

Karstwasseruntersuchungen im Gebiet von Argos (Peloponnes)

Von G. ARONIS (Athen)

Infolge der andauernden Trockenheit der letzten Jahre und des Überpumpens des Alluvialgrundwassers für Bewässerungszwecke in den Argos- und Asini-Drepanon-Ebenen kam es noch viele Hunderte Meter vom Strand entfernt zum Durchsickern des Meerwassers in den Grundwasserkörper. Die Folge davon war die Zerstörung von Tausenden Hektar Agrumengärten, die, wie bekannt, einen erhöhten Cl-Ionengehalt im Berieselungswasser äußerst schlecht vertragen.

Aus diesem Grunde wurde das Karstgebiet der Argolis (Abb. 1) in das Karstwasseruntersuchungsprogramm Griechenlands mit einbezogen, das seit Jahren vom „Institute for Geology and Subsurface Research“ mit der technischen und finanziellen Hilfe der „Food and Agriculture Organization“ durchgeführt wird.

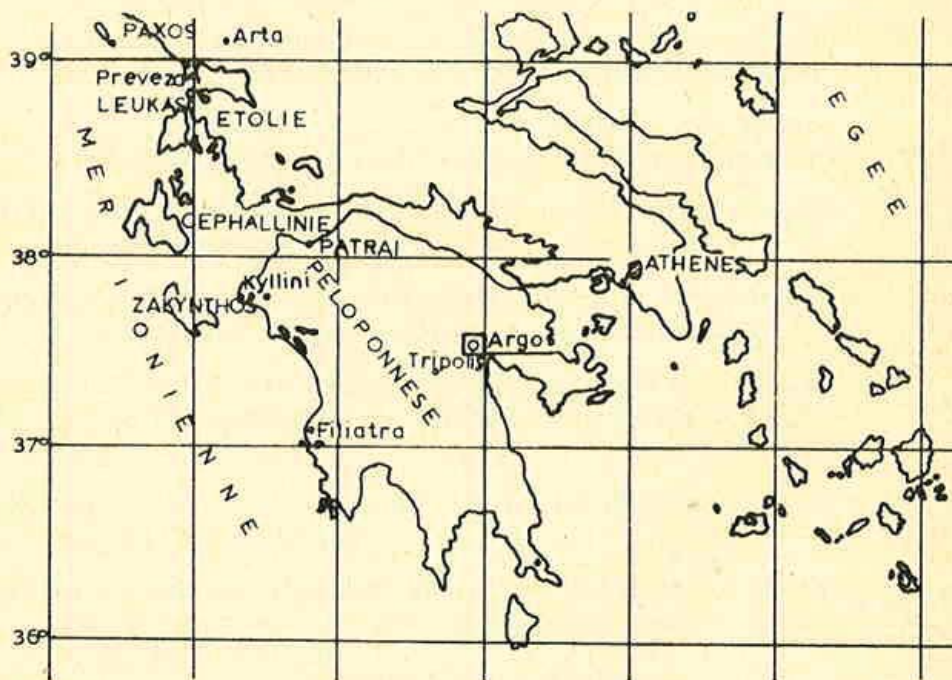


Abb. 1: Lageskizze des Gebietes von Argos.

Diese Untersuchungen sollen die Regeln der Karstwasserzirkulation in den Kalkgebieten des Landes erkunden und Schlüsse ermöglichen, die der Karstwassersuche für verschiedene Zwecke dienen. Die Untersuchungen sind für unser Land, das zu 30% aus Kalksteinen besteht, von besonderer Bedeutung. Unser Alluvialgrundwasser kann nicht mehr den steigenden Bedarf decken und wird durch Überforderung entweder seine Spende verkleinern oder durch das Eindringen des benachbarten Meerwassers verbracken.

Die Notwendigkeit der Erschöpfung von Karstwasser ist in anderen Ländern schon seit langem erkannt und durch systematische Untersuchungen gefördert worden. Der Verfasser hat darauf in einer Arbeit hingewiesen (G. ARONIS 1959), obwohl gegensätzliche Meinungen darüber bestehen.

