

GEOLOGISCHE UND HYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM GEBIET DER THERMALQUELLEN VON HİSARALAN (WESTANATOLIEN)

Ch. J. HÄFELI

Mineral Research and Exploration Institute of Turkey

EINLEITUNG

In Verbindung mit der Kartierung eines ca. 300 km² umfassenden Gebietes E Bigadiç und Sındırgı (SE Balıkesir) wurden die geologischen Verhältnisse in der Umgebung der Thermalquellen von Hisarköy und Hisaralan eingehend untersucht (Fig. 1). Dabei war insbesondere die wirtschaftliche Nutzbarmachung ihrer thermischen Energie abzuklären. Es zeigte sich hierbei, dass die Thermalquellen von Hisaralan zu den wärmsten und ergiebigsten Quellen Anatoliens gehören. In der Folge soll auf einige Ergebnisse der geologischen und hydrologischen Untersuchungen im Gebiet der Thermalquellen von Hisaralan eingegangen werden.

GEOLOGISCHE ÜBERSICHT

Aus Figur 2 ist der geologische Aufbau des durchgehend gebirgigen Untersuchungsgebietes ersichtlich. Über 75% der Oberfläche werden durch Vulkanite aufgebaut. Auf den ENE - WSW streichenden Antiklinalen ist die Erosion teilweise bis zu den neogenen Sedimenten oder oberkretazischen Ophioliten, Kalken und Radiolariten fortgeschritten, die das Liegende der magmatischen Gesteine bilden. Vereinzelt treten innerhalb der Vulkanite kleine Kalkeinschaltungen zum Vorschein. Von den Andesiten im Norden abgesehen, stellen die vulkanischen Gesteine Ablagerungsprodukte eines Strato-vulkans dar. Dessen Zentrum, sowie die Fließrichtung der Magmen sind jedoch nicht erkennbar.

GEOLOGISCHE ENTWICKLUNG IM NEOGEN

Während der Auffaltung im Neogen wurden gewaltige Mengen an Vulkaniten gefördert, die die frühere, vom Paläozoikum bis ins Neogen reichende Erosionsfläche völlig ein ebneten. Dieser vorwiegend intermediäre bis basische, finale Magmatismus erfolgte in

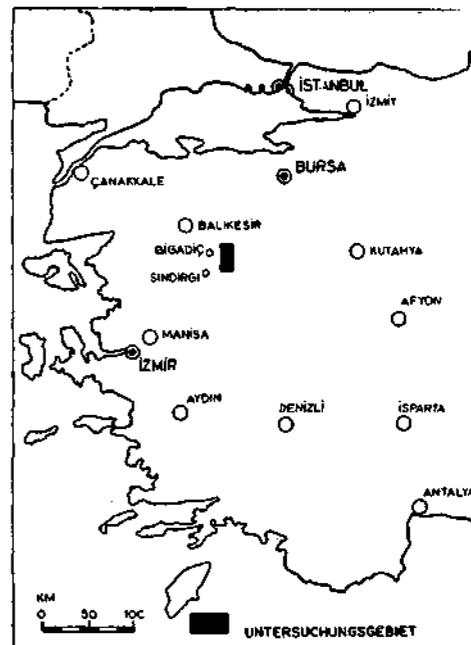


Fig. 1 - Situation des Untersuchungsgebietes.

