

## Die Karstquelle „Glawa Panega“ im Vorbalkan (Bulgarien)

Von PETER PENTSCHEV (Sofia)  
Mit 6 Textabbildungen

Im Herzen Bulgariens erhebt sich das Balkangebirge, ein junggefaltetes System von mäßiger Höhe, aber von differenziertem Aufbau und komplizierter tektonischer Entwicklung. Es erstreckt sich etwa West—Ost und ist eigentlich eine Fortsetzung des Systems der Alpen und Karpaten in die Balkanhalbinsel, morphologisch aus drei einander parallelen Sonderstrukturen bestehend, die sich durch ihren tektonischen Stil unterscheiden. Der Name Balkan oder auf bulgarisch Stara Planina (= Altgebirge) kommt der mittleren dieser Strukturen zu, die orographisch auch die mächtigste ist (höchster Punkt 2376 m = Botevgipfel). Sie besteht aus zwei Antiklinalfalten, die im Zentralbalkan zu einer Megaantiklinale verschmelzen. Auf diese sind mächtige Gesteinsfolgen von der südlich gelegenen, niedrigeren Gebirgsstruktur, bekannt unter dem Namen „Sredna Gora“, aufgeschoben.

Nördlich des Balkangebirges erstreckt sich der dritte Strukturzug, der Vorbalkan, bestehend aus einigen normalen Antiklinalen, die einander kulissenartig ablösen.

Im geologischen Gefüge dieser morphogenetischen Gebirgszüge sind Kalke weit verbreitet, was besonders vom Vorbalkan gilt, wo sie die Voraussetzungen für eine beträchtliche Verkarstung geschaffen haben. Zu den bedeutendsten Karsterscheinungen Bulgariens gehört die Quelle „Glawa Panega“, die im Vorbalkan liegt (Abb. 1).

Die Quelle „Glawa Panega“ zog wegen ihrer Größe schon seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts die Aufmerksamkeit von Forschungsreisenden und Gelehrten auf sich, und dieses Interesse hält bis auf unsere Tage an. Die ersten geologischen Erkundungen der Gegend, in der sich die Quelle befindet, wurden von F. FOETTEL (1869) und G. ZLATARSKI (1883), sodann von F. TOULA (1889) vorgenommen, die vor allem Alter und Ausdehnung des Neokomkalkes und anderer geologischer Formationen beschrieben. Etwas später unternahmen H. und K. SKORPIL Höhlenerkundungen im gleichen



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes am Oberlauf des Vitis.

Gebiet. Den ersten gelungenen Versuch zur Klärung der Karsthydrologie der Quelle stellte der Geographiestudium A. ISCHIRKOV (1902) an, dessen Erklärungen über den Ursprung der Quellwässer durch die nachfolgenden hydrogeologischen Forschungsarbeiten ihre vollkommene Bestätigung fanden. Über ein plötzliches Versiegen dieser mächtigen Karstquelle hat auch der damalige französische Konsul G. LEJEAN (1873) berichtet.

In neuerer Zeit haben sich öffentliche Stellen (Wodprojekt, Energiehydroprojekt und die Generaldirektion geologischer und bergbaulicher Erkundungen) zu eingehenden geologischen und hydrologischen Untersuchungen dieser für die Wasserversorgung recht interessanten Karstquelle entschlossen. Zur Klärung der Hydrogeologie des Gebietes trugen I. KOWATSCHEVS (1959) Untersuchungen und die geomorphologischen Erkundungen von W. POPOV (1962) bei. Eine vom Lehrstuhl für Allgemeine Physische Geographie der Universität Sofia an der Quelle selbst errichtete hydrometrische Station trägt durch die kontinuierlichen Messungen zur genauen Beurteilung ihrer Ergiebigkeit bei.

Die Quelle „Glawa Panega“ entspringt am Fuße eines Hügels von mäßiger Höhe unweit des Dorfes Zlatna Panega. Sie bildet einen länglichen Quellsee, in dessen Mitte sich eine flache Schwelle in 5 m Tiefe abzeichnet, die den Quellsee in einen südlichen Teil von etwa 12 m und einen nördlichen Teil von 7 m Durchschnittstiefe scheidet. Die tiefste Stelle (16 m) liegt in der südlichen Hälfte des Sees, wo sich auch der Quellaustritt befindet (Abb. 2).



Abb. 2: Die Quelle „Glawa Panega“.

Die steilen Hänge des Bergrückens von Panega fallen nach der Südseite des Sees ab und bilden stellenweise nahezu senkrechte Felswände, an deren Fuß sich das Geröll zu einer mächtigen Schutthalde gehäuft hat. Die Wipfel hoher Bäume und ein dichtes Gebüsch von feuchtigkeitsliebenden Pflanzen spiegeln sich im See. Nördlich des Sees eröffnet sich eine kleine Talsenke. Die Seewässer fließen durch eine steile Kalkschwelle nach Osten heberartig in zwei tiefe Karstsenken ab, wo sich ein zweiter See von größerer Fläche gebildet hat (Abb. 3), zu dessen Aufstau auch ein künstliches Wehr beiträgt, das für die Zuleitung des Wassers zu einem kleinen Zementwerk

angelegt wurde. Die aus dem unteren See abfließenden Wassermassen bilden den Fluß Zlatna Panega.