Was die Argolis betrifft, so wandte sich die Karstwasseruntersuchung den Kalkrändern zu (G. ARONIS 1961), die die Kephalaria- und Lernaquellen sowie die küstennahen und untermeerischen Quellen von Kiwari und Anawalos speisen. Die Testbohrungen erfolgten nach eingehenden Voruntersuchungen, die hier nicht näher erläutert werden können. Sie bestanden aus geologischer und hydrogeologischer Kartierung, systematischen chemischen Analysen von zahlreichen Wasserproben, Färbeversuchen und Isotopentrifugung, sogar Froschmäner untersuchten die untermeerischen Quellen.

Die Kephalariaquelle von Argos

Von den oben erwähnten Karstquellen ist die Kephalariaquelle bei Argos (Abb. 2) von besonderem praktischem Interesse. Sie entspringt in einer Meereshöhe von +23,82 m am Südwestende der Argolischen Ebene.

Die mittlere Jahreswasserspender von Kephalaria wird auf 90 Millionen m³ geschätzt, wovon der größte Teil im Winter und Frühjahr abfließt und den Erasinos-Fluß bildet, der im Argolischen Golf ins Meer mündet. Nur ein kleiner Teil der Wasserspender fällt so in die Bewässerungsperiode, wobei sich die Schüttung gegen deren Ende immer mehr vermindert.

Im Sommer 1962 versiegte die Kephalariaquelle ab Mitte Juli, wie das Spenderdiagramm zeigt (Abb. 3), das auf Grund von systematischen Messungen von seiten der Hydrogeologen des IGSR aufgenommen wurde.

Wegen dieser unregelmäßigen Spender von Kephalaria während der Bewässerungszeit konnte bisher kein geeigneter Bewässerungsplan ausgearbeitet werden.



Abb. 2: Die Kephalariaquelle bei Argos (Foto Dr. D. J. Burdon).

Das Wasser strömt aus einer trichterförmigen Öffnung in den oberkretazischen sublithographischen Kalksteinen der Olonos-Pindos-Zone, die stark gefaltet sind und von einem Flyschstreifen derselben Zone überlagert werden. Der Flysch umgibt den Rand der Kalke und fällt steil nach Osten ein, wo er unter das Alluvium der Argolis untertaucht (Abb. 4 und Profil I).

Dieser „Flyschstaudamm“ zwingt das Karstwasser zum Aufsteigen und erzeugt so die Kephalariaquelle in der Meereshöhe, die der tiefsten Kontaktstelle zwischen Kalk und Flysch entspricht. Auf diese Weise wird das Kephalariaiwasser gestaut und kann den Grundwasserkörper mit seinem tieferen Spiegel im anliegenden Alluvium der Argolis nicht beliefern.

