

клапала било са слојевима, било са првобитном формом неког еруптивног слива.

Ради испитивања везе између површи и структуре правио сам просеке кроз све проучене површи, не дефинитивне геолошке профиле којима би се утврдиле врсте и облици тектонских процеса.

Тако на пр. профил кроз површи Копаоника сече најразноврсније еруптивне и метаморфне стене, последње махом под правим углом. Главни су прегиби између површи у серпентину и граниту, не на граници између тих стена. Узвишење Сувог Рудишта, које се диже с највише површи, састављено је од врло резистентног корнита, у неколико и од жица гвожђа и бакра, представља дакле тмор од резистентних стена.

Услед дезагрегације гранита (са великим кристалима фелдспата), познати гранитни блокови, кашто фантастично један на други наслоњени, и кристали фелдспата са гранитним грусом местумице покривају површи, копаоничку и дробњачку.

Јован Цвијић.

## SCHWALLQUELLEN

### BEWEISE DES BESTEHENS VON KARSTGERINNEN

Ueberall im Karst gibt es Quellen, welche für gewöhnlich nur mässige Ergiebigkeitsunterschiede aufweisen, zeitweilig jedoch mit grosser Kraft hervorbrechen, um nach kurzem Andauern dieses Schwalles wieder auf ihren normalen Stand herabzusinken. Die Bezeichnung *Schwallquellen* scheint mir für diese Art von Karstquellen geeignet und zutreffend zu sein.

Mit welcher Kraft der Wasserschwall erfolgt, ergibt sich daraus, dass das aufbrechende Wasser mehr als kopfgrosse Steine aus dem Quellenbecken heraussuschleudern vermag und dass, wenn man Steine selbst von mehreren Kilogramm Gewicht in den Springschwall wirft, sie nicht zu Boden sinken, sondern entweder gleich zurückgeworfen, oder vorerst minutenlang in wirbelnder Bewegung schwebend erhalten bleiben, bevor sie herausgeschleudert, oder, was selten geschieht, allmählich zum Quellenrand gedrängt werden, wo die Auftriebskraft infolge des Reibungswiderstandes gemildert ist, so dass sie schliesslich untersinken.

Schöne Beispiele solcher Schwallquellen, an welchen man diese Erscheinungen nach jedem anhaltenden Regen und besonders im Frühjahr nach der Schneeschmelze häufig beobachten und sich an dem Spiel der hineingeworfenen Steine ergötzen kann, bieten die mühelos zugänglichen, weil unmittelbar oder nahe bei Fahrstrassen gelegenen Quellen: in Brišnik donji SW. von Duvno (Županjac), in Tihaljina NO. von Ljubuški unweit

der Lučija gomila (183 m) bei dem dortigen Han und bei Trebinje die Britvenjačaquelle am Südrande des Čičevo polje. Zu den Schwallquellen, die sich jeweils erst nach mehrjährigen Pausen, aber dann um so wuchtiger, als solche dokumentieren, gehört die Okoquelle bei Aršlanagića most östlich von Trebinje.

Die *Schwallquelle von Brišnik donji* entspringt aus grobbankigem Rudistenkalk oberhalb der ersten Dorfhäuser etwa 100 Schritte westlich von der Strasse und beiläufig 8 m höher als diese. Sie füllt einen cca 1·5 m im Geviert messenden Felsschlot, welcher künstlich brunnenartig hergerichtet ist. Bei höherem Wasserstand hat sie einen unbedeutenden Abfluss zum Polje, den grössten Teil des Jahres steht das Wasser aber mehr oder weniger tief, oft bis 3 m unter dem Beckenrand, stets aber doch mindestens 5 m über dem benachbarten Teil des Polje von Duvno, welcher nie überschwemmt ist und es auch vor Jahrhunderten nicht gewesen sein kann, da sich dort Bogomilengräber befinden.

Nach heftigem Regen, besonders aber im Frühjahr nach der Schneeschmelze pflegt die Quelle rasch anzusteigen und sich über die Fassung zu ergiessen, zugleich fängt sie an zu brodeln, Springwellen aufzuwerfen und Steine herauszuschleudern. Damit ist der Schwallparoxysmus erreicht, in welchem Stadium in die Quelle geworfene kopfgrosse Steine nicht untersinken, sondern zurückgeworfen werden.