Abb. 3: Der durch den heberartigen Abfluß aus dem Quelltümpel der „Glawa Panega“ gespeiste „Untere See“, dessen Abfluß den Fluß Zlatna Panega bildet.

Schon 1902 gab A. ISCHIRKOV die richtige Erklärung, daß die beträchtliche Wassermenge der Quelle zweierlei Ursprungs ist: einerseits aus der Infiltration des Niederschlagwassers in dem typischen Karstbereich südlich der Quelle und andererseits aus dem im Flußbett des Wit versinkenden Oberflächenwasser. Der Fluß Wit verläuft sechseinhalb Kilometer südöstlich der Quelle „Glawa Panega“ (Abb. 4).

Das Karstgebiet südlich der Quelle hat ein hügeliges Relief mit einer Höhe von 200 bis 650 m über dem Meeresspiegel. Hierin zeichnen sich zwei Hügelzüge ab: Die südliche Hälfte wird von dem Jablanitza- und die nördliche von dem Panega-Zug gebildet. Dazwischen, im zentralen Teil des Gebietes, hat sich in Form eines malerischen Beckens ein 2,5 km langes und 1,5 km breites Karstplateau gebildet, auf dessen Grund zahlreiche Dolinen verstreut sind (Abb. 4).

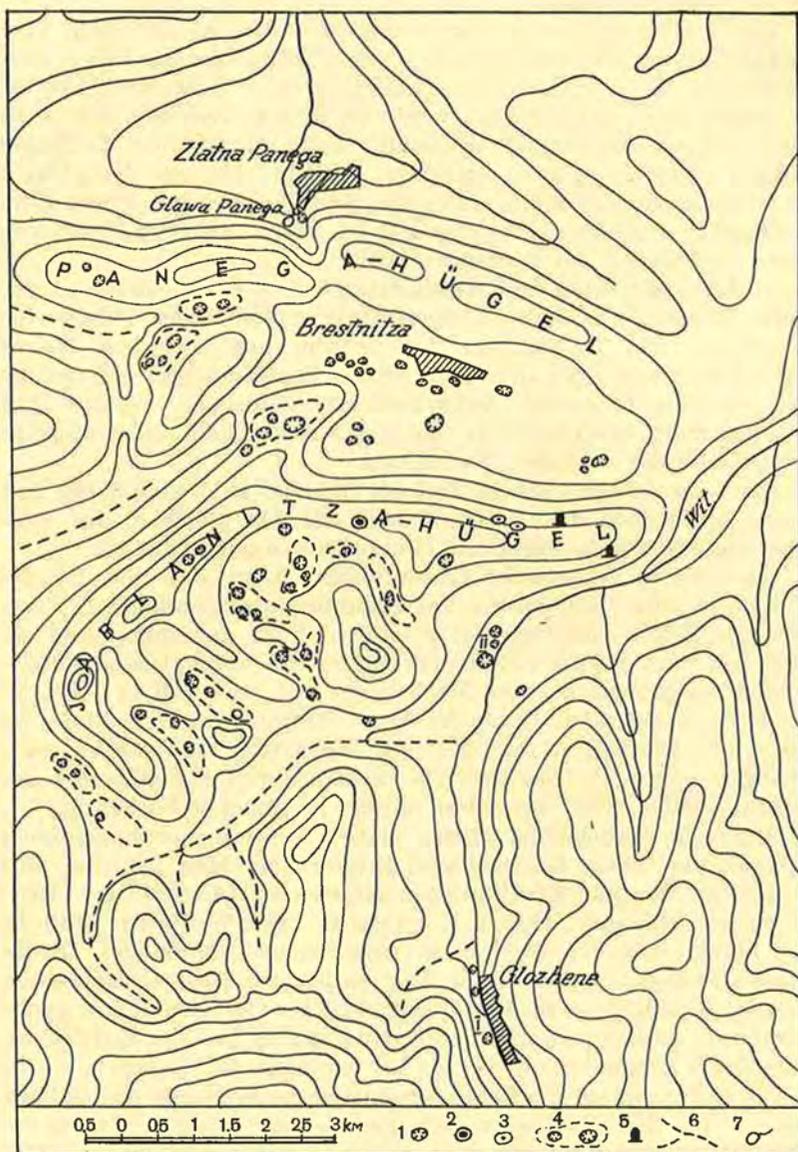


Abb. 4: Morphographische Karte der Umgebung von Glawa Panega.  
 1 = Ponor, 2 = Erdfall, 3 = Karstschacht, 4 = Doline, 5 = Höhle,  
 6 = Trockental, 7 = Karstquelle.