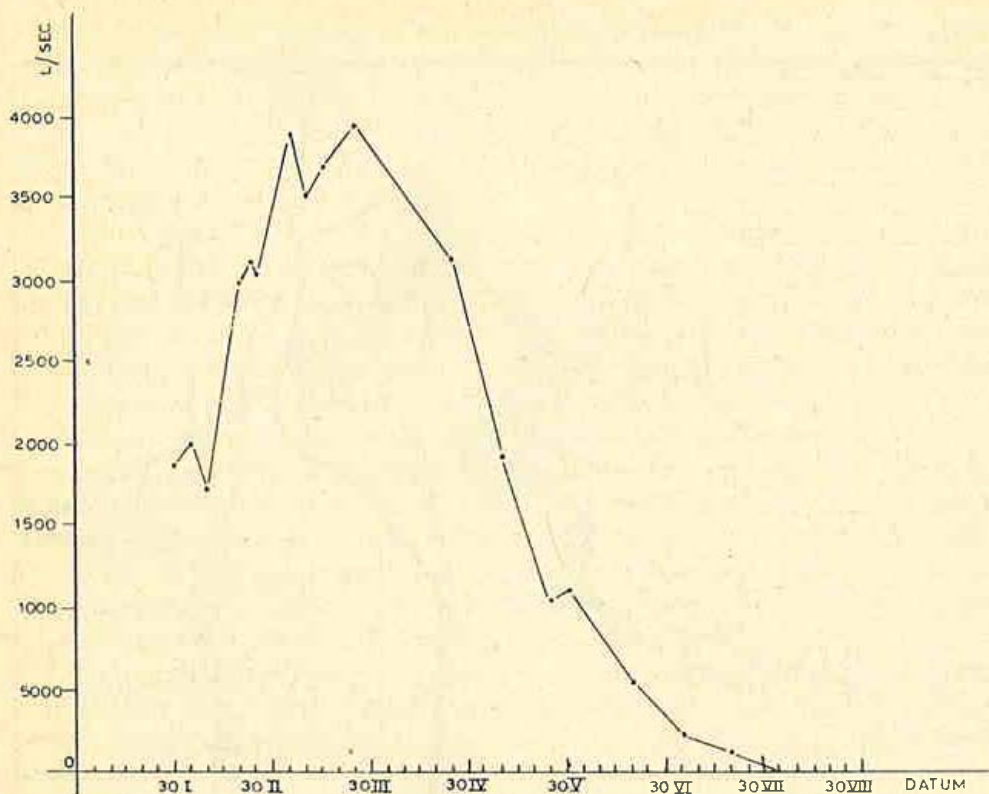


Abb. 3: Spendendiagramm der Kephalariaquelle im Jahre 1962.

Die Olonos-Pindos-Kalke sind weiter westlich auf die (Kalk- und Flysch-)Sedimente der Tripolitza-Zone aufgeschoben, die in den Bergen Arkadiens auftreten und bei der Belieferung der Kephalariaquelle mitwirken. Letztere Zone überlagert die wasserdichten halbmetamorphen Schieferbildungen im Zentralpeloponnes, die hier und da zwischen den Sedimenten der Alpidischen Zone des Peloponnes hindurchragen.

Das Ziel der Untersuchung des Bereiches der Kephalariaquelle war die Klärung der Frage, ob — wie der Verfasser übrigens glaubte — in ihm ein geschlossener Karstwasserkörper mit einem durchgehenden Karstwasserspiegel vorliegt, der durch die Kephalariaquelle drainiert wird, oder ob das nicht der Fall ist, was, wie unten erörtert wird, von J. K. TRIKKALINOS (1957) behauptet wird.

Trifft unsere Annahme zu, dann ist die Wassersuche in den Kalcken um Kephalaria möglich. Das Karstwasser kann dann im Sommer zur Bewässerung der anliegenden Gebiete in die Argolische Ebene gepumpt werden, auch wenn die natürliche Schüttung der Kephalaria-

