen Semriach und Peggau benötigt haben, soweit sich dies aus den spärlichen Aufzeichnungen rekonstruieren läßt. Eine Markierung genau zur Spitze einer Hochwasserwelle am Lurbach war wegen der Zufälligkeit der Ereignisse bisher nicht möglich.

Die Fließgeschwindigkeiten, die aus den zahlreichen Markierungsversuchen gewonnen wurden, zeigen deutlich den Zusammenhang mit der Abflußmenge. Wegen der chemisch-physikalischen Eigenschaften der verwendeten Tracersubstanzen und den unterschiedlichen Beobachtungsperioden können die errechneten Werte nur eine Näherung der realen Fließgeschwindigkeiten und Durchgangszeiten liefern.

Trotzdem stellt der Tannebenstock vor allem aufgrund der zahlreichen bei unterschiedlichen Verhältnissen durchgeführten Markierungsversuche wohl eines bezüglich der Hydrodynamik und des Stofftransportes im Untergrund bestuntersuchten Karstgebiete dar. Seit dem ersten Nachweis einer Verbindung zwischen Lurbachschwinde und Hammerbach durch MAURIN (1952) wurden viele ausführlich dokumentierte Versuche mit der Eingabe der unterschiedlichsten Tracer in die Lurbachschwinde durchgeführt. Ein wirklicher Vergleich der

Fließzeiten und -geschwindigkeiten aus diesen Tracertests bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen ist nur für die verwendeten Substanzen möglich, die bezüglich ihrer Eigenschaften bei Versuchen im Karstaquifer i.a. als nahezu "idealer" Tracer bezeichnet werden können, das heißt nur vernachlässigbaren Veränderungen und Retardierungen im Untergrund unterliegen.

Dies ist vor allem bei den Tracern Uranin und Chlorid möglich, die beim Großteil der Versuche verwendet wurden und bei Vergleichstests auch nahezu dieselben Durchgangszeiten erbrachten.

Die Durchgangskurven aller Versuche mit Eingabe des Fluoreszenzfarbstoffes Uranin in die Lurbachschwinden sind in Fig. 7 für den Hammerbach und in Fig. 8 für den Schmelzbach dargestellt. Um trotz der unterschiedlichen Eingabemengen direkt vergleichen zu können, wurden die Konzentrationen durch Division der gemessenen Gehalte durch die Eingabemenge normiert, die Zeiten sind als Tage seit der Einspeisung dargestellt.

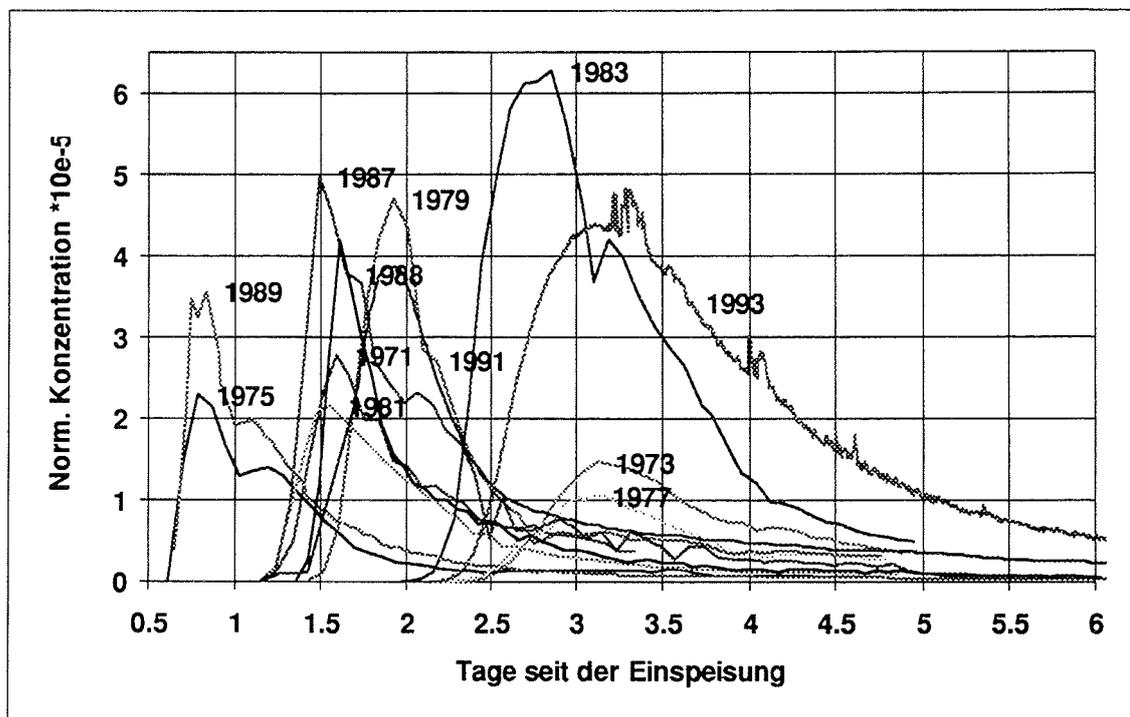


Fig. 7: Hammerbach: Normierte Durchgangskurven für Uranin aus allen Markierungsversuchen mit Eingaben in die Lurbachschwinde.

Die Durchgangskurven an der permanent vom Lurbach alimentierten Hammerbachquelle belegen die hohe Abhängigkeit der Fließzeiten von den hydrologischen Bedingungen während eines Tracerversuches und die geringe Aussagekraft eines einzigen Versuches über die Dynamik in einem Karstsystem. Konnte das erste Auftreten des Tracers bei den Hochwasserversuchen 1975 und 1989 bereits rund 17 Stunden nach der Eingabe

nachgewiesen werden, so war es bei den Niedrigwasserversuchen 1973, 1977 und 1993 erst rund 2,5 Tage nach der Einspeisung.

Alle Tracerdurchgänge zeigen einen auffällig langsamen Konzentrationsrückgang, der oft noch durch nicht durch Abflußereignisse bewirkte Sekundärpeaks unterbrochen wird. Da dieses Phänomen auch bei den sehr mobilen Tracern Chlorid und Bromid beobachtet werden konnte, sind als Grund hierfür Retardationsprozesse durch Sorption nicht anzunehmen.

Es liegt daher die Vermutung nahe, daß die Tracerdurchgänge die Überlagerung verschiedener Zeit-Konzentrationskurven widerspiegeln, die verschiedenen Fließsystemen oder -wegen im Hammerbachaquifer mit unterschiedlichen Fließzeiten entsprechen (BENISCHKE & HARUM 1992). Diese Annahme konnte durch mathematische Modellierung der Tracerdurchgänge untermauert werden. So führte die Berechnung mittels des Dispersionsmodells nur unter Annahme von bis zu 5 verschiedenen "Fließwegen" zu befriedigenden Resultaten (MALOSZEWSKI et al. 1992a).

Nur bei drei Markierungsversuchen (1975, 1981, 1989) mit erhöhten Abflußverhältnissen und aktivem Überlauf vom Hammerbach- in das Schmelzbachsystem konnten die in die Lurbachschwinde eingespeisten Tracer auch im Schmelzbach nachgewiesen werden. Auch hier ist wiederum eine Überlagerung mehrerer Durchgänge erkennbar (Fig. 8), die aber im Gegensatz zum Hammerbach zum Teil bekannten Fließwegen zugeordnet werden können.

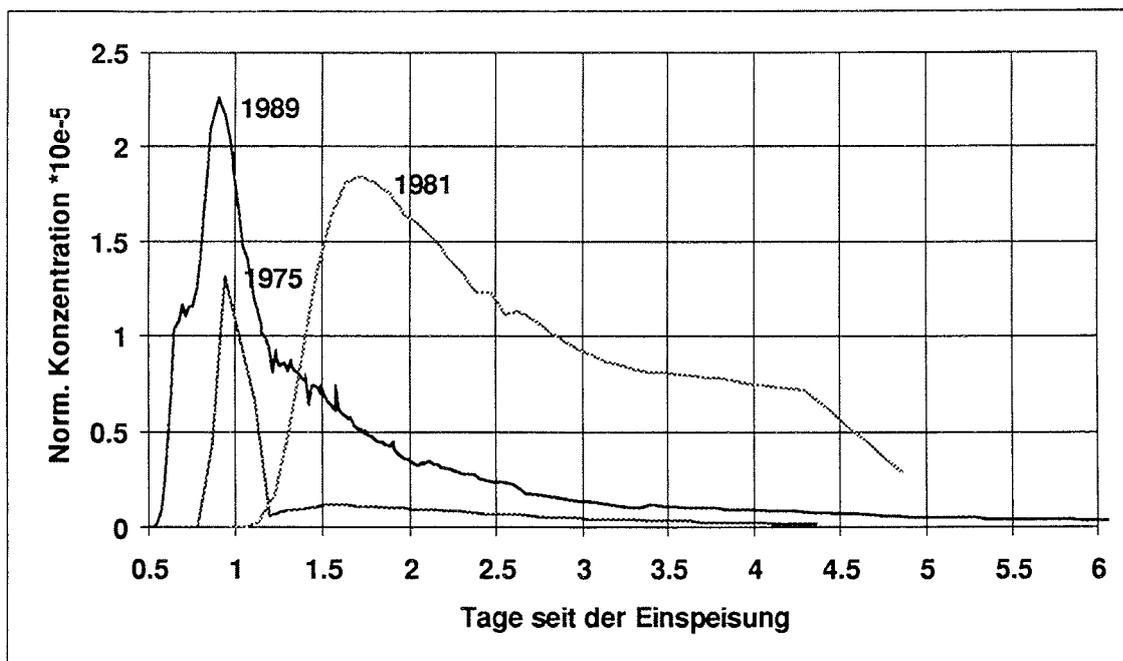


Fig. 8: Schmelzbach: Normierte Durchgangskurven für Uranin aus allen Markierungsversuchen mit Eingaben in die Lurbachschwinde.

Bei den beiden Versuchen mit den höchsten Quellschüttungen 1975 und noch deutlicher aufgrund der kürzeren Probennahmeintervalle 1989 sind zumindest zwei Fließwege erkennbar und auch identifizierbar: der erste mit der kürzesten Durchgangszeit repräsentiert den Abfluß von Lurbachwasser durch den bei beiden Versuchen aktiven, begehbaren Teil der Lurgrotte, der zweite den mit etwas Verzögerung stattfindenden Überlauf von Karstwasser aus dem Hammerbachaquifer. Beim Markierungsversuch 1981 unter nur höheren Mittelwasser- verhältnissen dürfte nur der Überlauf aktiv gewesen sein. Die Modellrechnungen ergaben für den Versuch 1989 maximal fünf Fließwege, 1981 nur drei (MALOSZEWSKI et al. 1992a, MALOSZEWSKI 1992), woraus abzuleiten ist, daß mehr Verzweigungen als bekannt existieren.