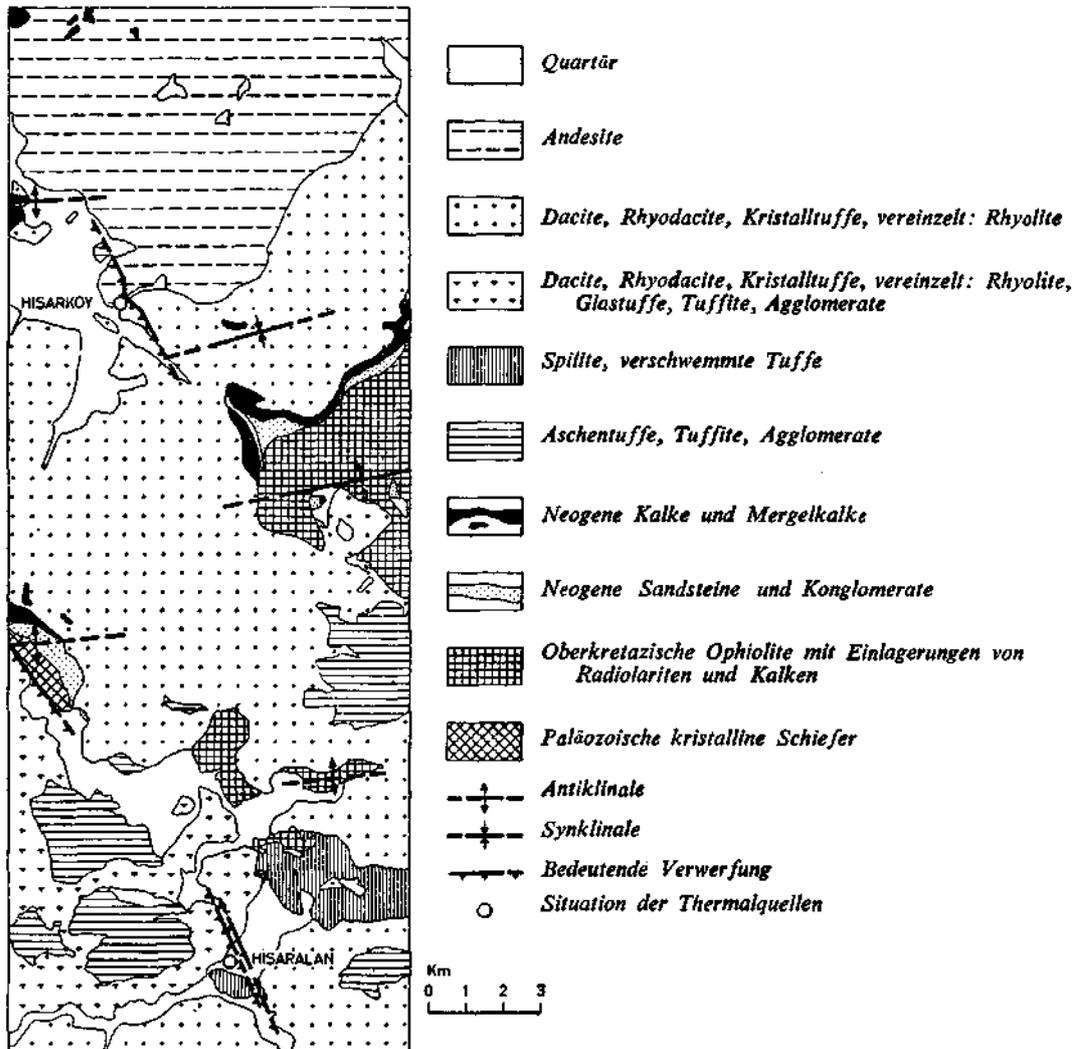


Fig. 2 - Geologische Übersicht zum Untersuchungsgebiet.

verschiedenen Phasen, die durch geringmächtige, lakustrische Kalke innerhalb der vulkanischen Abfolge zum Ausdruck kommen.

Die Einmessung sämtlicher Verwerfungen und Rutschharnische, sowie der mehrere Meter mächtigen Glas- und Quarzgängen ermöglichten, die geologische Entwicklung weiter zu verfolgen. Die Messwerte wurden in Richtungsrosen (Fig. 4) eingetragen. (Leider konnten nur 19 Gänge und 23 Harnische eingemessen werden; die bevorzugten Richtungen sind jedoch eindeutig.) Deutlich ist ersichtlich, wie die Gänge in derselben Richtung wie die SE - NW streichende Harnischschar verlaufen, die ENE - WSW Richtung jedoch meiden.—Nach der Ablagerung der Vulkanite bildeten sich somit SE - NW gerichtete Verwerfungen, die z.T. von magmatischen Restlösungen als Aufstiegsweg benutzt wurden. Wie die Kalkeinschaltungen zeigen, wurde das Gebiet im Spätneogen von einer ESE - WNW streichenden Faltung ergriffen, die ein neues Verwerfungssystem in ESE - WNW Richtung schuf, zugleich aber das alte SE - NW gerichtete reaktivierte. Als jüngste postvulkanische Erscheinung tritt, das Thermalwasser bei Hisarköy und Hisaralan zu Tage, das die alten NE - SW gerichteten Bruchzonen als Aufstiegsweg benützt.