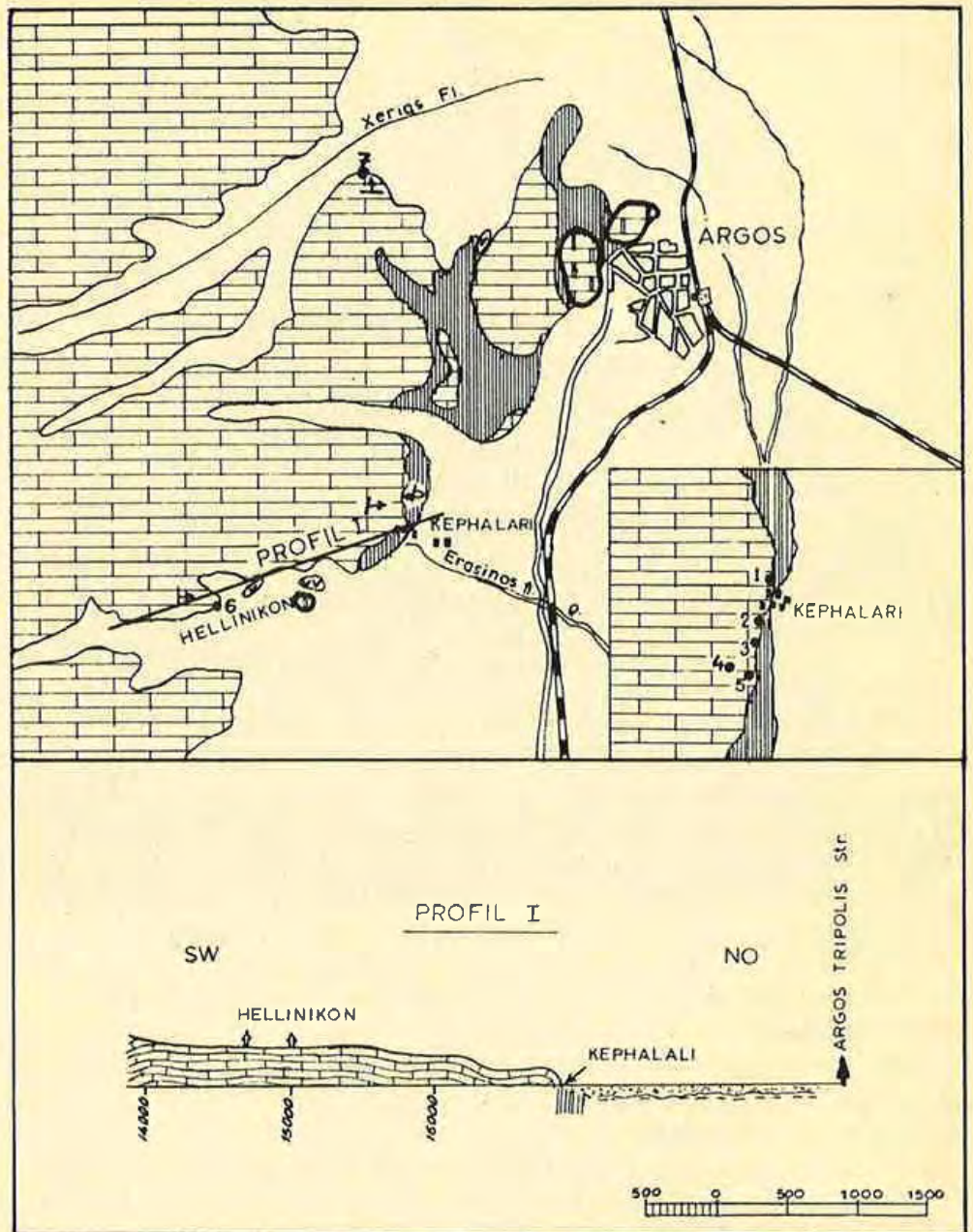


Abb. 4: Geologische Kartenskizze der Umgebung von Kephalaria (gezeichnet nach der Karte des IGSR).

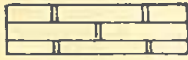
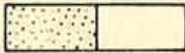
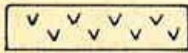




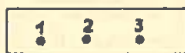
quelle klein oder null ist. Es ist sogar beabsichtigt, durch ein geeignetes Zapfwerk den gesamten Wasservorrat im Kalkgebirge, der die Kephalariaquelle beliefert, abzuzapfen und den Wasserspiegel bis zum Meeresniveau abzusenken. Ein ähnlicher Fall einer Karstquellenanzapfung ist vom Verfasser bereits behandelt worden (G. ARONIS, D. BURDON und K. ZERIS 1961).

Auf diese Weise läßt sich der Beginn der Schüttung der großen Kephalariaquelle dem Zeitpunkt des Bewässerungsbeginnes näherbringen und der größtmögliche Teil des Karstwassers ausnutzen, der sonst unverwertet ins Meer fließt. Die Kalke wirken so als unterirdischer Behälter für das winterliche Regenwasser, das im Sommer herausgepumpt und im nächsten Winter wieder ersetzt wird. Diese Aufspeicherung des Winterwassers ist vorteilhafter als die oberirdische Speicherung durch Staudämme und -seen, denn sie erspart die Baukosten für Dämme und Wehre, überflutet keine nutzbare Bodenfläche, leidet nicht unter der Verdunstung und der Auflandung des Stausees u. a. m. Das Wasser muß lediglich durch Pumpen aus dem natürlichen Wasserbehälter gehoben werden, was auch bei manchem oberirdischen Stausee der Fall ist.

Eine grundlegende Voraussetzung für die Durchführung dieses Planes ist das Vorkommen eines einheitlichen Karstwasserkörpers und -spiegels in der Kalkmasse, aus der die Kephalariaquelle entspringt.

Die Kephalariaquelle wird auch in einer Arbeit von J. K. TRIKKALINOS (1957) behandelt, und zwar in einem Spezialkapitel unter dem Titel „Untersuchung der Gebirgsränder“ (S. 133). Er schreibt darüber: „Man muß aber hierzu folgendes bemerken. Das Wasser der Karstquellen stammt nicht von einem Wasserhorizont, den man durch Bohrungen auch an anderen Stellen feststellen kann, sondern aus unterirdischen Kalkkanälen, die in den Kalksteinen Grie-

Legende zur Abb. 4:

	Kalkstein der Osthellenischen Zone (überschoben)		Alluvium
	Peridotit		Überschiebungsfrent
	Oberer Kreide-Kalkstein der Olonos-Zone		Schichtfallen
	Flysch der Olonos-Zone		Bohrlöcher und Brunnen