Die Gegend ist ein Teil der nördlichen Hälfte des zentralen Vorbalkans. Sie ist zum Großteil aus Obermalm-Kalken des Tithon aufgebaut, der einen Karbonatgehalt bis zu 98% erreicht. Nach Norden zu, gegen den Panega-Hügel, wird von diesen Gesteinen der Kern einer kleinen Antiklinale aufgebaut, deren Mantel den Südflügel entlang zerstört ist, den Nordflügel entlang aber aus Mergelkalk der Unterkreide (Neokom, Valangien und Chotriv) mit einem Karbonatgehalt von etwa 78% aufgebaut ist. Ferner kommen hier Sandsteine und Mergel des Barremiens vor.

In den südlichsten und westlichsten Teilen des Gebietes ist der Kern dieser Antiklinale bloßgelegt; er besteht aus Tithon der Flyschtpe und Kalksteinen des unteren und mittleren Malms (oxford-kymrisch), die sich nach Süden fortsetzen und am Gefüge der südwärts folgenden Antiklinale von Glozhene, Polaten und Tetewen maßgeblich beteiligt sind. Diese Antiklinale bildet die südliche Hälfte des zentralen Vorbalkans.

Der zentrale und südliche Teil des Gebietes stellt eine flache und breite Antiklinale dar, deren Mantel aus den gleichen, der Verkarstung leicht unterliegenden Tithon-Kalken aufgebaut ist.

Diese kurze geologische Charakteristik zeigt, daß den Tithon-Kalken für die Verkarstung die Hauptbedeutung zukommt. Etwa 70% der Fläche des Gebietes sind von ihnen aufgebaut, und sie erreichen nach I. KOWATSCHEV (1959), der die Ergebnisse von Bohrungen zusammenfaßt, eine Mächtigkeit von etwa 450 m (Abb. 5). Die Verkarstung wird durch das flache Einfallen der Schichten und durch die Klüftigkeit des Gesteins begünstigt. Es bestehen zwei Hauptgruppen von Diaklasen (W. POPOV, 1962), die eine mit der Richtung 140 bis 175°, die andere mit der Richtung 65 bis 80°.

Auch die Bruchdislokationen haben zu der morphologischen Entwicklung dieses Karstgebietes beigetragen. Man hat drei einander fast parallele Bruchlinien nachgewiesen (A. STEFANOV, 1951; G. TSCHESCHITEV u. a., 1957; I. KOWATSCHEV, 1959; W. POPOV, 1962). In der Linie eines der Brüche, in unmittelbarer Nähe der Quelle „Glawa Panega“, sprudelt eine Therme hervor. Entlang der beiden anderen Bruchlinien ist im mittleren Teil des Gebietes dessen ganze Nordhälfte abgesunken und damit der südliche Teil des Karstfeldes beim Dorfe Brestnitsa um 140 bis 180 m abgesenkt worden.

Die Entwicklung der Karstmorphologie im Bereiche der „Glawa Panega“ hat drei Hauptentwicklungsstufen durchlaufen. Zuerst erfolgte die Verkarstung auf einer weiten Denudationsfläche des Pliozäns. Reste derselben lassen sich auf den Kämmen der beiden Haupt Rücken beobachten. Gegen Ende des Pliozäns entwickelte sich auf dieser Denudationsfläche ein altes Talsystem in Richtung der Haupt-