Die Gesamtwiederausbringungsraten der eingespeisten Markierungsstoffe zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Schüttung der Karstquellen, die sich in einer Ausbringungs- zunahme mit steigender Schüttung äußert. Sie liegen zwischen nur 10 % beim Niedrig- wasserversuch 1977 (Hammerbachschüttung ca. 80 l/s, Durchgang nur am Hammerbach) und etwa 100 % bei dem Hochwasserexperiment im Jahre 1989 (Q-Hammerbach rund 440 l/s, Durchgang bei beiden Quellen). Da dieses Phänomen auch bei sehr mobilen Tracern zu beobachten ist, sind hierfür zwei Erklärungen oder deren Kombination möglich (BENISCHKE & HARUM 1992):

- 1) Ein relativ konstanter Anteil der injizierten Tracer wird bei Niedrigwasserverhältnissen in feinklütigeren Zonen, Höhlensedimenten und inaktiven Hohlräumen längere Zeit gespeichert.
- 2) Ein annähernd konstanter Anteil fließt aus dem Hammerbachaquifer diffus in das Porengrundwasser des Murtales.

Allerdings zeigen die Ergebnisse des letzten im Herbst 1993 bei extremen Niedrigwasserverhältnissen durchgeführten Markierungsversuches eine relativ hohe Wiederausbringungsrate von ca. 65 %; es sind also bei den älteren Versuchen 1971-1977 durchaus auch analytische Probleme und/oder Ungenauigkeiten bei der Messung der Quellschüttungen in Betracht zu ziehen, die das Bild einer Zunahme der Ausbringungsraten etwas abschwächen.

Auch bei den Fließgeschwindigkeiten zeigt sich eine klare Abhängigkeit von der Schüttung. In Fig. 9 sind die aus dem Konzentrationsmaximum der Tracerdurchgänge ermittelten Fließzeiten im Hammerbachsystem als Funktion der Quellschüttung dargestellt.

Die Variationsbreite der Fließzeiten reicht von rund 19 Stunden bei erhöhter Wasserführung und 75 Stunden bei extremem Niedrigwasser. Wiederum zeigt sich, daß der Überlauf in das Schmelzbachsystem nur bei erhöhter Wasserführung (über 200 l/s) aktiv wird (Tracerdurchgang auch im Schmelzbach).

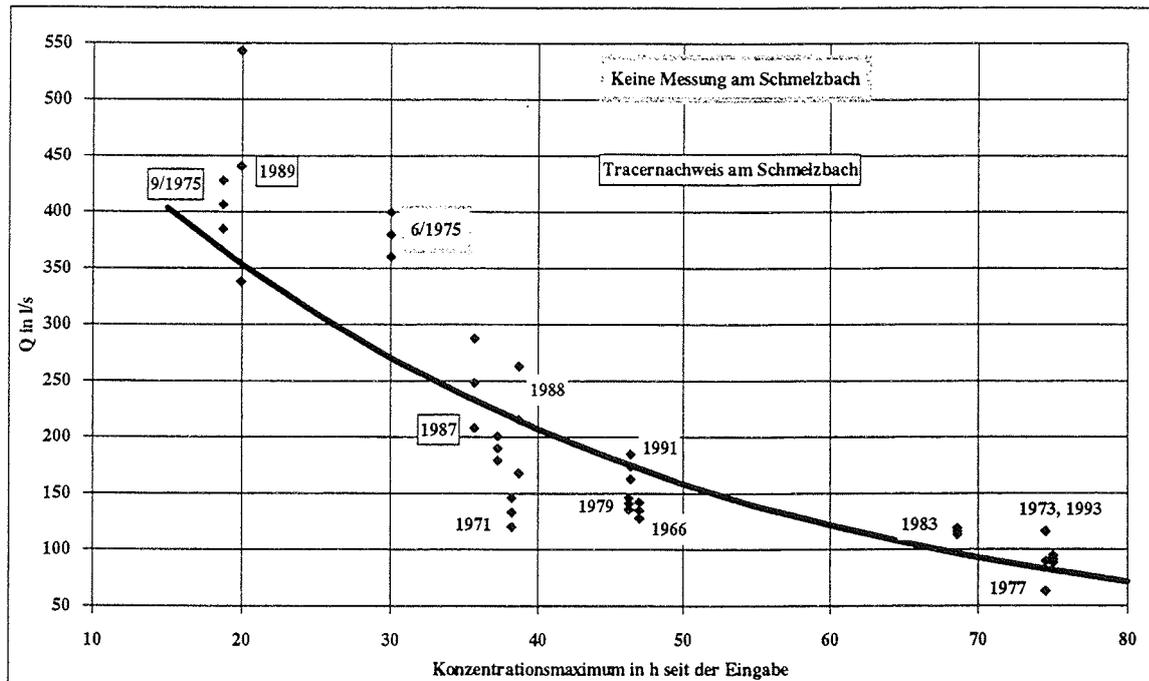


Fig. 9: Abhängigkeit der Fließzeiten von der Schüttung der Hammerbachquelle, berechnet aus allen Uranindurchgängen aus Eingaben in die Lurbachschwinde.

Alle Markierungsversuche, die seit dem Jahre 1927 durchgeführt worden sind, haben zumindest die Kenntnis von den unterirdischen Fließwegen erweitert und ebenso Fragen der regionalen oder lokalen Verbreitung der Tracer im Karstsystem bzw. damit verbunden der Infiltrationswässer geklärt. Neuere Ergebnisse aus den Markierungsversuchen führten aber auch zu verstärkten speleologischen Untersuchungen, um diese Resultate direkt verifizieren zu können. Es muß aber bewußt bleiben, daß daraus entstehende Erkenntnisse über das unterirdischen Abflußsystem immer auf den dem Menschen zugänglichen Teil beschränkt bleiben werden. Die direkte Verfolgung unterirdischer Abflußbahnen durch tatsächliche Begehung wird letztlich nur in entsprechend großlumigen Gangsystemen möglich sein (einschließlich der Möglichkeit des Durchtauchens von Siphonen).

Nichtsdestoweniger zeigt aber die Entdeckung des Blasloches (Kat.-Nr. 2836/229), daß Überraschungen immer möglich sind (KUSCH 1994). Von einigem Interesse - aber bislang unbekannt - wäre die genaue Lokalisierung dieses Höhlenteiles, in welchem die Zubringer vom Hammerbach zum Schmelzbachsystem abzweigen und wie diese beschaffen sind. Diese Zone muß nach den Ergebnissen der Markierungsversuche oberhalb des Schmelzbach-Ursprunges liegen, und kann nicht ausschließlich durch von unten zurückgreifenden Rückstau aus dem Hammerbachsystem erfolgen. Begehungen und eine eingehende Untersuchung oberhalb des Schmelzbach-Ursprunges auf allfällige Abzweigungen in Richtung Hammerbachsystem erbrachten die Existenz einiger Überlaufkanäle (alle sind auf der orographisch linken Seite situiert wie z.B. der Zubringer in der "Säulenhalle"), die mit steigender Schüttung (über 200 l/s)

der Hammerbachquelle nach oben fortschreitend nacheinander aktiv werden. Trotz aller Bemühungen war es bisher nicht möglich in diese Kanäle weiter einzudringen, da die meisten von ihnen durch Blockwerk oder Schwemmaterial soweit verlegt sind, daß ein Fortkommen bisher nicht möglich ist. Tauchversuche in den engen Siphonstrecken wie im Schmelzbach-Ursprung (N.N. 1950, KUSCH 1967) oder im Hammerbach-Ursprung (FRITSCHL 1964, WEISSENSTEINER 1969) in den vierziger Jahren bzw. 1964 endeten in engen Spalten, oder die Trübung des Wassers war so stark, daß ein weiterer Versuch vorzudringen, zu gefährlich gewesen wäre. Eine schematische Darstellung zeigt Fig. 10, die alle bisher erzielten Ergebnisse erfolgreicher Markierungsversuche mit den nachgewiesenen und verifizierten Verbindungen festhält. Darüber hinaus sind auch einige vermutete aber bislang nicht verifizierte Verbindungswege eingetragen. Dazu gehören z.B. Alimentationsmöglichkeiten des Schmelzbachsystems aus der Verlängerung des Badlgrabens nach NE über den Bassgraben hinaus. Kurz nach dem Zusammenfluß der die West- und Ostflanke begleitenden Gerinne des Schwarzkogels (922 m SH) kommt es zur meist vollständigen Bachversickerung. Am Beginn des Bassgrabens treten die Wässer (ob vollständig, ist nicht zu erkennen, und war bisher auch nicht meßbar) wieder aus, versickern allerdings im Bachbettschutt wieder und treten kurz vor der Mündung des Mühlgrabens wieder im Bachbett aus. Die nun größere Schüttung läßt sich durch einige Quellaustritte 1-2 m oberhalb des rechten Grabenufers aus der SE-Flanke des Schöneggkogels (772 m SH) erklären. Aus dem Bereich des Mitterbaches sind Schwinden oberhalb der Wasserfallstufe bei der Ruine Peggau bekannt, aus einer Höhle (Alexanderhöhle, Kat.-Nr. 2836/30) in unmittelbarer Nähe rechtsufrig des Mitterbaches sogar ein kleines Gerinne (BRUNELLO o. J., GANGL 1938).

3.4. Zusammenhänge zwischen Karstaquifer und Porengrundwasser im Murtal bei Peggau

Die meisten Markierungsversuche im Bereich des Lurbachsystems mit Eingabe in die Lurbachschwinde ergaben Wiederausbringungsraten bei der Hammerbachquelle von 60-70 % des eingespeisten Markierungsmittels. Aus der Tatsache, daß es praktisch keine anderen wichtigen Quellaustritte gibt, die nicht schon untersucht worden wären und über die die restlichen 30 % des Markierungsmittels ausgebracht worden sind, wird in der Literatur (z.B. MAURIN 1952, BATSCHE et al. 1967) die Meinung vertreten, daß das Porengrundwasser direkt aus dem Karstaquifer, also verdeckt durch die überlagernden Quartärschotter am Fuße der Peggauer Seite der Tanneben, alimentiert wird. Diese Annahme erscheint zunächst plausibel, da die Basis des verkarstungsfähigen Gesteins, die paläozoischen Schieferserien, einige Zehnermeter unter der Quartäroberkante ansetzen.