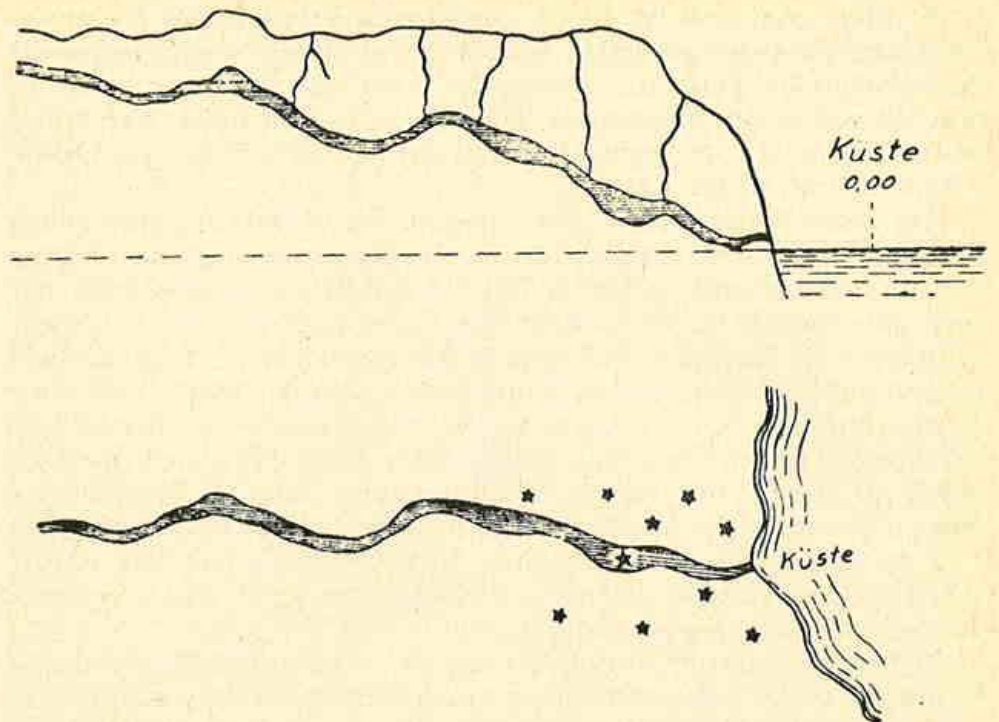


Abb. 5: Schema einer Karstquelle nach J. K. Trikkalinos (1957).

Oben: „Fig. 3a. Profil karstischen Kanals. Küstennahe Störung hat den unterirdischen Abfluß des Wassers unterbrochen und die Entstehung einer karstischen Quelle ‚Kephalaria‘ hervorgerufen.“

Unten: „Fig. 3b. Waagrechter Schnitt des Verlaufs eines unterirdischen Kanals. * Lage der eventuell durchführbaren Bohrungen.“

chenlands entwickelt sind und an einer Stelle infolge von mächtigen Dislokationen als mächtige Quelle (s. Abb. 5 „Fig. 3a“!) zutage treten. Wenn man sich von diesen Stellen entfernt und versucht, durch Bohrungen an anderen benachbarten Stellen dieses Wasser anzutreffen, kann man sich nur auf den Zufall verlassen (s. Abb. 5 „Fig. 3b“!).“

Nach obigen Ansichten von J. K. TRIKKALINOS trifft man nur dann Wasser in einer Bohrung an, wenn man zufällig den wasserführenden Karstkanal anbohrt. Etwas weiter ist der Kalk trocken, und die Bohrung bleibt erfolglos.

Die Folgerung aus diesen Ansichten ist, daß eine eventuelle Aufschließung des Karstkanals das Risiko auf sich nimmt, das Karstwasser zu verlieren. Das könne durch die sich dabei bildenden Klüfte erfolgen, durch die der Kanal mit den umgebenden trockenen Kalksteinmassen in Verbindung tritt.

Diese Meinung von J. K. TRIKKALINOS folgt ganz allgemein jener

von K. KEILHACK (1912). So schreibt J. K. TRIKKALINOS über die Karstwasserzirkulation in den Kalksteinen: „In diesen Schichten bewegt sich unregelmäßig eine Wassermenge, deren unterirdischer Verlauf nicht so leicht festzustellen ist“ (S. 124). So habe sich gezeigt, „daß sich das Nachsuchen von wasserführenden Horizonten in den Kalksteinschichten auf keine wissenschaftliche Voraussetzung oder irgendein allgemeines hydrogeologisches Gesetz stützt und eine rein abenteuerliche Unternehmung darstellt.“ (S. 122). Falls diese Ansichten stimmen würden, könnte die Kephalariquelle nicht nach dem dargelegten Plan rationell ausgenutzt werden. Es müßte das reichliche Winterwasser dieser Quelle ungenutzt ins Meer fließen und die Kulturen sich mit dem jeweils in der Bewässerungszeit anfallenden Wasser begnügen.