Die *Schwallquelle in der Ortschaft Tihaljina* kommt aus nach SW. einfallenden, zum Teil dünnplattigen Kalken, die wahrscheinlich einem tieferen Horizont der Rudistenkalke angehören. Bei dem erwähnten Einkehrhaus (Han) sind eine permanente und zwei periodische Quellen vorhanden u. zw. die erste etwas nördlich vom Hause unmittelbar unterhalb der in die Kalklehne eingeschnittenen Strasse, die beiden zeitweiligen Quellen nördlich und südlich je einige Schritte vom Hause entfernt in der Lehne 2—3 m über der Strasse. Die Höhendifferenz zwischen der permanenten und diesen beiden periodischen Quellen beträgt cca 6—7 m.

Die Dauerquelle bricht aus einer mit Kalkblockwerk unregelmässig umrandeten beckenförmigen Vertiefungen hervor und nährt ein westwärts zur Tihaljina abfliessendes Bächlein. Sie gilt, ob mit Recht bleibe dahingestellt, ebenso wie die 2 km südöstlicher gelegene Nezdricaquelle, als Abfluss des auf dem östlich der Strasse befindlichen Kalkplateau eingesenkten Ružić polje. Gewöhnlich ist ihre Ergiebigkeit mässig und in trockenen Zeiten unbedeutend, jedoch setzt sie nie aus. Nach anhaltendem Regenwetter schwillt sie aber beträchtlich an und quillt dann häufig brodelnd und Sprungwellen bildend mit solcher Gewalt auf, dass in das Quellenbecken geworfene bis kopfgrosse Steine sofort wieder herausbefördert werden. Meist schon etwas früher ehe dieser Auftriebsparoxysmus eintritt, beginnt die südliche von den beiden zeitweiligen Quellen zu rinnen, und wenn das Regenwetter sehr ausgiebig war, etwas später auch die nördliche. Die Ausmündungen dieser beiden periodischen Quellen befinden sich in

annähernd gleicher Höhe über der Strasse im unregelmässig zerklüfteten Kalkstein. Während aber die südliche, näher der permanenten Quelle gelegene, allmählich zu rinnen beginnt, und sich steigernd zunächst einen armdicken Strahl, dann einen kleinen Wasserfall bildet und nach einigen Tagen ebenso allmählich wieder zurückgeht, bricht die zweite Quelle gleich mit starkem Erguss hervor und hört ebenso plötzlich zu rinnen auf. Laut Angabe der Anrainer rinnt sie nur 1 bis 2 Tage, die erstere zeitweilige Quelle aber 8 bis 14 Tage, je nach dem Anhalten des Regenwetters.

Die gleiche gewaltige Auftriebskraft, wie die beiden besprochenen Schwallquellen betätigt die ebenfalls aus Kreidekalk entspringende *Britvenjača* bei Velja Gora am Südrande des Čičevo polje (S von Trebinje). Sie versiegt im Sommer völlig, aber nach einigen Tagen Regenwetter bricht sie mit solcher Gewalt hervor, dass auch sie grosse in sie hineingeworfene Steine wieder ausschleudert. Die Anrainer erzählen, dass Jünglinge sich öfters damit unterhalten, die Quelle als eine Art Kraftmesser zu benutzen, indem sie grosse Steine mit aller Kraft hineinwerfen, bis es ihnen gelingt, dass einer untersinkt. Die Britvenjača ist deshalb hervorhebenswert, weil es eine von den, in der Umrandung des Čičevo polje 20 - 40 m. über dem Poljeboden gelegenen periodischen Karstquellen ist, die sich ganz anders verhalten als die Einruchsschlote, sog. *Jame*, im Poljeboden, die als Wasserspender geschätzt werden, wie Oko, Zbora, Vučajnica, Šumet, Zgonjevo, von welchen man anzunehmen pflegt, dass sie von der Trebišnjica aus gespeist werden. Ob es sich tatsächlich so verhält, ist leider nicht erwiesen, da es mir trotz mancher Bemühungen bis heute nicht gelungen ist, weder die Vornahme von Färbungsversuchen, noch die Ausführung eines präzisen Nivellements durchzusetzen.

Karsthydrographische Erscheinungen, wie sie die angeführten Schwallquellen darbieten, sind *nur erklärlich durch intramontane geschlossene Gerinne*, in welchen sich bei beträchtlicher Wasseransammlung der hydrostatische Ueberdruck so steigert, dass er aus den Tagmündungen der Gerinne, das sind eben die Quellen, das Wasser mit einer, dem Ueberdruck entsprechenden Gewalt herauszupressen vermag. *Durch Ansteigen eines einheitlichen zusammenhängenden Karstwasserspiegels könnten derartige Erscheinungen niemals bewirkt werden.* Geschlossene Gerinne, von welcher Form sie immer sein mögen, sind für sie eine *conditio sine qua non*.