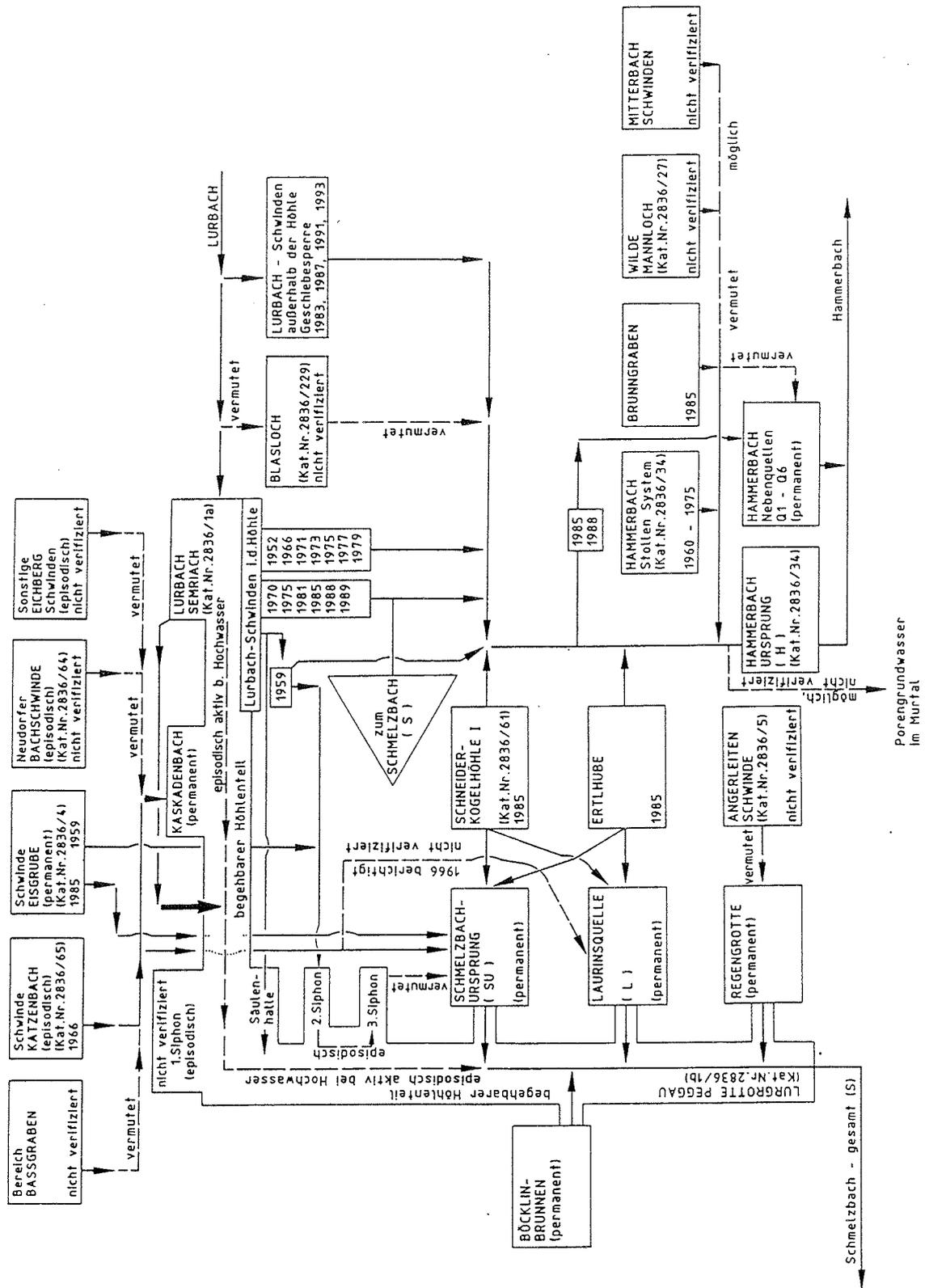


Fig. 10: Schema der Entwässerungszusammenhänge im Lurbachsystem auf Basis der nach 1927 erfolgreich verlaufenen Markierungsversuche.

Alle Karstquellen, die sichtbar austreten, treten mehr oder weniger auf Höhe der Würmterrasse aus. Innerhalb des begehbaren Teils der Peggauer Lurgrotte gibt es keine sichtbaren Hinweise darauf, daß der verkarstete Bereich tiefer hinabreicht als der derzeitige Austritt. Vom Hammerbach wiederum ist aber bekannt, daß ein Siphon noch etwa 4 m unter die Austrittskante hinabreicht. Zumindest aus diesem zuletzt angeführten (geologischen) Befund wäre eine Alimentation des Porengrundwassers aus dem gesättigten Bereich des Karstaquifers denkbar.

Neuere Untersuchungen von SCHICKOR (1983) zeigen, daß der Porenaquifer aus quartären Kiesen und Sanden relativ hoher Durchlässigkeit besteht (Durchlässigkeitsbeiwert von ca. $2-3 \times 10^{-3}$ m/s) bei einer Aquifermächtigkeit von bis zu 16 m in einem N-S- gerichteten Erosionsbett nahe der östlichen Talseite mit entsprechend ausstreichenden paläozoischen Kalken.

Da das Grundwasser für die Wasserversorgung von Peggau und einiger Privathäuser genutzt wird, ist die Klärung dieser Frage - der Zusammenhang zwischen Karst- und Porengrundwasser - als wichtiger Punkt zu betrachten und war daher auch Gegenstand von Untersuchungen anlässlich der Markierungsversuche. Am bestehenden Meßstellennetz des Hydrographischen Dienstes und weiteren Meßstellen im Zuge der Arbeiten von SCHICKOR (1983) wurde in allen bestehenden Brunnen des Grundwasserfeldes der Wasserstand bei zwei unterschiedlichen hydrologischen Situationen (hoher und tiefer Grundwasserstand) gemessen.

Das Gefälle des Grundwasserspiegels ist mit $1,1 \times 10^{-3}$ relativ gering. Sogar im Bereich des Hammerbachaustrittes ist keine Erhöhung des Wasserspiegels durch verstärkten Wasserzutritt erkennbar, die eine wesentliche Anreicherung des Porengrundwassers aus dem Karstaquifer anzeigen könnte. Südlich des Hammerbachaustrittes erscheint der Grundwasserspiegel zum Meßzeitpunkt um etwa 10 cm erhöht. Diese Erhöhung könnte nun einerseits durch Wasserverluste aus dem Hammerbach, d.h. Abgabe von Hammerbachwasser an das Grundwasser verursacht sein (das Gerinnebett des Hammerbaches liegt dort um einige Meter über dem Grundwasserspiegel), andererseits aber durch eine Anreicherung aus dem Karstaquifer. Die Grundwasserisohypsen bei einem niedrigen Wasserstand (März 1991) zeigen dieselbe Fließrichtung an und werden daher hier nicht dargestellt. Die aus den Untersuchungen berechneten Grundwasserisohypsen zeigen z.B. für einen hohen Grundwasserstand im Frühjahr 1991 (Fig. 11) einen in genereller N-S-Richtung parallel zur Mur verlaufenden Grundwasserabstrom.

Der Vergleich des Schwankungsverhaltens des Grundwasserspiegels in Meßstellen der Hydrographischen Landesabteilung mit den Schüttungsschwankungen der Mur und der Hammerbachquelle lieferte keine Hinweise auf eine Alimentation des Porengrundwassers aus dem Karst (HARUM & STADLER 1992). Die Schwankungen des Grundwasserspiegels selbst

von Meßstellen, die in unmittelbarer Nähe der Peggauer Wand liegen, zeigen eine deutliche Abhängigkeit vom Abflußregime der Mur, die im Bereich des Eintrittes von der Badleng in das breitere Becken in das Grundwasserfeld infiltriert. Hingegen zeigen Hochwasserspitzen der Hammerbachquelle keine Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel. Es kann daraus abgeleitet werden, daß etwaige Verluste aus dem Karst in das Porengrundwasser, wenn überhaupt vorhanden, nur diffus über feinklütigere Bereiche im Schöckelkalk in den tieferen Zonen des Hammerbachaquifers erfolgen und auch mengenmäßig untergeordnet sein müssen. Größere randliche oder punktuelle Karstwasserzutritte im Bereich der Peggauer Wand müßten in jedem Fall auch die Strömungsrichtung des Grundwassers deutlicher beeinflussen, als dies im Grundwasserisohypsenplan in Fig. 11 der Fall ist.

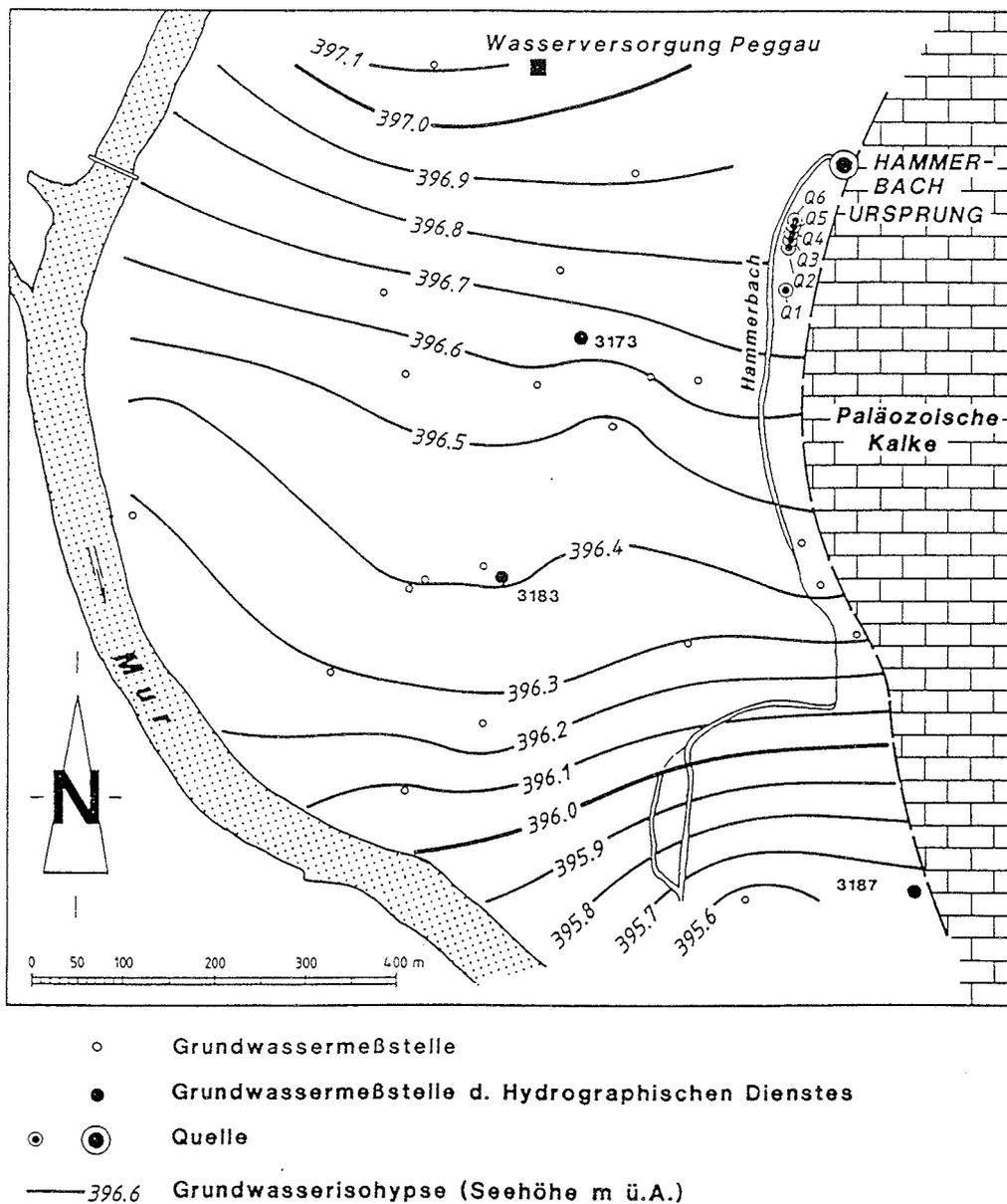


Fig. 11: Grundwasser-Isophypsen bei höherem Grundwasserstand (7.6.1991) im Porenaquifer nahe des Hammerbach-Ursprungs.