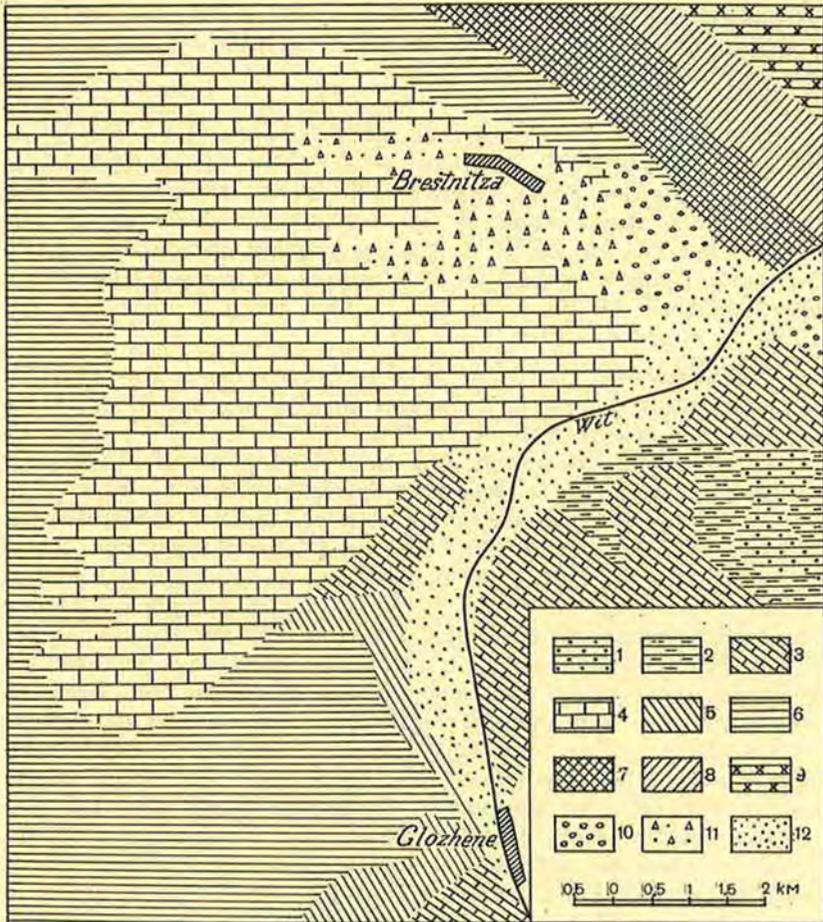


Abb. 5: Geologische Karte der Umgebung von Glawa Panega. 1 = Mergel und Kalke der Oberen Trias, 2 = Quarzite und Tonschiefer des Lias und Dogger, 3 = Oxford-kymrische Kalke, 4 = Kalke des Tithon, 5 = mergelige Kalke, Übergangsfazies des Tithon, 6 = Sandsteine und mergelige Kalke des Neokom, 7 = mergelige Kalke des Aptien, 8 = Kalke und Sandsteine der Oberkreide, 9 = Mittelzoäne Sandsteine, 10 = altquartäre Ablagerungen, 11 = rote Tone des Pleistozäns, 12 = Holozän.

diaklase, und an den Talhängen bildeten sich einige große Höhlen. Entlang der Talungen und an ebenen Stellen entstanden zahlreiche Dolinen und Schwinden, die den oberflächlichen Wasserabfluß durch

das pliozäne Flußsystem immer mehr verringerten und zur Ausbildung eines komplizierten Netzes von unterirdischen Karstschlängen und Höhlen beitrugen.

Zu Beginn des Quartärs spielten sich in diesem Gebiet differenzierte tektonische Bewegungen ab, wobei es entlang der früher erwähnten Bruchlinien zu Absenkungen kam. Im Anschluß setzte die Ausgestaltung der Karstfeldsenke beim Dorfe Brestnitza ein. Das unterirdische Karstsystem in der versunkenen Zone wurde allmählich mit Ton ausgefüllt. Korrosionsvorgänge gestalteten das alte Talnetz um und verwandelten es in einzelne längliche Senken ohne oberflächlichen Abfluß. Viele der Dolinen wurden aufgefüllt und einige in kleine Karstseen verwandelt.

Von der zweiten Hälfte des Quartärs bis auf unsere Tage verläuft die dritte Stufe der morphologischen Entwicklung des Gebietes. Sie ist vor allem gekennzeichnet durch die Regenerierung der verstopften Karstformen und durch eine Neubelebung der Verkarstungsvorgänge. Infolge der allgemeinen epirogenen Hebung kam es zu einer allmählichen Durchspülung der verstopften unterirdischen Kanäle. In der Umgebung der kleinen Dörfer Warpej und Nanowitza erfolgte ein Abtrag der Bodendecke, und alte Dolinen kamen wieder zum Vorschein. Auf dem Grund einiger Sümpfe entstanden neuerlich Schwinden, durch die das Wasser abfließen konnte. An der Stelle der alten Sümpfe blieben nunmehr Karstwannen. Defossilisierungsvorgänge spielen sich auch in der Niederung des Gebietes, dem Karstfeld beim Dorfe Brestnitza, ab. Das Wasser des ausgedehnten Sumpfes, der dort früher bestanden hatte, ist durch zahlreiche Schwinden abgeflossen, die heute auf dem Grund dieses abflußlosen Tales an zahlreichen Stellen zu sehen sind. Die Bewohner des Dorfes haben nach anhaltenden Niederschlägen beobachtet, wie aus den Öffnungen mancher dieser Karstlöcher Wasser und Schlamm in Fontänen hervorsprudelt. Die Defossilisierung in diesem niederen Teil erfolgt also auch durch Druckwasser aus dem unterirdischen Karstsystem.

Auf den hohen Teilen des südlichen Jablanitza-Hanges sind auch Suffusionsvorgänge am Werk gewesen. Die sogenannten „Lednitzi“ (eiskalte Abgründe) — der kleine und der große — stellen negative Formen von einer Tiefe bis zu 55 m dar, an der Stelle eines eingestürzten Höhlengewölbes. Unweit von ihnen, am gleichen Hang, befindet sich der 137 m tiefe Karstabgrund „Bezdanja Ptschelin“ (= der bodenlose Bienenstock).

Alle diese Karstgebilde verschlingen den Großteil des Niederschlagswassers und lassen die Entfaltung eines oberflächlichen Ab-

flusses nicht aufkommen. Die hier versickernden Wässer fließen unterirdisch zur Quelle „Glawa Panega“.