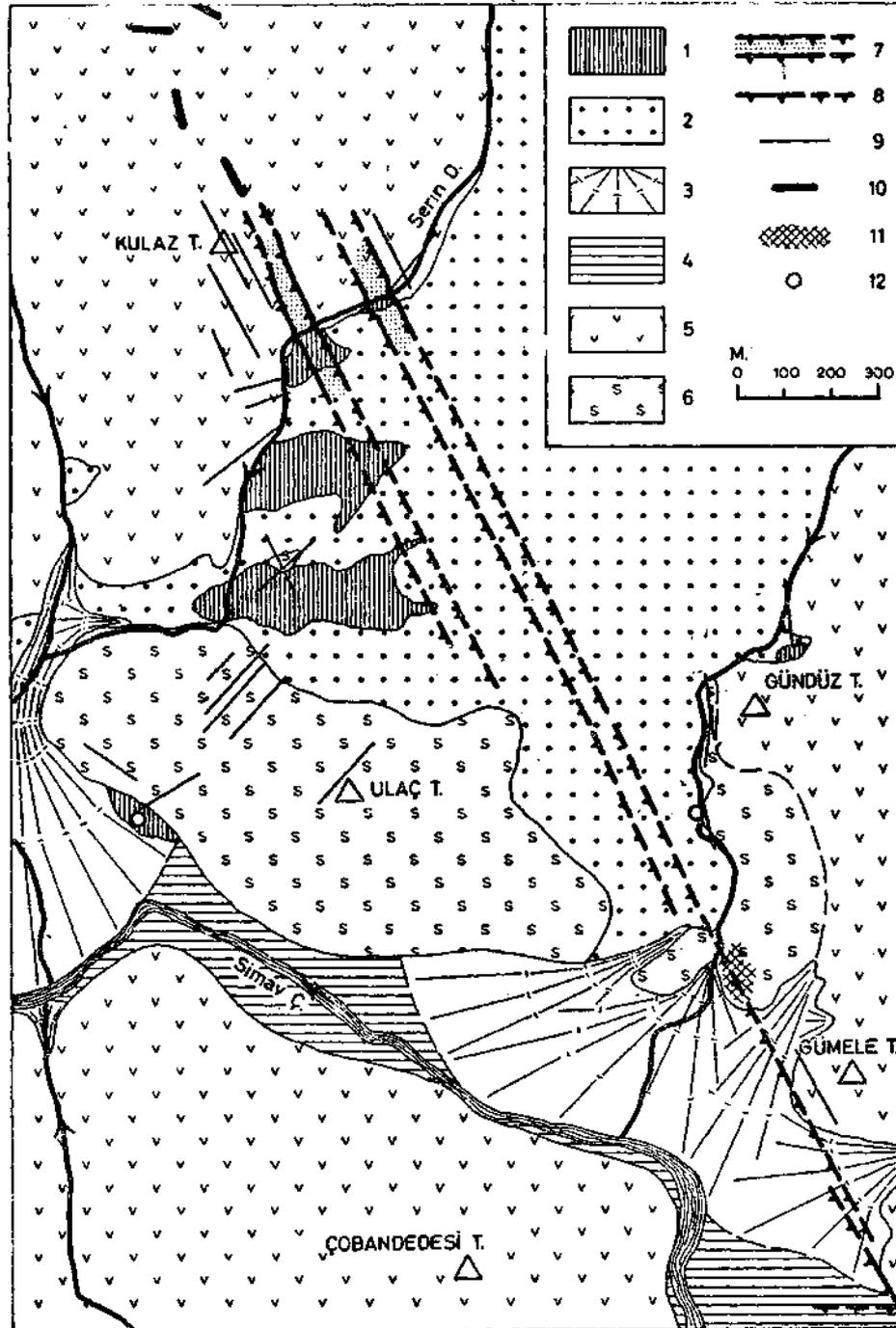


Fig. 3 - Geologische Karte des Gebietes der Thermalquellen von Hisaralan.

- 1 - Travertinablagerungen; 2 - Gehängeschutt vermisch mit Bachschutt; 3 - Bachschutt; 4 - Schotter und Sande des Simav; 5 - Dacite und Rhyodacite; 6 - Spillite; 7 - Verwerfungs zone; 8 - Verwerfung; 9 - Kluftscharen; 10 - Glasgänge; 11 - Tektonisch gestörte Zone; 12 - Isolierte Thermalquellen.