4. WASSERBILANZ, KARSTWASSERDYNAMIK UND SPEICHERVERMÖGEN IM TANNEBENSTOCK

Für eine Abschätzung der **Wasserbilanz des Tannebenstockes** wurde die Beobachtungsperiode 1966-70 herangezogen, in der für alle Meßstellen vollständige Datenreihen vorhanden sind. Die Wasserbilanzgleichung für das Gesamteinzugsgebiet der beiden großen Karstquellen Hammerbach und Schmelzbach inklusive des Lurbachgebietes lautet:

$$Q_T = N - ET_r$$

wobei

$Q_T = Q_{HB} + Q_S + Q_V$ = Summe der Jahresmittel der Abflüsse (Q) der Karstquellen Hammerbach (HB, inklusive der Schüttung der kleinen zum Hammerbachsystem gehörigen Quellen Q1-Q6) und Schmelzbach (S) und eines möglichen Verlustes von Karstwasser in den Porenaquifer des Murtales bei Peggau (V nicht gemessen).

N = Jahresmittel des Gebietsniederschlages.

ET_r = Jahresmittel der tatsächlichen Verdunstung (reelle Evapotranspiration).

Das Gesamteinzugsgebiet der beiden Karstquellen ist relativ gut abgrenzbar (s. Fig. 2) durch den Einschnitt des Badlgrabens im N, die im S anstehende Verkarstungsbasis (Schiefer) und das orographische Einzugsgebiet der Lurbachschwinde im E (Schiefer). Von den 22,8 km² des Gesamteinzugsgebietes entfallen 14,5 km² auf das zur Gänze in den Karst entwässernde Schiefereinzugsgebiet des Lurbaches, die verbleibenden 8,3 km² sind verkarstet und werden zur Gänze unterirdisch entwässert. Eine genaue Abgrenzung der Einzugsgebiete der beiden Karstquellen ist nicht möglich, eine grobe Abschätzung ergibt rund 4,9 km² für den Hammerbach (Südteil des Plateaus) und 3,4 km² für den Schmelzbach (Nordteil) inklusive der Laurinsquelle.

Als repräsentativer Gebietsniederschlag wurden die Meßdaten der Station Semriach (720 m SH angenommen ($N = 897$ mm)). Die Gebietsverdunstung (reelle Evapotranspiration) als im Karst kaum meßbare Größe wurde nach der Gleichung von TURC zu $ET_r = 441$ mm berechnet, wobei in die Berechnung nur die Parameter Niederschlagsjahressumme und Jahresmittel der Lufttemperatur eingehen (HARUM & STADLER 1992).

Die Ergebnisse der mittleren Jahreswasserbilanz und ein stark vereinfachtes Schema der Entwässerung im Karst des Tannebenstockes sind in Fig. 12 dargestellt. Die relativ hohe Gebietsverdunstung von knapp 50 % des Jahresniederschlages erscheint für einen bedeckten Karst mit einem überwiegenden Waldanteil durchaus realistisch. Von der Gesamtmenge der Karstwasserneubildung von rund 326 l/s beträgt der punktuelle Eintrag aus den Schiefereinzugsgebieten über die Schwinden des Lurbaches, des Katzenloches und der Eisgrube rund 180 l/s, 142 l/s stammen aus flächenhafter Versickerung von Niederschlagswässern auf dem Tannebenplateau.

Etwa 55 % der Gesamtgrundwasserneubildung werden vom Hammerbach entwässert, ca. 30 % von Schmelzbach und Laurinsquelle. Es verbleibt in der Wasserbilanz ein Restglied von 49 l/s (7,5 % des Gesamtniederschlags bzw. 15 % der Grundwasserneubildung). Für die Erklärung dieses Anteils gibt es mehrere Möglichkeiten:

- 1) Die gemessene Schüttung der Karstquellen entspricht nicht dem Gesamtabfluß des Karstaquifers. In diesem Fall könnte die Menge einem möglichen unterirdischen Abfluß von Karstwasser in das Porengrundwasser des Murtales am Fuß der Peggauer Wand entsprechen. Das Defizit in der Wasserbilanz entspricht etwa 27 % der mittleren Schüttung der Hammerbachquelle, an der die Wiederausbringungsraten in die Lurbachschwinde eingespeister Tracer bei den meisten Markierungsversuchen mit 60-70 % bestimmt wurden. Somit liegt also eine diffuse Anreicherung des Porengrundwassers durch Karstwasser aus dem Hammerbachaquifer über tieferreichende feine Klüfte im Schöckelkalk durchaus im Bereich des Möglichen, ist allerdings derzeit nicht beweisbar (die Tracer konnten bisher in keiner der Porengrundwassermeßstellen nachgewiesen werden).
- 2) Die Beobachtungsperiode von 5 Jahren ist für eine ausgeglichene Wasserbilanz zu kurz, das Defizit entspricht einer Rücklage.
- 3) Das Defizit wird durch Fehler bei der Berechnung der Gebietsniederschläge und/oder der Verdunstung verursacht. Beide Parameter sind naturgemäß mit hohen Fehlern behaftet.

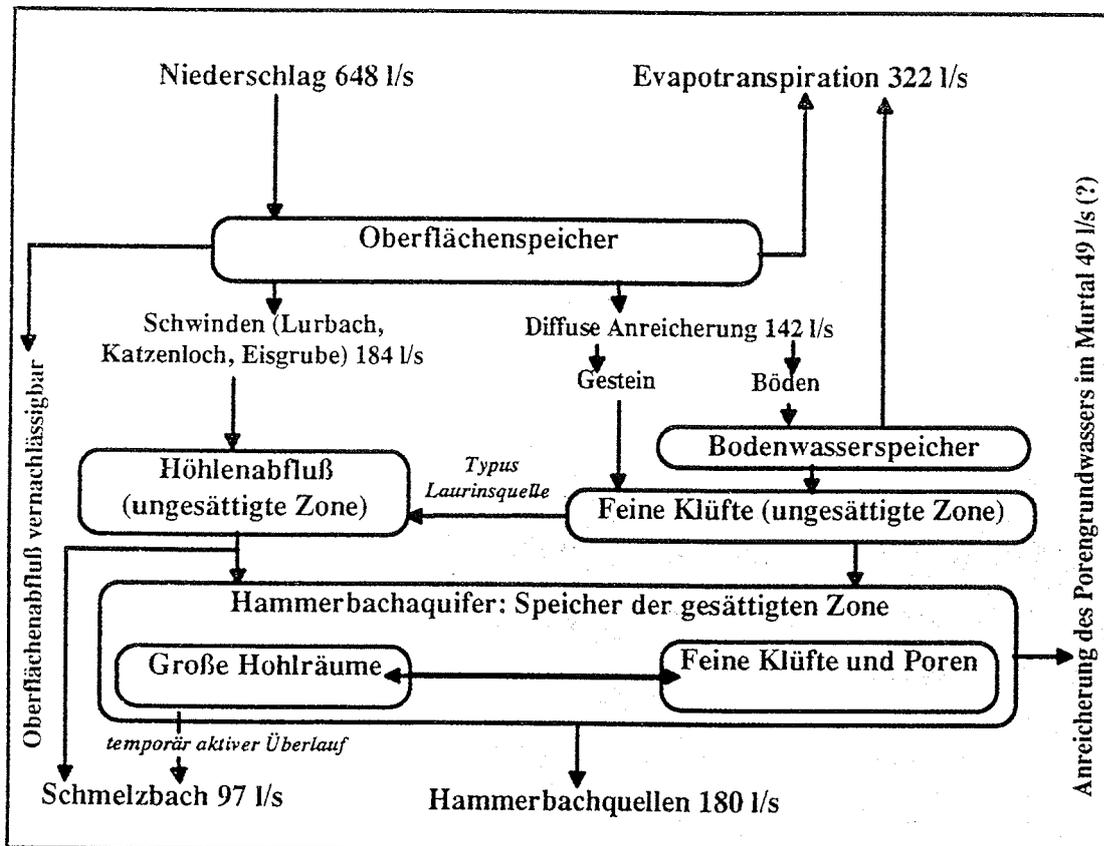


Fig. 12: Wasserbilanz und Schema der Karstentwässerung des Tannebenstocks.

Somit muß die Frage einer Alimentation des Grundwassers im Murtal aus dem Karst des Tannebenstockes derzeit offen bleiben. Wenn eine solche existiert, so findet sie wahrscheinlich in der Nähe der Hammerbachquelle aus der gesättigten Zone des Karstaquifers diffus über feine Klüfte und nicht punktuell über größere Karstkanäle statt. Eine Klärung dieser Frage wäre nur durch eine genauere Bilanzierung der Sickerwassermengen auf dem Plateau und eine

Verdichtung des Grundwassermeßstellennetzes im Bereich des Hammerbachaustrittes möglich.

Der Karst wird sehr oft mit dem Typus einer schnellen Entwässerung mit sehr kurzer Speicherung der Infiltrationswässer im Untergrund verbunden. Hierbei werden einerseits sehr oft die Reaktionszeiten der Schüttung von Karstquellen auf meteorologische Ereignisse mit den tatsächlichen Fließzeiten im Untergrund gleichgesetzt, andererseits vernachlässigt, daß ein erheblicher Anteil der Karstwässer über einen längeren Zeitraum in feineren Kluftsystemen oder temporär inaktiven Hohlräumen gespeichert wird (Fig. 12) und oft Verweilzeiten von mehreren Jahren aufweist.