Die Schürfbohrungen

Zweck der Schürfbohrungen war es festzustellen, ob in der Kalkmasse, aus der die Kephalaria-Karstquelle fließt, ein einheitlicher Karstwasserspiegel besteht, daher jede Bohrung auf alle Fälle Wasser antrifft, und welche Beziehungen dieser zur Kephalariquelle hat.

Die von uns veranlaßten Bohrungen wurden in verschiedenen Abständen von Kephalaria angesetzt und haben nur die speichernden Kalksteine durchteuft, außer Bohrung Nr. 1, die den gefalteten Flysch in 18 m Tiefe antraf. Zusätzlich wurden zwei Bohrungen durch Bohrgeräte des Landwirtschaftsministeriums durchgeführt, auch existieren schon Privatbohrungen und Brunnen, deren hydrogeologische Daten aus der Tabelle und deren Lage auf Abb. 4 zu ersehen sind.

Nr.	Art	Meereshöhe	Tiefe	Statischer Wasserspiegel	Dynamischer Wasserspiegel	Spende m ³ /h	Abstand von Kephalaria
1	Bohrung	+ 26,86	40 m	+ 26,00 m	+ 13,00 m	100	15 m
2*	Brunnen	+ 29,46	—	+ 27,90 m	—	40	70 m
3*	Bohrung	+ 26,90	27 m	—	—	40	90 m
4	Bohrung	+ 45,42	60 m	+ 24,42 m	—	50	170 m
5*	Brunnen	+ 33,25	—	+ 24,30 m	—	40	130 m
6	Bohrung	+ 150,17	160 m	+ 23,77 m	+ 23,77 m	15	2900 m
7**	Bohrung	+ 117,56	170 m	+ 29,36 m	+ 50,00 m	5	5000 m

Wenn während der Regenzeit die Kephalariquelle schüttet, liegt ihr oberes Niveau bei Meereshöhe + 26,92 m, das ihrer vorgebauten Mauer entspricht.

* Existierende Privatbestimmungen und Brunnen.

** Eine Behandlung der Bohrung mit einer Tonne Salzsäure hob die Spende auf 12 m³/h.

Bemerkungen und Folgerungen

1. Wir sehen aus der Tabelle, daß der piezometrische Gradient aller Bohrungen und Brunnen mit ihrem Abstand von Kephalaria um etwa 1‰ wächst. Nur der Spiegel der Bohrung 6 folgt dem Gradient nicht nach der Regel. Offenbar liegt diese Bohrung im Grenzgebiet, durch das das Wasser von Kephalaria auch eine andere Kalksteinmasse unterirdisch nährt, in diesem Fall das Einzugsgebiet der Myliquelle.

2. Überall in der Kephalaria-Kalkmasse, die keine abdichtende Unterlage über dem Meeresspiegel hat, bildet sich ein einheitlicher Karstwasserspiegel, dessen statischer Spiegel den piezometrischen Gradienten von etwa 1‰ aufweist.

3. Der Grundwasserspiegel der Bohrungen schwankt proportional zu den Spendenschwankungen der Kephalariquelle.

4. Die Wasserspende einer Bohrung hängt von den tektonischen Verhältnissen bei den Bohrstellen ab. Hier bestätigt sich wieder die allgemeine Regel: Der Erfolg einer Bohrung in bezug auf die Wasserspende hängt vom Zerklüftungsgrad der Kalksteinmasse ab. Diese Regel hat sich in allen Bohrungen der Bereiche Itea-Amphissa und Aspra Spitia bestätigt (G. ARONIS 1961).