GEOLOGISCHE SITUATION IM GEBIET DER THERMALQUELLEN
VON HİSARALAN (Fig. 3)

Die Umgebung der Thermalquellen besteht aus Daciten und Spiliten. Diese liegen wahrscheinlich den oberkretazischen Gesteinen auf (vorwiegend Ophiolite), die ca. 3 km NNE der Thermalquellen aufgeschlossen sind. Die Quellen selbst entspringen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, dem ausgedehnten Bachschutt des Serin-Baches und dem Gehängeschutt.

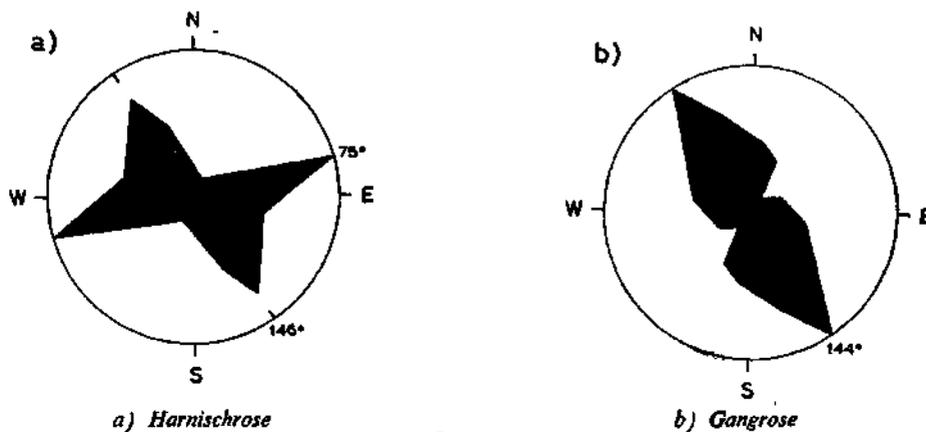


Fig. 4

Die Dacite und Spilite des Kulaz-, Ulaş- und Gündüz - Tepe sind massige Gesteine, die jedoch oft Kluftscharen aufweisen. Nachdem die Streichrichtungen der Klüfte eingemessen und in eine Windrose aufgetragen wurden, zeigte sich, dass in diesem Gebiet zwei ausgesprochene Kluftscharen in NE-SW (Maximalwert 45°) und SE-NW (Maximalwert 132°) Richtung vorliegen (Fig. 5).

Zwei annähernd parallel zueinander verlaufende, grosse Bruchzonen sind in der kleinen Schlucht des Serin - Baches, SE des Kulaz - Tepe aufgeschlossen. Ihr Streichen beträgt 150° SE, das mittlere Einfallen 70° (Extremwerte 60° und 80°). Sie liegen ca. 120m auseinander und die Mächtigkeit des gestörten Gesteinsverbandes beträgt je etwa 50 m. Währenddem die östliche Störungszone nicht weiter nach NW verfolgt werden kann,

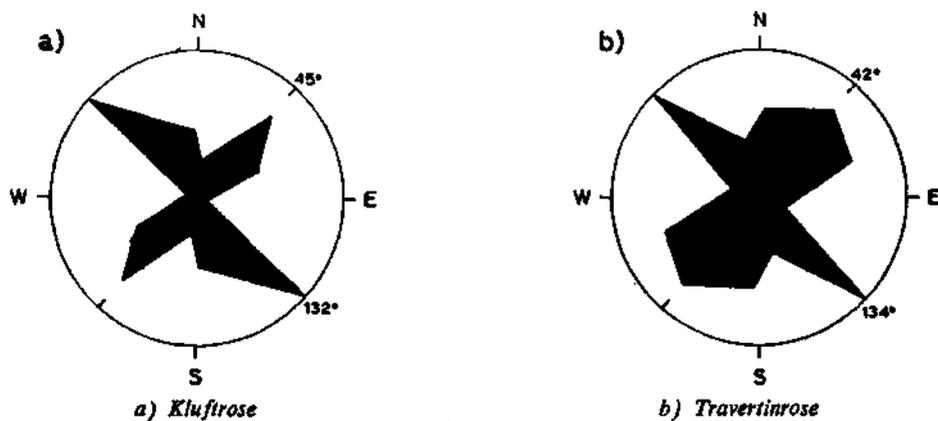


Fig. 5

lässt sich die westliche noch auf der E-Seife des Kulaz-Tepe beobachten, und zwar in Form herausgewitterter, von sauren Glasgängen durchzogenen Fragmenten der Bruchzone. In der Schlucht des Serin-Baches selbst können Glasgänge und Silifizierungen des umgebenden Gesteins innerhalb der Verwerfungszone gut beobachtet werden. Kluft- und Bruchflächen sind stark limonitisiert» überall treten Glasschnüre auf, insbesondere in der westlichen Bruchzone. Die SE - Fortsetzung dieser bedeutenden Störungen lässt sich 2.5 km SE am Barutlutaş- Tepe (SE Gümele-Tepe) in der Form prächtiger horizontal verlaufenden Rutschharnische finden. Ein Bindeglied zwischen dem Aufschluss am Serin-Bach und Barutlutaş - Tepe kann NW des Gümele-Tepe als gestörten, verklüfteten Gesteinsverband beobachtet werden.