Im Süden des besprochenen hügeligen Geländes erheben sich einige hohe Bergrücken, gebildet durch die Zerschneidung der Antiklinale von Glozhene. Die Täler sind in die oxford-kymrischen Kalke tief eingeschnitten und haben während des größeren Teiles des Jahres keinen ständigen Abfluß. Die Flußwässer verlieren sich in Karstspalten, ohne in der nahen Umgebung Karstquellen zu bilden. Diese Tatsache und das geologische Gefüge berücksichtigend, zählen wir auch diese Gegend zum Einzugsgebiet der Quelle „Glawa Panega“.

Der Fluß Wit, der an den Nordhängen des Balkan entspringt, bildet hier schöne antezedente Durchbrüche durch die einzelnen Antiklinalen des Vorbalkans. Zwischen dem Dorfe Glozhene und der Gegend Boasa, auf einer elfeinhalb Kilometer langen Strecke, haben sich im Flußbett zahlreiche Schwinden entwickelt. Eine wohl noch größere Zahl ist durch Alluvionen verdeckt, ohne daß dadurch die Infiltration des Flußwassers unterbunden wäre. Das Wasser dringt in so großen Mengen in diese Schwinden ein, daß vor etwa 30 bis 40 Jahren während des Niederwassers der Sommermonate der sonst mittelgroße Fluß Wit in diesem Abschnitt vollkommen austrocknete. Jedes Jahr verschütteten die Einwohner der umliegenden Dörfer die einzelnen Löcher, ja zementierten viele derselben zu, so daß es heute zu keinem vollkommenen Versiegen mehr kommt. Aus den bei Niederwasser vorgenommenen Messungen am Anfang und Ende dieses Talabschnittes steht fest, daß der Fluß Wit  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$  verliert (Befunde der öffentlichen Organisation „Energohydroprojekt“). Wir selbst haben in drei aufeinanderfolgenden Jahren bei Hochwasserständen an derselben Strecke einen Wasserverlust von  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$  fast gleichbleibend gemessen.

Der Zusammenhang dieser Wässer mit der Quelle „Glawa Panega“ wurde in drei aufeinanderfolgenden Versuchen bewiesen. Am 21. September 1947 goß eine Erkundungsgruppe von Hydrogeologen vom damaligen Ministerium für Elektrifizierung und Meliorationen in eine der großen Schwinden im Flußbett beim Dorf Glozhene 7 Tonnen gelöstes Kochsalz. Genau nach 13 Tagen kam das Salzwasser in der Quelle „Glawa Panega“ zum Vorschein. Die Entfernung von der Schwinde bis zur Quelle beträgt 11,5 km in gerader Linie.

Eine andere Erkundungsgruppe von Hydrogeologen (zur öffentlichen Organisation „Energohydroprojekt“ gehörend) ließ am 7. Oktober 1955 um 11 Uhr 22 Liter gebranntes Maschinenöl in eine Schwinde im Flußbett des Wit einfließen. Diese Schwinde liegt der

Quelle „Gława Panela“ am nächsten und ist nur 6,5 km in gerader Linie entfernt. Am 16. Oktober um 14 Uhr wurde das Öl in einer der Bohrungen nachgewiesen, die zwischen dem Flußbett und der Quelle in der kleinen Talsenke beim Dorf Brestniza niedergebracht worden war, und am 26. Oktober tauchte es auch in dem See bei der Quelle selbst auf. Es hat also die Strecke von 6,5 km Luftlinie in 19 Tagen zurückgelegt.

Am 16. Oktober 1955, d. h. 9 Tage nach dem Einlassen des Maschinenöls, goß die gleiche Erkundungsgruppe in die selbe Schwinde 9 t gelöstes Kochsalz. Die Erhöhung der Chlorionenkonzentration im See bei der Quelle „Gława Panega“ begann am 28. Oktober um 7 Uhr, erreichte ihr Maximum am nächsten Tag um 21 Uhr und währte bis zum 30. Oktober um 3 Uhr. Die Salzlösung durchlief also die gleiche Strecke in 286 Stunden oder 12 Tagen.

Vergleicht man diese Befunde, so drängen sich einem zwei Hauptfragen auf: 1. Warum hat die Salzlösung beim zweiten Versuch die etwa um die Hälfte kürzere Strecke bis zur Quelle fast in der gleichen Zeit wie die Salzlösung beim ersten Versuch (aus dem Jahre 1947) zurückgelegt? 2. Warum hat das gebrannte Maschinenöl die Strecke vom zweiten Punkt bis zur Quelle (6,5 km) in 19 Tagen zurückgelegt, die Kochsalzlösung aber dieselbe Distanz in nur 12?