Die Markierungsversuche im Lurgrottensystem und auch die hydrochemisch-isotopenhydrologischen Untersuchungen während Hochwasserereignissen mit Beprobungen in kurzen Intervallen haben gezeigt, daß der Transport von gelösten Stoffen im verkarsteten Untergrund bedeutend langsamer als die Bewegung einer Hochwasserwelle vor sich geht. So konnte beobachtet werden, daß bei auftretenden Hochwassereignissen mit dem Beginn der Reaktion der Quellschüttung vorerst nur "älteres" Reservoirwasser aus dem Karstaquifer "herausgepresst" wird (HARUM et al. 1990, 1992b, HARUM & FANK 1992); oft überwiegt dieser Anteil selbst noch beim Erreichen der maximalen Quellschüttung. Der Abfluß von "Frischwasser" an der Quelle beginnt oft erst mit Verzögerungen von mehreren Stunden, bei einem Hochwassereignis am Schmelzbach erreichte er sein Maximum erst rund 24 Stunden nach der Hochwasserspitze zu einem Zeitpunkt als die Quellschüttung schon fast wieder den Ausgangswert erreicht hatte (HARUM et al. 1992b). **Es ist hier also sehr deutlich zwischen Reaktionszeit und tatsächlicher Fließzeit zu differenzieren.** Dasselbe Phänomen konnte im Zuge eines kombinierten Markierungsversuches 1988 beobachtet werden (BENISCHKE & HARUM 1992). 24 Stunden nach der Tracereingabe in die Lurbachschwinde trat an derselben ein Hochwasser auf; das erste Auftreten der Markierungsstoffe an der Hammerbachquelle konnte gleichzeitig mit dem Schüttungsanstieg registriert werden. Das markierte Wasser repräsentierte also "älteres" Reservoirwasser, das - durch die Hochwasserwelle hydraulisch stimuliert - zum Abfluß gelangte.

Durch **Markierungsversuche und spezielle Untersuchungen von Abflußereignissen** wird nur **jener Teil des Karstwässers** erfaßt, der **das System sehr rasch durchfließt**. Die derart ermittelten maximalen Fließgeschwindigkeiten liegen für das **Hammerbachsystem** zwischen rund **0,99 und 3,94 km/Tag**, für den **Schmelzbachaquifer** zwischen **1,75 und 3,31 km/Tag**, die mittleren Fließgeschwindigkeiten (errechnet aus dem Schwerpunkt des Tracerdurchganges als Mittel über alle möglichen Fließwege) zwischen **0,86 und 2,13 bzw. 1,11 und 1,95 km/Tag**.

In diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt sind jene **Karstwasseranteile**, die **lange Verweilzeiten** in der **ungesättigten Zone** und in **feinklüftigeren Teilsystemen** aufweisen und temporär im Untergrund stagnieren. Diese Anteile und deren Verweilzeiten können nur durch längerfristige isotopehydrologische Untersuchungen erfaßt werden. So ergaben Tritiumuntersuchungen für die ausschließlich Wasser aus der mächtigen ungesättigten Zone entwässernde **Laurinsquelle** ein mittleres Wasseralter von rund **40 Jahren**, für den **Schmelzbach-Ursprung** zu Zeiten ohne Verbindung zum Hammerbachsystem **30 Jahre** und selbst für den **Hammerbach** rund **20 Jahre** inklusive des permanenten Anteils von Lurbachwasser mit kurzer Verweilzeit (MALOSZEWSKI et al. 1992b). Wenn auch diese mittleren Verweilzeiten aus Tritiumuntersuchungen nur als grobe Näherung betrachtet werden dürfen und natürlich auch sehr junge Komponenten inkludieren, so zeigen sie doch, daß ein sehr hoher Anteil der auf dem bewaldeten Karstplateau infiltrierten Niederschlagswässer sehr lange Zeit im Untergrund gespeichert wird. Dafür sprechen auch die aus Tracereingaben im Bereich des Plateaus (z.B. aus der Eingabe von Eosin auf der Ertlhube beim Markierungsversuch 1985) ermittelten geringen Wiederausbringungsraten von nur 2-3 % mit vergleichsweise geringen mittleren Fließgeschwindigkeiten von 48-106 m/Tag, die nur für die jüngste Fließkomponente in der ungesättigten Zone repräsentativ sind.

Vergleicht man die insgesamt gespeicherten Karstwasservolumina in der ungesättigten Zone mit denjenigen in den rasch durchflossenen Karstkanälen der gesättigten Zone, so ergibt sich für das Gebiet der Tanneben ein Verhältnis von rund 2000:1 (MALOSZEWSKI et al. 1992b). Auch das aus Schüttungsrezessionskurven ermittelte auslauffähige Volumen ist knapp 100 mal kleiner als das gespeicherte Gesamtvolumen im Karststock (HARUM 1992, MALOSZEWSKI et al. 1992a).

Bei allen Fehlern, die solche Berechnungen naturgemäß beinhalten, belegen sie doch, daß die jüngeren, rasch das System durchfließenden Karstwasseranteile eigentlich nur einen geringen Teil des Gesamtvolumens ausmachen, der aber immer wieder durch spektakuläre Hochwassereignisse sehr leicht das Interesse der Öffentlichkeit hervorruft.

5. SCHLUSSBEMERKUNG

Die Erkenntnisse über den komplexen Entwässerungsmechanismus im Karst des Tannebenstocks sind weit davon entfernt, vollständig zu sein. Trotz der zahlreichen, kaum in einem anderen Karstgebiet in solcher Intensität vorhandenen Untersuchungen sind noch viele Detailfragen vor allem über die Fließvorgänge in der ungesättigten Zone und die Frage einer etwaigen Anreicherung des Porengrundwassers im Murtal offen. Neben der geologischen und speläologischen Erforschung des Karstgebietes können solche Fragen nur durch die Kombination der unterschiedlichsten hydrogeologischen Methoden geklärt werden, um unser noch sehr unvollständiges Bild von der Karstentwässerung weiter zu vervollkommen. Der fast

als Naturlysimeter zu betrachtende Tannebenstock mit den umfangreichen Voruntersuchungen eignet sich auf besondere Weise zur Klärung von Fragen, die auch auf andere Karstgebiete übertragen werden können.