DIE TRAVERTINBILDUNGEN

Insgesamt traten im Sommer 1965 206 Thermalquellen aus. Davon kamen 194 Quellen zwischen dem Ulaç- und Kulaz - Tepe vor. Dieses Gebiet sei fortan - dem Thermalbad entsprechend - Hamamgebiet genant. Ein weiteres kleines Quellenfeld, dem 10 Quellen entspringen, wurde beim Gündüz-Tepe gefunden. Eine isolierte Thermalquelle - Naciusal - Quelle genannt - liegt am SW-FUSS des Ulaç-Tepe. Eine zweite isolierte Thermalquelle, ihr sei hier der Name Gümele - Quelle gegeben, tritt am W - FUSS des Gündüz- und Gümele-Tepe auf.

Um die tektonischen Verhältnisse im Gebiet der Thermalquellen näher abklären zu können, wurden die ausgedehnten Travertinablagerungen im Hamamgebiet im Massstab 1 : 1000 kartiert und vermessen.

Grundsätzlich konnten folgende vier Typen von Travertinablagerungen unterschieden werden :

- a. Der Topographie angepasste, flächenhafte Ausdehnung von Travertin: Travertinterrassen.
- b. Travertinkegel und - türme.
- c. Travertinmauern.
- d. Die ähnlich einem Wasserfall über Geländevorsprünge abgelagerten Travertinwälle.

Die Genese der obigen vier verschiedenen Grundformen ist abhängig vom Relief und Wasserdruck. Bei niedrigem Druck bilden sich je nach der Topographie Travertinterrassen oder -wälle, bei erhöhtem Wasserdruck wachsen Travertinkegel und-mauern heran. Die Bildung der letzteren ist nur möglich, wenn mehrere Quellen linear angeordnet sind, oder sich die Austrittsöffnung einer Quelle infolge Verstopfung durch Kalksinter linear verschiebt. Wobei die Reihenanzordnung und Verschiebungsrichtung durch eine Kluft oder Verwerfung, die als Aufstiegsweg des Thermalwassers dient, vorgezeichnet wird.

Die Einmessung von Travertinmauern und linear angeordneter fossiler Austrittsöffnungen ergab folgendes Ergebnis (Fig. 5) : Es herrschen zwei deutliche Scharen in NE-SW (Maximalwert 44°) und in SE-NW (Maximalwert 134°) Richtung vor. Vergleicht man die Travertinrose mit der Kluftrose (Fig. 5), so zeigt sich trotz der mehrere Meter mächtigen Gehängeschutt - Überdeckung eine gute Übereinstimmung. (Es lagen nur 22 Kluft- und 28 Travertinmessungen vor, die bevorzugten Richtungen zeigen sich trotzdem

eindeutig). Die Travertinablagerungen spiegeln deutlich die Tektonik des Untergrundes wieder.

Die Ausfällung von CaCO_3 erfolgt durch Entweichung von CO_2 infolge Druckentlastung, d. h. sobald das Thermalwasser an die Oberfläche tritt. Folgendes, nach rechts gerichtetes Redoxsystem gilt :



Es konnte eine monatliche Karbonatausfällung von bis 2 mm Mächtigkeit beobachtet werden. Daraus ist ersichtlich, wie rasch die Mündungen der Quellen versintern kann. Tatsächlich ist es häufig so, dass eine Quelle ein mehrere Quadratmeter grosses Gebiet beansprucht, indem sie im Laufe der Jahre je nach der Versinterung an immer verschiedenen Stellen durchbricht. Dieser periodische Wechsel der Austrittsstelle verursacht die Schichtung der Travertinablagerungen. Ist aber der Wasserdruck hoch, vermag sich bei der Austrittsöffnung kein Karbonat festzusetzen, die Thermalquelle bleibt am selben Standort, was zur Bildung von bis 5 m hohen Travertintürmen führt.