Um diese Fragen richtig zu beantworten, die zur Klärung der Zirkulation der Karstwässer in dem beschriebenen Gebiet entscheidend sind, ziehen wir auch einige Bohrbefunde der Hydrogeologen-Gruppe aus dem Jahre 1955 in die Betrachtung ein. Aus den Bohrungen, die zwischen dem Bett des Flusses Wit und der Quelle „Gława Panega“ niedergebracht wurden, ergab sich (I. KOWATSCHEV, 1959), daß sie an vielen Stellen in der Tiefe Karsthohlräume (Schläuche und Höhlen) verschiedenen Ausmaßes angetroffen haben, von denen einige mit Ton erfüllt sind. Das Niveau der zweiten Einspeisungsstelle im Flußbett des Wit, liegt auf Kote 276,8 m, der Wasserspiegel aber in den einzelnen Bohrlöchern, der Reihe nach in der Richtung zur Quelle „Gława Panega“, war 252,56/239,19/203,50/171,60 und beim Quellsee 185,69 m. Der Quellmund, aus dem das Karstwasser der „Gława Panega“ hervorsprudelt, liegt 16 m unter dem Seespiegel, d. h. bei 169,69 m. Die Absenkung des Niveaus der Karstwässer beträgt also auf eine Strecke von 6,5 km 107,11 m.

Zudem fand man bei diesen Bohrungen, daß die verkarstete Zone bis zu 150 m unter das Niveau des Karstwasserspiegels reicht, und daß der wasserführende Horizont sich noch unter die Kote des Quellmundes erstreckt. Diese tiefere Verkarstungszone unter dem Niveau der Quelle erklärt sich mit der grabenförmigen Absenkung der nördlichen Hälfte des Gebietes, von der bereits bei der geolo-

gischen Charakteristik die Rede war. Unter der topographischen Oberfläche des Karstgebietes hat sich auf diese Weise eine Zone vertikaler Wasserbewegung ausgebildet. Ständig versinkt hier im verkarsteten Abschnitt des Witbettes Flußwasser, während im restlichen Hügel- und Talgelände nur das Niederschlagwasser periodisch versickert.

Unter dieser Zone befindet sich der ständig wasserführende Horizont, der aus einem oberen und einem unteren Stockwerk besteht. Im oberen Stockwerk sind einige der Karstschläuche immer noch mit Ton verstopft; infolgedessen ist die hydraulische Verbindung im Kanalnetz unvollkommen und die Fortbewegung langsamer. Das Maschinenöl, womit einer der drei Versuche vorgenommen wurde, hat sich um 7 Tage langsamer fortbewegt als die Salzlösung. Es ist anzunehmen, daß es infolge seiner geringeren Schwere in der oberen, weniger durchlässigen Zone floß.

Die untere Etage befindet sich unter dem Niveau der Quelle; durch sie kommt also eine siphonartige Zirkulation zustande. Unseres Erachtens besitzt der ganze südliche Teil des Gebietes ein nur vertikales oder steil abfallendes Netz von Wasserwegen in Richtung auf die abgesenkte nördliche Hälfte des Gebietes. Nur so läßt sich erklären, warum die im südlichen Teil des Gebietes (beim Dorfe Glozhene) versinkenden Witwässer (Abb. 4, Ponor I) die Strecke von 11,5 km nur mit um einen Tag längerer Laufzeit zurücklegten als die Salzlösung, die bei Ponor II, nur 6,5 km von der Quelle „Glawá Panega“ entfernt, eingespeist wurde. Die Gewässer von der ersten Stelle haben nur einen Tag gebraucht, um über die steil abfallenden und leeren Kanäle die abgesenkte Zone zu erreichen. Einmal dorthin gelangt, haben sie fast die gleiche Strecke bis zur Quelle „Glawá Panega“ wie das Wasser von Ponor II.

Die Richtigkeit unserer Hypothese findet eine Stütze noch in einer anderen Tatsache. Beim Vergleich der Abflußkurve des Wit mit derjenigen der Quellwässer der „Glawá Panega“ findet man stellenweise eine gute graphische Beziehung. Die meisten der Witanschwellungen kommen nach etwa 1 bis 2 Tagen auch in der Quelle „Glawá Panega“ zur Auswirkung. Allerdings ist nachdrücklich zu betonen, daß das Intervall zwischen dem Anstieg des Wit und der Quelle nur 1 bis 2 Tage und nicht 12 bis 13 beträgt, in welcher Zeit die eingebrachten Kochsalzlösungen die Strecke vom Fluß bis zur Quelle zurücklegten. Beim Anstieg des Flusses dringt eine große Wassermenge in die Zone vertikaler Zirkulation ein. Nach 1 bis 2 Tagen erreicht sie den wasserführenden Horizont und übt auf die hierin befindlichen Wässer einen hydraulischen Druck aus. Dieser Druck preßt aus der Quelle eine mehr oder minder

große Menge Karstwasser nach außen, noch bevor die den Druck verursachenden eingedrungenen Flußwässer bis zur Quelle „Glawa Panega“ gelangt sind. Diese Erscheinung ist nur unter der Voraussetzung einer Siphonwirkung möglich.

Die Niederschlagswässer, die im verkarsteten Gebirge einsickern, unterliegen denselben Bedingungen unterirdischen Umlaufs.