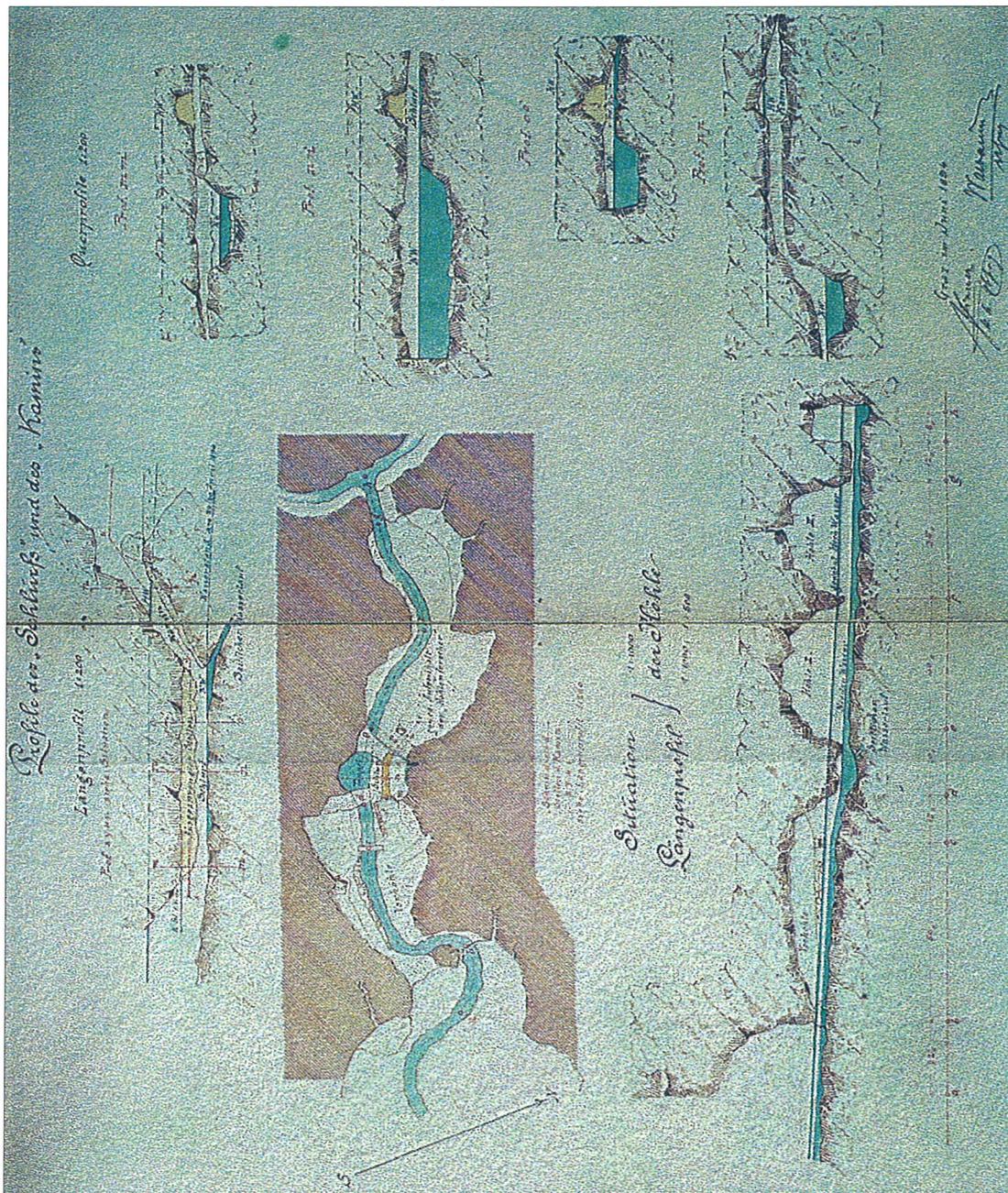
6. LITERATUR UND UNTERLAGEN

- ANDRAE, K. J. (1854): Bericht über die Ergebnisse geognostischer Forschungen im Gebiete der 9. Section der General-Quartiermeisterstabs-Karte in Steiermark und Illyrien während des Sommers 1853.- Jahrb. k.k. Geol. Reichsanstalt, **5** (III), 23-24, Wien.
- BARNES, B. S. (1939): The Structure of Discharge Recession Curves.-Trans.Am.Geophys.Union, **20**, S.721-725, Washington.
- BATSCHKE, H., F. BAUER, H. BEHRENS, K. BUCHTELA, F. HRIBAR, W. KÄSS, G. KNUTSSON, J. MAIRHOFER, V. MAURIN, H. MOSER, F. NEUMAIER, L. OSTANEK, V. RAJNER, W. RAUERT, H. SAGL, W.A. SCHNITZER & J. ZÖTL (1967): Ergebnisse der vergleichenden Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **18/19**, 331-404, Graz.
- BAUER, F. (1972): Untersuchungen über die Verwendbarkeit von zwei Fluoreszenzfarbstoffen im Rahmen eines Färbeversuches.- Geol. Jb., **C 2**, 61-73, Hannover.
- BAUER, F. (1975): Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Tinopal CBS-X als Tracer.- Papers 3rd Int. Symp. Underground Water Tracing (3. SUWT), Ljubljana-Bled, Sept. 27 - Oct 1, 1976, 17-25, Ljubljana.
- BEHRENS, H., R. BENISCHKE, M. BRICELJ, T. HARUM, W. KÄSS, G. KOSI, H.P. LEDITZKY, CH. LEIBUNDGUT, P. MALOSZEWSKI, V. MAURIN, V. RAJNER, D. RANK, B. REICHERT, H. STADLER, W. STICHLER, P. TRIMBORN, H. ZOJER, M. ZUPAN (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria).- In: ATH (1992): Transport Phenomena in Different Aquifers (Investigations 1987-1992), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 9-158, Graz.
- BENISCHKE, R. (1991): Maßnahmen zur Hochwasserretention am Lurbach (Semriacher Becken). Auswirkungen auf das Lurhöhlensystem.- Unveröff. Ber., Joanneum Research, 19 S., Graz.
- BENISCHKE, R. (1992): Conclusions from the Tracing Experiments.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria).- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 145-146, Graz.
- BENISCHKE, R., J. GOLDBRUNNER & P. HACKER (1987): Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques. Tracing Experiment 1987 Peggau-Semriach. Evaluation.- Unveröff. Bericht, 26 S., Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM & H. ZOJER (1988): Hydrogeologische Erfassung von Aquiferparametern und deren Wechselwirkung in einem Karst- und Porengrundwasserkörper, dargestellt im Bereich von Peggau, Mittelsteiermark, Teil II.- Unveröff. Bericht, Joanneum Research, 72 S., Graz.
- BENISCHKE, R. & P. HACKER (1989): 12th Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques. Tracing Experiment 1989 Semriach-Peggau, Evaluation.- Unveröff. Bericht, 28 S., Graz.
- BENISCHKE, R. & P. HACKER (1991): 13th Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques. Karstaquifer. Tracing Experiment 1991 Semriach-Peggau, Evaluation.- Unveröff. Bericht, 22 S., Graz.
- BENISCHKE, R. & P. HACKER (1993): 14th Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques. Karstaquifer. Tracing Experiment 1993 Semriach-Peggau, Evaluation.- Unveröff. Bericht, 19 S., Graz.
- BENISCHKE, R. & T. HARUM (1990a): Markierungsversuch Lursystem 1988. Zusammenstellung der Tracerdurchgänge.- Unveröff. Bericht, 34 S., Graz.
- BENISCHKE, R. & T. HARUM (1990b): Untersuchungsgebiet Lursystem. Kurzbericht über die Ergebnisse des Markierungsversuches im Herbst 1989.- Unveröff. Bericht, 16 S., Graz.
- BENISCHKE, R. & T. HARUM (1992): Results of all Tracing Experiments from 1927-1991.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria).- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 100-116, Graz.
- BENISCHKE, R., H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 332 S., Graz (Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk.).
- BENISCHKE, R., T. HARUM & H.P. LEDITZKY (1996): Berechnung von Karbonat-Kohlensäure-Gleichgewichten: ein Hilfsmittel zur Charakterisierung der Hydrodynamik und Herkunft von Karstwässern.- Mitt. Österr. Geol. Ges., **87/1994** (Hydrogeologie), 37-46, Wien.
- BOCK, H. (1908): Tourenbuch d. Ver. f. Höhlenkunde.-Graz.
Anm.: fragmentarisch vorh., einliegend im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk. unter Sign. BOC01.
- BOCK, H. (1909): Erschließung der Lurgrotte von Peggau.- Mitt. f. Höhlenkunde, **2** (1), 6-7, Graz.
- BOCK, H. (1911a): Bericht über die Jahreshauptversammlung am 11. April 1910.- Mitt. f. Höhlenkunde, **4** (1), 5-7, Graz.
- BOCK, H. (1911b): Jahres-Hauptversammlung des Vereins für Höhlenkunde (in Österreich) am 16. Februar 1911.- Mitt. f. Höhlenkunde, **4** (Beil. zu 3), 1-5, Graz.

- BOCK, H. (1911c): Die Hochwasserkatastrophe in der Lurgrotte am 21. Mai 1910.- Mitt. f. Höhlenkunde, **4** (Beil. zu 3), 5-6, Graz.
- BOCK, H. (1913): Der Charakter des mittelsteirischen Karstes.- Mitt. f. Höhlenkunde, **6** (4), 5-19, 13 Abb., 1 hydrograph. Karte 1:50.000, Graz (Juli 1913).
- BOCK, H. (1928): Das Lurloch in der Steiermark.- Mitt. über Höhlen- u. Karstforschung, Zeitschr. d. Hauptverbandes Deutscher Höhlenforscher, 1928 (3), 65-81, 2 Abb., 1 Plan, Berlin.
- BRUNELLO, M. (o. J.): Tanneben Gebirg.- Unveröff. Ber., 9 S., 5 Skizzen, Graz.
Anm.: handschriftl. Bericht im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk. unter Sign. BRU01.
- FRITSCHL, L. (1964): "Unter Larven die einzig fühlende Brust...". Kühnes Tauchunternehmen in der "Felsengrotte" in Peggau endet mit dramatischem Zwischenfall.- Kleine Zeitung, **61** (287), 10-11, 2 Fotos, Graz Do., 10.10.1964.
- (GANGL, J.) (1938): Die Forschungen Max Brunellos im Tannebengebiet.- Mitt. Höhlenk., N.F., **30** (1), 1-3, Graz.
- GRAF, F. (1991): EDV-gestützte Analyse von Abflußrückgängen.-Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Graz, 80S, Graz.
- GRAZER EXTRABLATT (1894a): (Hochwasser).- **1** (186), 3, Graz Do., 4. Oktober 1894.
- GRAZER EXTRABLATT (1894b): Ueberschwemmungen.- **1** (188), 2-3, Graz Sa., 6. Oktober 1894.
- HARUM, T. (1992): Karst Aquifer Hydrodynamics and Storage.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 146-151, Graz.
- HARUM, T. & J. FANK (1992): Hydrograph Separation by means of Natural Tracers.- In: H. HÖTZL & A. WERNER (1992): Tracer Hydrology, Proceedings of the 6th International Symposium on Water Tracing, Karlsruhe 21.-26. September 1992, 143-146, Rotterdam (Balkema).
- HARUM, T., H.P. LEDITZKY, H. ZOJER & W. STICHLER (1990): Utilisation de traceurs naturels pour la caractérisation de l'hydrodynamique et des changements temporaires dans deux systèmes aquifères karstiques.- Mémoires of the 22nd Congress of IAH, **XXII**, 392-404, Lausanne.
- HARUM, T. & H. STADLER (1992): Hydrologic and Climatologic Conditions.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 34-49, Graz.
- HARUM, T., H. ZOJER, H.P. LEDITZKY, R. BENISCHKE, W. STICHLER, P. TRIMBORN, D. RANK & V. RAJNER (1992a): Long-Term Investigations with Natural Tracers.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 50-64, Graz.
- HARUM, T., H. ZOJER, W. STICHLER & P. TRIMBORN (1992): Short-Term Investigations by Means of Natural Tracers.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 64-77, Graz.
- HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO (1983): Die Niederschläge, Schneeeverhältnisse, Luft- und Wassertemperaturen in Österreich im Zeitraum 1971-80.- Beitr. z. Hydrographie Österreichs, **43**, 364 S., Wien (Hydrographisches Zentralbüro, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft).
- KINDERMANN, J. C. (1779): Historischer und geographischer Abriß des Herzogthums Steyermark.- 1. Aufl., Grätz.
- KUSCH, H. (1967): Die Tauchversuche im Schmelzbachursprung der Lurhöhle (Steiermark).- Die Höhle, **18** (4), 108-110, Wien.
- KUSCH, H. (1991): Das Blasloch (Kat.-Nr. 2836/229) im Tannebenstock bei Semriach (Steiermark).- Die Höhle, **42** (1), 1-4, Wien.
- KYRLE, G. (1928): Kombinierte Chlorierung von Höhlengewässern.- Speläolog. Monographien, **XII**, 94 S., Wien.
- MAILLET, E. (1905): Mécanique et physique du globe.-Essais d'hydraulique souterraine et fluviale.-218S, Paris.
- MALOSZEWSKI, P. (1992): Mathematical Modelling of Tracer Transport in Different Aquifers: Results from ATH Test Fields.- In: H. HÖTZL & A. WERNER (1992): Tracer Hydrology, Proceedings of the 6th International Symposium on Water Tracing, Karlsruhe 21.-26. September 1992, 25-30, Rotterdam (Balkema).
- MALOSZEWSKI, P., T. HARUM & R. BENISCHKE (1992): Mathematical Modelling of Tracer Experiments in the Karst of Lurbach System.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 116-136, Graz.
- MALOSZEWSKI, P., T. HARUM & H. ZOJER (1992): Modelling of Environmental Tracer Data.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 136-143, Graz.
- MARCHER, D. (1989): Hochwasser riß Hauswand weg.- Kleine Zeitung, 6-7, Graz 14. Juli 1989.
- MAURIN, V. (1952): Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Lurhöhlensystems.- Mitt. Nat. Wiss. Verein Stmk., **81/82**, 169-180, Graz.
- MAURIN, V. (1953): Untersuchungen am unterirdischen Lauf des Lurbaches zwischen Semriach und Peggau.- Mitt. d. Höhlenkommission b. Bundesmin. f. Land- u. Forstwirtschaft, **1952**, 45-47, Wien.