Durch Metalloxyde und sulfide (meist Eisen oder Mangan) ist das ursprünglich weisse Karbonat oft schwarz, rot oder gelb verfärbt. Dabei genügen schon Spuren dieser Schwermetallverbindungen um eine intensive Färbung zu erzielen.

ERGIEBIGKEIT UND TEMPERATUR

Die totale Ausflussmenge sämtlicher 206 Thermalquellen beträgt 3430 lt/min. oder ca. 57 lt/sec.

Die Temperaturen der Thermalquellen liegen zwischen 48 und 98°C. Ihre Durchschnittstemperatur beträgt 82. 2°C, die durchschnittliche Mischtemperatur dagegen 83.7°C. Letztere ist höher, da die wärmeren Quellen im allgemeinen mehr Wasser führen.

Wie Fig. 6 zeigt, verlaufen Temperatur und Ausflussmenge proportional zueinander, d. h. Quellen mit grosser Ergiebigkeit besitzen im allgemeinen auch höhere Temperaturen. Diese Gesetzmässigkeit bei den Thermalquellen von Hisaralan ist auf folgendes zurückzuführen: Nachdem das Wasser auf seinem Weg an die Oberfläche das anstehende Gestein verlassen hat, muss es mehrere Meter mächtige Lockergesteine durchqueren um an die Oberfläche zu gelangen. Sobald es in den Alluvionen nicht auf kürzestem Weg aufsteigt, nimmt die Mächtigkeit der Verzweigung zu. Es kommt zur Bildung kleiner Wasseradern, die durch das Lockergestein rasch abgekühlt werden und als relativ «kalte» kleine Quellen an die Oberfläche treten. Durchstösst das Thermalwasser auf möglichst kurzem Weg die quartären Ablagerungen, ist die Abkühlung und die Möglichkeit der Verzweigung jedoch klein.

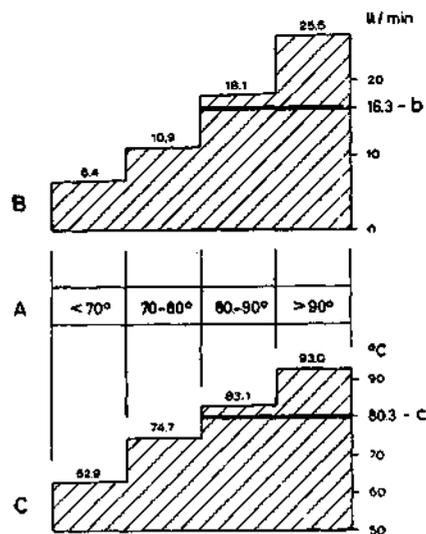


Fig. 6 - Beziehung zwischen Ergiebigkeit und Temperatur der Thermalquellen
(nach Temperaturgruppen geordnet).
A - Temperaturgruppen; B - Ergiebigkeit in lt/min; C - Temperaturen in °C; b - durchschnittliche Ergiebigkeit; c - durchschnittliche Temperatur aller Thermalquellen.

Der Verlauf von Störungslinien und Klüften, denen die Quellen entsteigen, sollten demnach durch heisse Thermalquellen angezeigt werden. In der Tat weist die im Hamamgebiet konstruierte 90° - Quellen - Isotherme eine Ausstreckung in NE-SW Richtung auf. Sie stimmt damit mit einem Maximum der Kluft- und Travertinrose (Fig. 5) überein.

CHEMISMUS

Von nachfolgenden Thermalquellen des Hamamgebietes wurde das Quellwasser analysiert: H1, H7, H36, H91, H110, H159. Es handelt sich dabei um durchwegs Quellen von grosser Ergiebigkeit und hoher Temperatur. Die Analysen wurden im chemischen Laboratorium der M.T.A. ausgeführt.