Die *Erklärung der Wirksamkeit der Gerinne* ist für alle Schwallquellen *mutatis mutandis* die gleiche und mag daher im Anschluss an einen besonders lehrreichen *Schwallausbruch der Okoquelle bei Aršlanagića most* dargelegt werden.

Diese prächtige Quelle, aus welcher Trebinje mit Wasser versorgt wird, liegt am Fusse der südlichen Steillehne des Trebišnjicatalles knapp am Ufer. Sie kommt aus wohlgeschichteten Lithiotidenkalken, die dem Lias angehören dürften.

Diese abwechselnd schwächer und stärker (bis 1·2 m) gebankten Lithiotidenkalke, welche die ganze Berglehne bei der Ookoquelle einnehmen und das Engtal der Trebišnjica überqueren, fallen unter 46 Grad nach 4h 7<sup>o</sup> (Nordosten) ein. Die Kalkbänke sind stellenweise transversal zerklüftet und an zwei solchen Stellen sind durch Erweiterung der Klüfte entstandene unbedeutende Gerinneausmündungen wahrzunehmen, von welchen sich die eine, westliche, 9·7 m, die andere, mehr nördlich gelegene, 6·2 m über dem Mittelwasserniveau der Trebišnjica, bzw. 6·5 und 3 m über dem Rande der Quellenfassung befindet. Diese beiden Gerinne sind in der Regel trocken; aber sowohl oberhalb als auch unterhalb der Ookoquelle kommen in geringerer Höhe über der Trebišnjica aus ähnlichen Klüftgerinnen mehrere Quellen zutage, darunter auch der ziemlich ansehnliche, aus zwei Armen bestehende Studenac.

Im Naturzustand war die Ookoquelle ein Tümpel mit einer Abströmung in den Fluss. Behufs Wasserentnahme für Trebinje wurde die Quelle in einem kreisrunden, mit einem Durchlass zur Trebišnjica versehenen Schachte gefasst, aus welchem das Wasser zu dem auf einem Vorsprung der Berglehne situierten Hochreservoir gepumpt wird, von wo es gravitationsmässig nach Trebinje geleitet wird. Der Rohrstrang ist über die Brücke (Arslanagića most) geführt, welchem Umstand man die, im Sommer zuzeiten unangenehme, relative Temperaturerhöhung des Wassers zuschreibt. Die Ergiebigkeit schwankt für eine Karstquelle verhältnismässig nicht beträchtlich (angeblich zwischen 100 und 500 Sec. Lit., zuverlässige Messungen stehen mir nicht zur Verfügung), doch hat die Quelle immer genug Wasser zur Füllung des nach meiner Meinung unzweckmässig kleinen Reservoirs, welches bereits durch 10 stündiges Pumpen gefüllt wird. Infolgedessen halten sich auch die Spiegelschwankungen der Quelle für gewöhnlich in mässigen Grenzen. Das Fallen und Ansteigen geht je nach den Jahreszeiten, beziehungsweise Niederschlagsperioden, allmählich vor sich; rapide Pegelstandsänderungen kommen nur vereinzelt vor und erreichen fast nie den Schachtrand der Quellenfassung.

Am 13. Dezember 1909 erfolgte jedoch *ein Wasserschwallausbruch von unerhörter Gewalt*. Seit dem 9. Dezember hatte es anhaltend geregnet, namentlich im Svitavacgebiete und im Polje von Grab, als dessen Abfluss die Ookoquelle vielleicht mit Recht gilt. Das Wasserniveau im Quellschachte stieg gegen Abend des 12. Dezember bis zum Durchlass, welcher den Abfluss in der auch sonst bei höherem Wasserstand eintretenden Weise ableitete. Etwa von 9 Uhr vormittags des 13. December 1909 an hob sich das Wasser trotz des starken Abströmens durch den Durchlass merklich rasch bis zum Brüstungsrand und es erfolgten stossweise etliche Aufquellungen. Plötzlich gegen 10 Uhr erhob sich aus dem Quellschacht eine gewaltige Wassersäule wie eine Riesenfontaine von der Form eines 10 m hohen Heuschobers, die vom Boden des Quellenbeckens grosse Steine heraufbeförderte und herausschleuderte sowie in das Saugrohr hineinpresste. Die Brücke über den Durchlass wurde weggerissen und über die Brüstung

und durch den Durchlass der Quellenfassung ergossen sich gewaltige Wassermengen in das Flussbett, ohne dass dadurch der Schwall der Riesfontaine vermindert wurde. Das Kniestück des Saugrohres brach, die Maschine versagte und trotzdem wurde das Wasser durch den eigenen Druck des Schwalles in der Druckleitung zu dem 60 m hoch gelegenen Reservoir hinaufgepresst, welches in kurzer Zeit voll war.