Die Schüttungsschwankungen der Quelle „Glawa Panega“ stehen in einer komplizierten Abhängigkeit vom Wasserregime des Flusses Wit und vom Niederschlagsregime im Karstgebiet von „Glawa Panega“. Darum ist der Zusammenhang zwischen den Quellwässern und den Witwässern bzw. den Niederschlägen nicht immer klar erkennbar. Im Verlauf der Jahreskurve der Quellschüttung, dargestellt im langjährigen Mittel von je zehn Tagen, zeichnet sich deutlich eine kurze Niederwasserperiode von Mitte Dezember bis Anfang Februar und eine anhaltende Hochwasserperiode von Mitte März bis Ende September ab (Abb. 6). Die durchschnittliche Quellschüttung beträgt 2485 l/s, das absolute Minimum 1617 l/s und das absolute Maximum 4100 l/s. Bei der Ermittlung der Wasserbilanz der Gegend fanden wir, daß 49% des Quellwassers aus dem Wit und 51% von den Niederschlägen im Karstgebiet stammen.

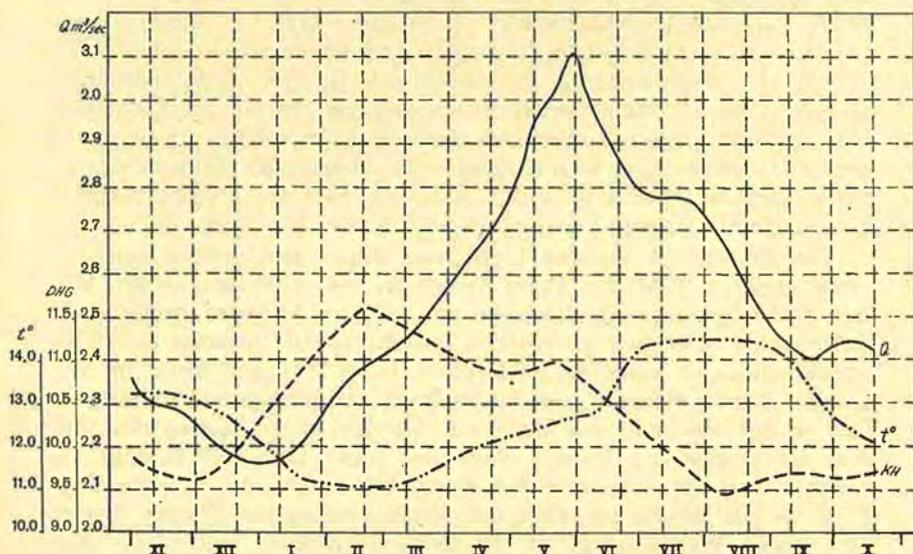


Abb. 6: Schüttung, Temperatur und Karbonathärte der Quelle „Glawa Panega“ im langjährigen Mittel.

Die Extreme der Temperatur des Quellwassers schwanken von 10,0 bis 15,2° C. Von Ende Januar bis Mitte März (Abb. 6) verzeichnet man die niedrigsten Temperaturen im langjährigen Durchschnitt von je 10 Tagen und von Anfang Juli bis Mitte September die höchsten.

Die Karb.-Härte des Wassers variiert von 7,81 bis 14,38 DHG und die Gesamthärte von 8,13 bis 16,03 DHG. Der Verlauf ihrer Jahreskurve ist durch eine deutlich ausgeprägte Gegensätzlichkeit zur Temperaturkurve gekennzeichnet (Abb. 6). Die Höchstwerte fallen auf die Monate Februar, März, die kleinsten durchschnittlichen Werte verzeichnet man im August und September.

Aus den Diagrammen auf Abb. 6 und den angeführten Werten ist ersichtlich, daß zur Ausbildung der Karb.-Härte des Wassers bei der Quelle „Glawa Panega“ nicht so sehr die Menge der Karstwässer als die Temperatur beiträgt.

Nach Niederschlägen und beim Anstieg des Wit trüben sich die Wässer von „Glawa Panega“ stark und haben keinen guten Geschmack. Sie sind daher für die Trinkwasserversorgung ungeeignet; um so größeres Interesse verdienen sie aber für die Industrierversorgung. Bis jetzt wird ein Teil des Wassers für die Zementherzeugung in einem kleinen Werk nutzbar gemacht. In der Nähe wird derzeit ein neues großes Zementwerk errichtet, für dessen technologischen Prozeß nur Wässer der Quelle „Glawa Panega“ benutzt werden sollen.

Diese interessante Quelle ist auch ein Touristenziel. Neben der schönen Aussicht auf die Quellseen ist die originell angelegte Parkanlage erwähnenswert. Ein gutes Restaurant sorgt für das leibliche Wohl.