- MAURIN, V. (1960): Hydrogeologische Untersuchungen im Grazer Bergland und deren Wert für die Versorgungswasserwirtschaft.- Unveröff. Habil., Techn. Univ. Graz, 240 S., Graz.
- MAURIN, V. (1975): Hydrogeologie und Verkarstung.- In: H.W. FLÜGEL (Hrsg, 1975): Die Geologie des Grazer Berglandes. 2. Aufl.- Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, **SH 1**, 223-269, Graz.
- MAURIN, V. (1992): Geology.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 15-22, Graz.
- MAURIN, V. (1992): Geology.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 15-22, Graz.
- MAURIN, V. (1994): Geologie und Karstentwicklung des Raumes Deutschfeistritz - Peggau - Semriach.- In: R. BENISCHKE, H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 5-36, Graz.
- MAURIN, V. (1997): Geologie und Karstentwicklung des Raumes Deutschfeistritz - Peggau - Semriach.- Ber. d. wasserwirtschaftl. Planung, **80**, 7-42, Graz. (in diesem Band)
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **10/11**, 184 S., Graz.
- MAYER, A. sen. (1891-1904): Tagebuch I.- Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.
- N.N. (1950): Kühne Tauchversuche in der Lurhöhle bei Peggau.- Die Höhle, **1** (1), 13, Wien.
- POKORNY, O. (1989): Nach der Hochwasser-Katastrophe droht der Lurgrotte das "Aus".- Neue Kronenzeitung, **14**, Graz 28. Juli 1989.
- PUTICK, W. (1894): Das Lurloch im Streiflichte der Technik.- Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Architekten-Ver., **XLVI** (36), 437-441, Wien.
- REPIS, D. u. W. (1959): Lurgrotte Semriach.- 1 S., Unveröff. Tourenber. v. 10.10.1959.
Anm.: einliegend im Archiv d. Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk.
- SAAR, R. (1922): Die Lurhöhle bei Peggau in Steiermark (früher Schmelzgrotte).- In: G. KYRLE (Red., 1922): Österr. Höhlenführer, Band III, 23 S., 1 Plan, Wien.
Anm.: Saar schreibt u.a. wie Bock von 80 m³/s, bezieht diese Menge aber auf das Hochwasser von 1917, was aber bisher nicht verifiziert werden konnte.
- SCHICKOR, G. (1983): STEWEAG Kraftwerk Deutschfeistritz - Hydrogeologie.- Unveröff. Bericht, 108 S, Bern (Geotechnisches Institut).
- STEIRISCHER GEBIRGSVEREIN, Fremdenverkehrs-Comité (Hrsg., 1882): Steirische Wanderbücher. II. Semmering-Graz, Mürrzuschlag-Mariazell.- 66-67, Graz.
- TAGESPOST (1910a): Eine Katastrophe in der Oststeiermark.- **55** (138, Abendblatt), 1, Graz Sa., 21. Mai 1910.
- TAGESPOST (1910b): Die Hochwasserkatastrophe.- **55** (139), 3. Bogen, Graz So., 22. Mai 1910.
- TAGESPOST (1910c): Hochwasserzerstörungen in der Lurgrotte.- **55** (140, Abendblatt), 3. Bogen, Graz Mo., 23. Mai 1910.
- THINNFELD, F. (1871): Nochmals die Peggauer Höhlen.- Tagespost, Nr. 334, Graz.
- THINNFELD, F. (1872): Die Peggauer Bäche.- Tagespost, Nr. 231, Graz.
- WALBAUM & SIENER (1894): Planskizzen über die Technischen Arbeiten am Lurloche bei Semriach in Steiermark, Stauanlagen außer- und Felssprengungen innerhalb des Höhlenraumes, Situation und Profile der Stauanlagen.- Unveröff. Planunterlagen, Graz Juni 1894.
Anm.: einliegend im Stmk. Landesarchiv unter Sign. A 93/1.
- WEISSENSTEINER, V. (1969): Der Hammerbach bei Peggau (Steiermark, Kat.-Nr. 2836/34).- Die Höhle, **20** (4), 113-123, Wien.
- WEISSENSTEINER, V. (1972): Die Hochwässer im Frühjahr und Frühsommer 1972 in der Lurgrotte.- Die Höhle, **23** (3), 112, Wien.
- WEISSENSTEINER, V. (1974a): Gutachten über den Zustand der Lurbachschwinden in Semriach und die Möglichkeiten von zweckmäßigen Veränderungen, mit geschichtlichem Rückblick.- Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk., **3** (2), 107-123, 2 Pläne, Graz.
- WEISSENSTEINER, V. (1974b): Die Lurwandhöhle (2836/220).- Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk., **3** (2), 132-133, Graz.
- WEISSENSTEINER, V. (1975): Sanierungsarbeiten an der Lurbachschwinde in Semriach.- Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk., **4** (1), 24-27, Graz.
- WEISSENSTEINER, V. (1976a): Die Lurgrottenhochwässer 1975.- Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk., **5** (1), 44-46, Graz.
- WEISSENSTEINER, V. (1976b): Die Hochwasserschäden in der Lurgrotte und die praktischen Folgerungen.- Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i.d. Stmk., **5** (1), 47-53, Graz.
- WEISSENSTEINER, V. (1994): Zur Kenntnis der Lurgrotte vor der Entdeckung 1894.- In: R. BENISCHKE, H. SCHAFFLER & V. WEISSENSTEINER (Red.; 1994): Festschrift Lurgrotte 1894-1994, 5-36, Graz.
- WEISSENSTEINER, V. & H. TRIMMEL (1971): Hochwasserschäden in der Lurgrotte (Steiermark).- Die Höhle, **22** (1), 36-37, Wien.
- WONISCH, F. (1908): Hydrologisches von Lurloch.- Mitt. d. Deutschen nat.-wiss. Ver. beider Hochschulen in Graz, **XXIV** (2), 1-5, 1 Skizze, Graz.

- WURMBRAND, G. (1871): Ueber die Höhlen und Grotten in dem Kalkgebirge bei Peggau.- Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., II (III), 407-428, Graz.
- ZOJER, H. (1981): Report on the Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques.- Unveröff. Bericht, 22 S., Graz.
- ZOJER, H. (1983): Report on the Ninth Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (29 August - 30 September 1983).- Unveröff. Bericht, 10 S., Graz.
- ZOJER, H. (1985): Report on the Tenth Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (26 August - 27 September 1985).- Unveröff. Bericht, 8 S., Anh. 1-7, Graz.
- ZOJER, H. (1992): Recharge Area of Springs.- In: H. BEHRENS et al. (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau - Tanneben - Semriach, Austria), Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **43**, 151, Graz.
- ZOJER, H. (1992): Tracer Investigations in a Karst Aquifer, Lurbach System, Austria.- In: HÖTZL, H. & A. WERNER (1992): Tracer Hydrology, Proceedings of the 6th International Symposium on Water Tracing, Karlsruhe 21.-26. September 1992, 21-24, Rotterdam (Balkema).
- ZOJER, H. & J. ZÖTL (1974): Die Bedeutung von Isotopenmessungen im Rahmen kombinierter Karstwasseruntersuchungen.- Österr. Wasserwirtschaft, **26** (3/4), 62-70, Wien.
- ZÖTL, J. (1971a): Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt "Entwicklung und Verbesserung von Aktivierungsanalytischen Tracern (Markierungsstoffen) zur Verfolgung unterirdischer Wasserwege" im Jahre 1970.- . Unveröff. Bericht, 22-26, Graz.
- ZÖTL, J. (1971b): Report on the Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (30 August - 2 October 1971).- Unveröff. Bericht, 31 S., Graz.
- ZÖTL, J. (1973): Report on the Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (27 August - 29 September 1973).- Unveröff. Bericht, 27 S., Graz.
- ZÖTL, J. (1975): Report on the Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (25 August - 25 September 1975).- Unveröff. Bericht, 33 S., Graz.
- ZÖTL, J. (1977): Report on the Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (29 August - 1 October 1977).- Unveröff. Bericht, 24 S., Graz.
- ZÖTL, J. (1979): Report on the Postgraduate Training Course on Groundwater Tracing Techniques (27 August - 29 September 1979).- Unveröff. Bericht, 23 S., Graz.



Taf. 2: Planunterlagen über die Lurgrotte Semriach mit der Situation nach der Lurgrottenkatastrophe und Eintragung der gesprengten Rettungsstollen und der maßgebenden Wasserstände (WALBAUM & SIENER 1894).

VERZEICHNIS DER BISHER ERSCHEINENEN BÄNDE

Band	Titel
1	VORTRAGSREIHE ABFALLBESEITIGUNG, 18. April 1964. Neuauflage 1968, von W. Tronko, P. Bilek, J. Wotschke, K. Stundl, F. Heigl, E. v. Conrad.
2	EIN BEITRAG ZUR GEOLOGIE UND MORPHOLOGIE DES MÜRZTALES, von R. Sperlich, W. Scharf, A. Thurner, 1965.
3	VORTRAGSREIHE ABFALLVERARBEITUNG, 18. März 1965, von F. Fischer, R. Braun, F. Schönbeck, W. Tronko, K. Stundl, B. Urban.
4	GEWÄSSERSCHUTZ IST NÖTIG, von J. Krainer, F. Hahne, H. Kalloch, F. Schönbeck, H. Moosbrugger, L. Bernhart, W. Tronko, 1965.
5	DIE MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE - VERSUCH EINER ZUSAMMENFASSENDEN DARSTELLUNG, von F. Heigl, 1965.
6	VORTRAGSREIHE ABFALLVERARBEITUNG, 18. November 1965, von F. Schönbeck, H. Sontheimer, A. Kern, H. Rasworschegg, J. Wotschke, J. Brodbeck, R. Spinola, K. Stundl, W. Tronko, 1966.
7	SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN IM GRUNDWASSERFELD FRIESACH NÖRDLICH VON GRAZ, von H. Zetinigg, Th. Puschnigg, H. Novak, F. Weber, 1966.
8	DER MÜRZVERBAND, von E. Fabiani, P. Bilek, H. Novak, E. Kauderer, F. Hartl, 1966.
9	RAUMPLANUNG, FLÄCHENNUTZUNGSPLÄNE DER GEMEINDEN, von J. Krainer, H. Wengert, K. Eberl, F. Plankensteiner, G. Gorbach, H. Egger, H. Hoffmann, K. Freisitzer, W. Tronko, H. Bullmann, I.E. Holub, 1966.
10	SAMMLUNG, BESEITIGUNG UND VERARBEITUNG DER FESTEN SIEDLUNGSABFÄLLE, von H. Erhard, 1967.
11	SIEDLUNGSKUNDLICHE GRUNDLAGEN FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFTLICHE RAHMENPLANUNG IM FLUSSGEBIET DER MÜRZ, von H. Wengert, E. Hillbrand, K. Freisitzer, 1967.
12	HYDROLOGIE DES MURTALES, von N. Anderle, 1969
13	10 JAHRE GEWÄSSERGÜTEAUFSICHT IN DER STEIERMARK 1959 - 1969, von L. Bernhart, H. Sölkner, H. Ertl, W. Popp, M. Noe, 1969.
14	GEWÄSSERSCHUTZMASSNAHMEN IN SCHWERPUNKTGEBIETEN STEIER-MARKS, 1970 (DAS VORLÄUFIGE SCHWERPUNKTPROGRAMM 1964 UND DAS SCHWERPUNKTPROGRAMM 1966), von F. Schönbeck, L. Bernhart, E. Gangl, H. Ertl.