Gleichzeitig mit dem Beginn des Schwallparoxysmus der Ookoquelle brachen aus den zwei besagten, in der Felslehne über ihr befindlichen, sonst trockenen Kluftgerinneausmündungen zur nicht geringen Ueberraschung des bei der Ookoquelle wohnenden Pumpenmeisters, dem ich diese Mitteilungen verdanke, in weitem Bogen armdicke Wasserstrahlen hervor und zwar aus der höheren Oeffnung zuerst, aus der tieferen später.

Das Schauspiel dieses kolossalen Wasserschwalles der Ookoquelle und des Ausströmens des Wassers aus den beiden oberen Gerinnen dauerte unvermindert 4 Stunden an. Gegen 2 Uhr nachmittags nahm die Kraft des Ausströmens aus den Nebengerinnen sichtlich ab, die Strahlenbogen wurden flacher und nach einer halben Stunde rann aus ihnen fast kein Wasser mehr. Die Fontaine spielte noch, sank aber mehr und mehr in sich zusammen. Verhältnismässig rasch erreichte das Wasser, nur noch wallend, nach 3 Uhr nachmittags die Quellenbrüstung und fing hernach an auch im Quellschacht allmählich zu sinken. Der Schwall war vorüber. Am 14. Dezember vormittags konnte man bereits mit der Instandsetzung des Pumpensaugrohres und des Durchlasses der Quellenbrüstung beginnen.

Dass *ein so gewaltig Schwallausbruch durch flächenweise ansteigendes Karstwasser nicht bewirkt* werden kann, bedarf keiner Begründung. Im Gebiete der Ookoquelle spricht dagegen auch noch der Umstand, dass die flussaufwärts und abwärts ungefähr im gleichen Niveau austretenden kleinen Quellen, namentlich auch der besagte Studenac, die bei ansteigendem gemeinsamen Karstwasserspiegel zugleich mit der Ookoquelle hätten beträchtlich anschwellen müssen, *fast unverändert blieben*. Es ist damit erwiesen, dass *die Ookoquelle ihr eigenes geschlossenes intramontanes Gerinne besitzt*, was sicherlich auch von allen anderen Schwallquellen gilt. Erklärungsbedürftig ist indessen der Umstand, dass *alle Schwallquellen* in ihrer Ergiebigkeit längere Zeit hindurch nur relativ wenig schwanken und dann *auf einmal mit einem heftigen Schwall ausbrechen*, was bei der Ookoquelle gar erst mit mehrjährigen Pausen geschieht.

Diese Erscheinungen lassen sich durch die sicherlich zulässige, weil mit der Beschaffenheit vieler zugänglicher Karsthöhlengerinne übereinstimmende *Annahme eines intramontanen umfangreichen Hohlraumes* erklären, in welchem sich das Wasser wie in einem grossen Reservoir aufspeichert, aus welchem zur Schwallquelle ein Gerinne von der ihrer Normalergiebigkeit entsprechenden Kapazität führt. Solange dieses Gerinne (**a** in Fig. 1.) allein wirksam ist, kann die Ergiebigkeit der Quelle nur innerhalb der durch den Wasserstand im Reservoir bedingten Druckvariationen schwanken und

ein Schwall wäre daher nur möglich, wenn sich z. B. das Gerinne durch Einbruch oder Durchschwemmung plötzlich so erweitern würde, dass auf einmal viel grössere Wassermengen als vor dem durchströmen könnten. Ein solcher Fall ist denkbar, jedoch würde dadurch sicherlich auch das weitere Verhalten der Quelle, wenigstens einige Zeit nach der Entfernung des bis dahin gewissermassen als Regulator wirkenden Hindernisses, beeinflusst werden, so dass sie nicht bald, geschweige in einigen Stunden, ihren früheren Stand wieder erreichen könnte. *Dieses mehr oder weniger rasche Zurückgehen auf den normalen Stand ist aber für die Schwallquellen charakteristisch.* Es kann unschwer erklärt werden durch den Bestand eines ebenfalls von dem gleichen intramontanen Wasserspeicher, jedoch höher abzweigenden und in das unter gewöhnlichen Umständen allein funktionierende Hauptgerinne einmündenden *Nebengerinnes*, etwa so, wie es die Skizze (Fig. 1.) zu veranschaulichen versucht.