5. Die Kephalariquelle wird nicht von einem Einzelkanal gespeist, sondern von einem Karstwasserkörper mit einem einheitlichen Karstwasserspiegel in den Klüften des Kalkes (G. ARONIS 1962). Er kann eventuell mit den Katavothren (Ponoren) der ostarkadischen Gebirge verbunden sein. In diesem Hauptdränleiter fließt das ganze Netz der kleineren und größeren Zubringer im Kalk zusammen. Auf diese Art ist die vollständige Ausnutzung des Karstwassers möglich, entweder durch einige Bohrungen in den Kalken des Kephalaria-gebietes oder durch Anzapfen des Karstwassers an der Kephalariquelle selbst, ohne daß das Wasser durch die Sprengstoffanwendung verloren zu gehen braucht.

6. Die Leistung dieses Anzapfwerkes kann leicht ermittelt werden, weil im vergangenen Jahr (1962), als die Quelle die selbsttätige Spende einstellte, dauernd sowohl aus der Quellmündung wie auch aus den oben erwähnten Brunnen und Bohrungen zur Stadt- und Gartenbewässerung mit einer Ergiebigkeit von etwa 400 m³/h gepumpt wurde. Dabei senkte sich der Wasserspiegel im Quelltrichter nur etwa 10 cm in drei Monaten!

7. Die von J. K. TRIKKALINOS über die Kephalariquelle geäußerten Ansichten entsprechen also nicht der Wirklichkeit; ebensowenig seine Ansicht, daß das Aufsuchen von wasserführenden Horizonten in Kalkarealen ein „abenteuerliches Unternehmen“ sei. Es wird im Gegenteil die Karstwasserzirkulation in den Kalksteinen von allgemei-

nen Regeln beherrscht, auf Grund deren die Wassersuche trotz einiger Eigentümlichkeiten des Karstes möglich und aussichtsreich ist.

Diese Feststellung hat für unsere Heimat Griechenland eine besondere Bedeutung, weil sie ein weites Feld erschließt, um die vielseitigen Bedürfnisse an Wasser zu decken, und zwar von jenem Wasser, das in enormen Mengen jährlich in den weitverbreiteten Kalkformationen des Landes aufgespeichert wird.

Summary

This paper deals with the hydrogeological conditions in the Kefalari region of Argos where the karstic spring of the same name reaches a yield of about 5 m³/sec in an average year and sometimes ceases flowing during the summer.

This source springs from funnel shaped cavern of the thin-bedded Upper-Cretaceous limestones of the Olonos zone at a height of about 24 m above sea level. These limestones are folded, dip eastwards and are covered by the flysch of the same zone (Fig. 4, Prof. I). The limestones occur above sea level without intercalations of impervious layers. The overlying flysch is, due to foliation, partly underlying the limestones as borehole No. 1 has shown.

The investigation of the calcareous mass (by means of boreholes), the water of which feeds the Kefalari spring has brought to light the existence of a continuous karstic water-bearing horizon within this mass whose piezometric level has an inclination of 1‰ as compared to the level of the spring. The results obtained from these boreholes are in contradiction with the statement made by I. K. TRIKKALINOS i. e. that there occurs no continuous karst water-bearing horizon within the limestones of the Kefalari area and that its waters flow through conduits whose location is a matter of luck (Fig. 5).

The results obtained from these boreholes permit the execution of exploration work into the karstic limestones of the Kefalari of Argos in order to put the water flow under control during the proper season of the year when the spring water can be used for the irrigation of the plain of Argos and to collect by pumping a large quantity of water during the summer when the spring's yield is very small and sometimes nil, according to a relatively earlier proposal of the author.

Literatur

- ARONIS G.: The need for karstic water research in Greece. IGSR, Athens 1959.
- A special case of Karst hydrology.
Congr. A.I.H., Rome 1961.
- Observation on the coastal Karst of Greece.
Congr. A.I.H., Athens 1962.
- BURDON J. D. & K. ZERIS: The development of a Karstic Spring.
Congr. A.I.H.S., Athens 1961.
- BURDON J. D.: Monthly Report No. 32. FA-UNSF. Groundwater Project in Greece. Athens 1962.
- & PAPAKIS N.: Research into the Hydrology of the limestones of the Argos-Tripolis region. Notes on the first field trip. I. A. H. Athens Meeting 1962.
- KEILHACK K.: Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin 1912.
- TRIKKALINOS J. K.: Über die hydrogeologischen Verhältnisse Griechenlands. Annales géologiques des Pays Helléniques, 8, 118—134, 1957.

Anschrift des Verfassers: Dr. G. ARONIS, Direktor im „Institute for Geology and Subsurface Research“, Athen, Hippokrates Str. 1.