## Zusammenfassung

Die Karstquelle „Glawa Panega“ gehört zu den größten Bulgariens und weist die interessanteste Genese und das bemerkenswerteste Abflußregime auf. Sie liegt im Nordteil des zentralen Vorkalks, der aus einigen normalen Antiklinalfalten besteht. Das Einzugsgebiet der Quelle erstreckt sich auf zwei dieser Antiklinalen, aufgebaut vorwiegend aus Obermalm-Gesteinen der Tithontype, deren Karbongehalt bis zu 98% reicht. Der hohe  $\text{CaCO}_3$ -Prozentsatz und die starke Klüftigkeit der Kalke, gepaart mit der geringen Neigung ihrer Schichten, schufen günstige Voraussetzungen für eine intensive Verkarstung und die Ausbildung einer der typischsten Karstlandschaften Bulgariens.

Das Einzugsgebiet der Quelle ist ein abflußloses Hügelland, auf dem zahlreiche Dolinen, Senken, Suffusionsgruben, Abgründe und Höhlen verstreut sind. In der Mitte des Gebietes befindet sich ein recht ansehnliches Karstfeld, auf dessen Grund zahlreiche Dolinen und Schächte klaffen.

Die Quelle „Glawa Panega“ erhält außerdem nahezu die Hälfte ihrer Wassermenge aus dem Flusse Wit, der in einer Entfernung von etwa 6,5 km südöstlich vorbeifließt. Im Bett dieses Flusses gibt es zahlreiche Schwinden, deren Zusammenhang mit der Quelle durch drei Versuche mit Kochsalzlösung und gebranntem Maschinenöl erwiesen worden ist. Die absinkenden Niederschlag- und Flußwässer durchfließen auf ihrem Lauf zur Quelle eine Siphonstrecke und haben eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 570 m je 24 Stunden.

Die Quelle selbst stellt einen schönen See mit 16 m größter Tiefe dar. Seine Wässer fließen durch einen Siphon in einen zweiten See von größerer Fläche ab.

Die durchschnittliche Quellschüttung beträgt 2485 l/s mit einer Niederwasserperiode von Mitte Dezember bis Anfang Februar und einer Hochwasserperiode von Mitte März bis Ende September. Die Schwankungsziffer der Quelle beträgt 2,53.

Die Jahresschwankungen der Wassertemperatur der Quelle liegen zwischen 10,0 und 15,2° C mit einem Maximum im September und einem Minimum im Januar.

Ihrer Karb.-Härte nach gehören die Wässer von „Glawa Panega“ zu den mittelharten (8 bis 12 DHG), weil sie reichlich mit Flußwasser vom Wit gespeist werden, das eine geringe Härte hat. Die Karb.-Härte schwankt während des Jahres von 7,81 bis 14,38 und die Gesamthärte von 8,13 bis 16,03 DHG. Der Jahresverlauf in den Schwankungen der Karb.-Härte ist demjenigen der Temperatur der Quellwässer entgegengesetzt. Die größte Härte haben die Quellwässer im Februar und März, die geringste im August und September.

Die Wässer dieser großen Karstquelle besitzen keine guten Geschmacksqualitäten und werden derzeit für ein kleines Zementwerk und zu Berieselungszwecken verwendet.

## Literatur

ISCHIRKOV, A.: Glawa Panega. Bulgarski Pregled, 4, 10, Sofia 1902\*.

KOWATSCHEV, I.: Der Karst und die unterirdischen Karstgewässer im Tal des Ober- und Mittellaufes des Flusses Wit und „Glawa Panega“. Sammlung von Studien über die Hydrogeologie Bulgariens, Sofia 1959\*.

• LEJEAN, G.: Voyage en Bulgarie. Le Tour du Monde, Paris 1873.

MIKOV, W.: Grotten und Abgründe zwischen Iskar und Wit. Naturkunde und Geographie, 10, 7—8, Sofia 1926\*.

PENTSCHEV, P.: Der Fluß Wit. Ztschr. Tourist, 8, Sofia 1961\*.

POPOV, W.: Morphologie des Karstes im Gebiet zwischen den Tälern der Flüsse Wit und Batulska. Berichte der Bulg. Geogr. Gesellschaft, 13, 3, Sofia 1962\*.

RADEV, N.: Der bodenlose Bienenstock (Bezdanniat Ptschelin). Ztschr. Priroda, 29, 6, Sofia 1931.

ŠKORPILOVE, K. a H.: O krasských zjevech u Bulharsku. Rozpr. česke Akad. II, 29, 1895.

TOULA, F.: Geologische Untersuchungen im Centralen Balkan und in den angrenzenden Gebieten. Denkschr. d. k. k. Akad. Wiss., 55, Wien 1889.

TSCHESCHITEV, G. u. a.: Bericht über die geologischen Erkundungen im Vorbalkan von Tetewen und dem Gebiet nördlich davon bis zur Donau. Geofond na geol. i minni proučvania, Sofia 1957\*

---

\* Original in bulgarischer Sprache.

Anschrift des Verfassers:

Professor PETER PENTSCHEV, Universität Sofia, bul. Russni 15,  
Sofia, Bulgarien