So lange der Wasserstand im Reservoir **R** keine grossen Schwankungen aufweist, ist nur das Gerinne **a** allein in Wirksamkeit und die Quelle unterliegt bloss relativ mässigen Ergiebigkeitsänderungen. Wenn aber das Wasser im Reservoir infolge aussergewöhnlich grosser Zuflüsse über die Abzweigung des *Nebengerinnes* bei **b** ansteigt, kann auch dieses *Nebengerinne* in Tätigkeit treten und einen starken Wasserstrom in das Ausmündungsstück des Hauptgerinnes leiten, wodurch ein schwallartiger Wasserausbruch bewirkt wird.

Besonders bedeutend und plötzlich wird der Schwall sein, wenn angenommen wird, dass das *Nebengerinne* so nach aufwärts gebogen ist, dass es *nach dem Heberprinzip wirksam* werden kann.

Bei den gewöhnlichen Schwallquellen, die sozusagen auf jeden heftigen Regen reagieren, bedarf es zur Erklärung des Schwalles keiner Heberwirkung des *Nebengerinnes*, sondern dieses betätigt sich unmittelbar. Für die *Okoquelle*, deren Schwallerguss erst nach mehrjährigen Pausen eintritt, ist aber die Annahme der Heberwirkung des *Nebengerinnes*, so wie es in Figur veranschaulicht ist, notwendig. Der Schwallausbruch tritt ein, wenn das Wasser im Reservoir bis **c**, also so hoch über **b** ansteigt, dass das von **b** zu **d** aufwärts gebogene *Nebengerinne* völlig angefüllt wird und heberartig wirken kann. Der heftige Schwall wird so lange andauern, bis der Wasserspiegel im Reservoir wieder unter **b** gesunken ist und wird dann so plötzlich aufhören, wie er plötzlich eintrat.

Die kleinen Wasseraustritte oberhalb der *Okoquelle* sind offenbar bewirkt durch vom *Nebengerinne* z. B. bei **e** und **f** abzweigende aderförmige Gerinne, durch die Wasser zutage gepresst wird, sobald durch das in der Skizze schwarzgezeichnete *Nebengerinne* Wasser strömt. Beim *Oko-schwall* sind zwei solche Austritte in Funktion getreten, bei anderen Schwallquellen können es auch mehrere in verschiedenen Höhenlagen über der Hauptquelle sein und es wird *ausschliesslich vom intramontanen Verlaufe*

der Adergerinne abhängen, ob das Wasser früher aus den höheren als aus den tieferen Ausmündungen zu strömen beginnt, oder umgekehrt.

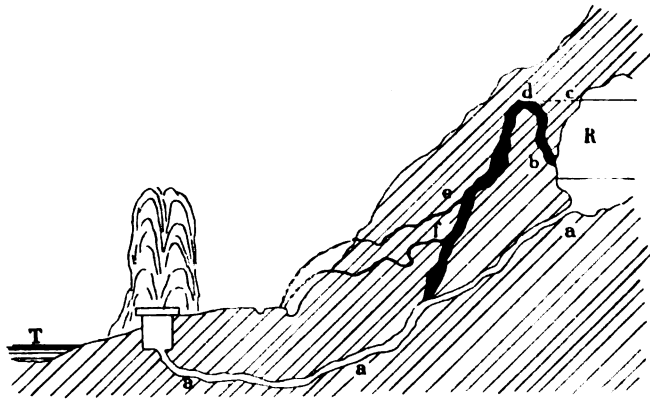


Fig. 1. Skizze zur Erläuterung des Schwallausbruches der Ookoquelle bei Arslanagica most.

$T$  = Mittelwasserstand des Trebišnjicaflusses. —  $R$  = Supponierter grosser intramontaner Hohlraum, der als Wasserreservoir fungiert. —  $a$  Zufuhrgerinne zur Ookoquelle. —  $c$  Hoher Wasserstand im intramontanen Reservoir  $R$ , bei welchem das Wasser im Knie des Nebengerinnes bis über  $d$  ansteigt, so dass Heberwirkung erfolgt und an der Quelle der grosse Schwall eintritt, welcher andauert bis der Wasserstand im Reservoir wieder unter  $b$  gesunken ist. —  $e$  und  $f$  Abzweigungen unbedeutender aderförmiger Nebengerinne.

Die Schichten des Lithiotidenkalkes fallen unter  $46^\circ$  nach Nordosten ein.

Durch das Ansteigen und Fallen eines supponierten zusammenhängenden Karstwasserspiegels lassen sich diese Erscheinungen in keiner Weise befriedigend erklären, wohingegen sie mit der Lehre von den Karstgerinnen in allen Einzelheiten im vollsten Einklang stehen.

Fr. Katzer.