- 15 INDUSTRIELLER ABWASSERKATASTER STEIERMARKS, von L. Bernhart ,1970
- 16/17 TÄTIGKEITEN UND ORGANISATION DES WIRTSCHAFTSHOFES DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ, ABFALLBEHANDLUNG IN GRAZ, LITERATURANGABEN ZUM THEMA "ABFALLBEHANDLUNG", von A. Wasle
- 18 ABWASSERFRAGEN AUS BERGBAU UND EISENHÜTTE, von L. Bernhart, K. Stundl, A. Wutschel, 1971.
- 19 MASSNAHMEN ZUR LÖSUNG DER ABWASSERFRAGEN IN ZELLSTOFFFABRIKEN, von B. Walzel - Wiesentreu, W. Schönauer, 1971.
- 20 BODENBEDECKUNG UND TERRASSEN DES MURTALES ZWISCHEN WILDON UND DER STAATSGRENZE, von E. Fabiani, M. Eisenhut, mit Kartenbeilagen, 1971.
- 21 UNTERSUCHUNG AN ARTESISCHEN WÄSSERN IN DER NÖRDLICHEN OSTSTEIERMARK, von L. Bernhart, J. Zötl, H. Zetinigg, 1972.
- 22 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM SÜDÖSTLICHEN GRAZERFELD, von L. Bernhart, H. Zetinigg, J. Novak, W. Popp, 1973.
- 23 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM NORDÖSTLICHEN LEIBNITZERFELD, von L. Bernhart, E. Fabiani, M. Eisenhut, F. Weber, E.P. Nemecek, Th. Glanz, W. Wessiak, H. Ertl, H. Schwinghammer, 1973
- 24 GRUNDWASSERVERSORGUNG AUS DEM LEIBNITZERFELD von L. Bernhart, 1973.
- 25 WÄRMEBELASTUNG STEIRISCHER GEWÄSSER, von L. Bernhart, H. Niederl, J. Fuchs, H. Schlatter, H. Salinger, 1973.
- 26 DIE ARTESISCHEN BRUNNEN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von H. Zetinigg, 1973.
- 27 DIE BEWEGUNG VON MINERAÖLEN IN BODEN UND GRUNDWASSER, von L. Bernhart, 1973.
- 28 KENNZAHLEN FÜR DEN ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN VERGLEICH THERMISCHER ABLAUGEVERWERTUNGSANLAGEN, von L. Bernhart, D. Radner, H. Artledter, 1974.
- 29 GENERALPLAN DER WASSERVERSORGUNG STEIERMARKS, ENTWURFSSTAND 1973, von L. Bernhart, E. Fabiani, E. Kauderer, H. Zetinigg, J. Zötl, 1974.
- 30 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 1. TEIL, EINFÜHRUNG, HYDROGEOLOGIE, KLIMATOLOGIE, von L. Bernhart, J. Zötl, H. Zojer, H. Otto, 1975.
- 31 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 2. TEIL, GEOLOGIE, von L. Bernhart, P. Beck - Mannagetta, A. Alker, 1975.
- 32 BEITRÄGE ZUR WASSERWIRTSCHAFTLICHEN RAHMENPLANUNG IN DER STEIERMARK, von L. Bernhart, 1975.

- 33 HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN BOHRUNGEN UND BRUNNEN IN DER OSTSTEIERMARKE, von H. Janschek, I. Küpper, H. Polesny, H. Zetinigg, 1975.
- 34 DAS GRUNDWASSERVORKOMMEN IM MURTAL BEI ST. STEFAN O.L. UND KRAUBATH, von I. Arbeiter, P. Hacker, H. Janschek, H. Krainer, H. Ertl, J. Novak, D. Rank, F. Weber, H. Zetinigg, 1976.
- 35 WASSERVERSORGUNG FÜR DAS UMLAND VON GRAZ. ZUR GRÜNDUNG DES WASSERVERBANDES UMLAND - GRAZ, von L. Bernhart, K. Pirkner, 1977.
- 36 GRUNDWASSERSCHONGEBIETE, von W. Kasper, H. Zetinigg, 1977.
- 37 VORBEREITUNG EINER ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIERMARKE, von L. Bernhart, 1978.
- 38 ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIERMARKE, von L. Bernhart, 1978.
- 39 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN MURTAL, von E. Fabiani, H. Krainer, H. Ertl, W. Wessiak, 1978.
- 40 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARKE, 3. TEIL, DIE GRUNDWASSERFÜHRUNG IM TALE DER LASSNITZ, SULM, UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H. Fessler, 1978.
- 41 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARKE, 4. TEIL, DIE GRUNDWASSERERSCHLIESSUNG IM TALE DER LASSNITZ, SULM, UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H. Zetinigg, 1978.
- 42 ZUR GEOLOGIE IM RAUM EISENERZ - RADMER UND ZU IHREM EINFLUSS AUF DIE HYDROCHEMIE DER DORTIGEN GRUNDWASSER, von U. Mager, 1979.
- 43 DIE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE IM KAINACHTAL (ST. JOHANN O.H. - WEITENDORF), von M. Eisenhut, J. Novak, H. Zojer, H. Krainer, H. Ertl, H. Zetinigg, 1979.
- 44 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL I, NATURRÄUMLICHE GRUNDLAGEN; GEOLOGIE - MORPHOLOGIE - KLIMATOLOGIE, von E. Fabiani, V. Weissensteiner, H. Wakonigg, 1980.
- 45 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL II, DIE UNTERSUCHUNGEN: GESCHICHTE - DURCHFÜHRUNG - METHODIK, von E. Fabiani, 1980.
- 46 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL III, GEOPHYSIK - ISOTOPENUNTERSUCHUNG - HYDROCHEMIE, von Ch. Schmid, H. Zojer, H. Krainer, H. Ertl, R. Ott, 1980.

- 47 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL IV, DIE UNTERSUCHUNG IM TRAGÖSSTAL, von E. Fabiani, 1980.
- 48 GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL V, UNTERSUCHUNGEN IN DEN SÜDLICHEN HOCHSCHWABTÄLERN (ILGENERTAL BIS SEEGRABEN), von E. Fabiani, 1980.
- 49 UNTERSUCHUNG ÜBER DIE MÖGLICHKEIT ZUR ENTNAHME VON GRUNDWASSER IM SÜDLICHEN HOCHSCHWABGEBIET UND DEREN BEWIRTSCHAFTUNG, von Ch. Meidl, J. Novak, W. Wessiak, 1980.
- 50 KONZEPT EINER ZENTRALWASSERVERSORGUNG HOCHSCHWAB SÜD, von L. Bernhart, 1980.
- 51 REGIONALE ABWASSERANLAGEN IN DER STEIERMARK, BEMÜHUNGEN UND ERGEBNISSE, von L. Bernhart, P. Bilek, E. Kauderer, H. Senekowitsch, O. Thaller, 1980.
- 52 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM MURTAL ZWISCHEN KNITTELFELD UND ZELTWEG, von I. Arbeiter, H. Krainer, H. Ertl, H. Zetinigg, 1980.
- 53 GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN SAGGAUTAL, von I. Arbeiter, H. Krainer, H. Zetinigg, 1980.
- 54 "10 JAHRE WASSERVERBAND HOCHSCHWAB - SÜD" von L. Bernhart, W. Kneissel, J. Novak, R. Ott, F. Schönbeck, 1981.
- 55 DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKBAUES VON OBERVOGAU AUF DAS GRUNDWASSER, von H. Fessler, 1981.
- 56 FESTVERANSTALTUNG "10 JAHRE WASSERVERBAND HOCHSCHWAB - SÜD 1971 - 1981", von L. Bernhart, R. Burgstaller, M. Rupprecht, H. Sölkner, G. Bujatti, E. Wurzer, A. Zdarsky, J. Krainer, V. Ahrer, 1981.
- 57 GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L. Bernhart, E. Hübl, E. Schubert, E. Fabiani, H. Zetinigg, H. Zojer, E.P. Nemecek, E.P. Kauch, 1981.
- 58 WASSERBEDARF DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L. Bernhart, 1982.
- 59 KOSTENAUFTEILUNGSSCHLÜSSEL FÜR ABWASSERVERBÄNDE, von P. Bilek, E. Kauderer, 1982.
- 60 DIE QUELLEN DES SCHÖCKLGEBIETS, von H. Zetinigg, W. Griessler, Th. Untersweg, V. Weissensteiner, Ch. Meidl, 1982.
- 61 BEDARFSERMITTLUNG FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSERVERBUND, von Ch. Meidl, Ch. Kaiser, mit einer Einführung von L. Bernhart, 1983.
- 62 DIE MESSUNGEN DER FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DES GRUNDWASSERS IM MUR- UND MÜRZTAL, von H. Zetinigg, 1983.
- 63 GRUNDLAGEN FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSERVERBUND -LEITUNGSFÜHRUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von J. Novak, Ch. Kaiser, 1983.

- 64 STEIRISCHES WASSERVERBUNDMODELL 1982, von J. Novak, 1983.
- 65 DER KARST AM OSTFER DER WEIZKLAMM, von G. Fuchs, 1983.
- 66 HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DEN NÖRDLICHEN GESÄUSEBERGEN, von W. Kollmann, 1983.
- 67 DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKBAUES SPIELFELD AUF DAS GRUNDWASSER, von H. Fessler, 1983.
- 68 BEITRÄGE ZUR KENNNTNIS DER ARTESISCHEN WÄSSER IM STEIRISCHEN BECKEN, von H. Zojer, H. Zettnigg, 1987.
- 69 BEITRÄGE ZUR KENNNTNIS DER GESpanNTEN GRUNDWÄSSER IM MITTERENNTAL UND PALTENTAL, von G. Suetter, H. Zettnigg, 1988.
- 70 GRUNDWASSERMODELL MURTAL, ABSCHNITT ST. STEFAN O.L. - KRAUBATH, von W. Erhart - Schippek, Ch. Kaiser, 1990.
- 71 KARSTHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM WEIZER BERGLAND, von P. Hacker, 1991.
- 72 MARKIERUNGSVERSUCHE IN KARSTGEBIETEN DER STEIERMARK, von A. Huber, M. Pöschl, H. Zettnigg, 1991.
- 73 KARSTHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM EINZUGSGEBIET DES MIXNITZBACHES, von H. Stadler, 1992.
- 74 HYDROGEOLOGIE UND GRUNDWASSERMODELL DES LEIBNITZERFELDES, von J. Frank, A. Jaweckl, H.P. Nachtmel, H. Zojer, 1993.
- 75 UNTERSUCHUNGEN DER GESpanNTEN GRUNDWASSERVORKOMMEN IM FEISTRITZTAL UND SAFENTAL, OSTSTEIERMARK, von H. Bergmann, A. Lettowsky, E. Niesner, Ch. Schmid, J. Schön, F. Überwimmer, 1993.
- 76 GROSSPUMPFVERSUCH UND GRUNDWASSERMODELL KALSDORF, von J., Fank und G. Rock, 1994
- 77 DIE NEUEN GRUNDWASSERSCHUTZGEBIETE von F. Bauer, A. Bernhart, R. Guschlbauer, Ch. Kaiser, H. Stadlbauer, G. Suetter, H. Zettnigg, 1995
- 78 DIE QUELLEN DER BLOCKGLEITSCHER IN DEN NIEDEREN TAUFERN von Th. Unterweg und A. Schwendt, 1995
- 79/1 DER QUELLKATASTER DER STEIERMARK von H. Zettnigg, E. Fabiani, H. Stadlbauer und N. Plass, 1996
- 80 KARSTHYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM TANNEBENMASSIV (MITTELSTEIRISCHER KARST) von R. Benischke, V. Maurin, H. Ehrenreich, T. Hartum und H. Stadler, 1997

Die Berichtsbände sind, soweit noch nicht vergiffen, in der Fachabteilung IIIa, Ref. II - Wasser-versorgung, (Stempfergasse 5 - 7, II. Stock, 8010 Graz) erhältlich.