	<i>H1</i>	<i>H7</i>	<i>H36</i>	<i>H91</i>	<i>H110</i>	<i>H159</i>
HCO ₃	579.5	573.4	582.5	567.3	579.5	591.7
SO ₄	108.6	107.3	110.1	104.6	107.9	107.8
Cl	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5
HPO ₄	1.2	1.0	0.9	0.9	0.85	0.8
Ca	45.7	46.3	42.6	45.4	43.5	44.6
Mg	12.9	12.4	12.7	11.9	12.3	11.7
Na	226.5	225.6	233.6	225.6	231.1	235.2
K	24.6	23.5	23.9	22.4	23.7	24.1
Fe	0.5	0.45	0.4	0.55	0.6	0.35
Al	2.6	2.7	2.3	2.4	2.9	2.3
H ₂ SiO ₃	88.4	89.2	90.1	88.6	88.8	86.2
NH ₄	Spur	Spur	Spur	Spur	Spur	Spur
NO ₃	—	—	—	—	—	—
pH _{20°C}	7.9	8.0	8.1	8.0	7.6	7.7

Da die freie Kohlensäure mit einiger Genauigkeit nur im Feld bestimmt werden kann, ist sie hier nicht berücksichtigt. Aus dem gleichen Grund fehlen ebenfalls Angaben über den Schwefelwasserstoff-Gehalt.

Nach den obigen Angaben handelt es sich um alkalische Quellen. Die Untersuchung des pH-Wertes sämtlicher Thermalquellen mit pH-Papier ergab Werte zwischen 7-8. Somit ist der Gehalt an freier Kohlensäure ziemlich gering, Säuerlinge treten jedenfalls nicht auf. Dagegen ist häufig ein starker Geruch nach Schwefelwasserstoff festzustellen. Die richtige Bezeichnung dürfte demnach für eine Grosszahl der Thermalquellen schwefelhaltige, alkalische Quellen lauten.

Laut den übereinstimmenden chemischen Resultaten kann auf einen einheitlich aufgebauten Gesteinsuntergrund geschlossen werden, der eine gleichförmige Mineralisierung des Wassers gewährleistet.

HERKUNFT DER THERMALQUELLEN

Wie die chemischen Analysen zeigen, dürfte für das Thermalwasser ein einheitlicher Ursprungsort vorliegen.

Im Hamamgebiet lassen sich mindestens drei Zentren mit Hochtemperatur-Quellen (> 90°C) unterscheiden. Somit müssen wenigstens ebenso viele unabhängige

Zuleitungssysteme vorliegen. Zählt man die isolierten Quellen und das Quellfeld des Gündüz Tepe hinzu, kommt man auf deren sechs. Wie die Einmessungen der Klüfte und Travertinbildungen gezeigt haben, werden die Zuleitungen durch Kluftscharen verkörpert. Im Bachlauf des Serin kann zudem beobachtet werden, wie Thermalquellen einem Kluftsystem entspringen.

Die Verbindung zum nicht völlig erkalteten Magmaherd muss durch die beiden alten, SE-NW gerichteten, parallelen Verwerfungszonen gebildet werden. Ein Beweis dafür kann in den glasigen Intrusionen innerhalb derselben gesehen werden. Zudem führen diese Bruchzonen in der Schlucht des Serin-Baches selbst Thermalwasser zu Tage. Auch die zahlreichen, bis mehrere Meter mächtigen Glasgänge, die nördlich des Hamangebietes in grosser Zahl auftreten, weisen auf eine Verbindung mit dem magmatischen Untergrund hin. Ob diese in der Form eines Kamins oder allein durch die tiefgreifenden Brüche besteht, kann nicht bestimmt werden.

Das Wasser der Thermalquellen dürfte fast ausschliesslich vados sein und aus dem Tal des Simav oder dem Sap- und Değirmen-Bach stammen, den einzigen grossen Wasserquellen im Umkreis von ca. 20 km. Durch Klüfte, Brüche und Ruschelzonen kommt es in den Bereich der magmatischen Wärmezone. Der noch nicht völlig erkaltete Magmaherd gibt Gase ab, die zusammen mit verdampftem Grundwasser in den beiden Hauptverwerfungen emporströmen. Da diese offenbar gegen die Oberfläche zu keine grössere Durchlässigkeit mehr besitzen, weichen sie in die SE-NW und NE-SW streichenden Kluftscharen aus, kondensieren sich, suchen einen Weg durch das Lockergestein und kommen als Thermalquellen an über 200 Stellen zum Vorschein.

Die 250-350 m.ü.M. liegenden Quellen weisen—wie schon erwähnt—Temperaturen bis 98°C auf, die Kondensation dürfte daher teilweise erst im Lockergestein erfolgen. Bei Anbohrung der Klüfte und Hauptverwerfungen ist jedenfalls schon in Tiefen > 100 m mit überhitztem Wasserdampf zu rechnen. Da in diesem Gebiet die Regel der geothermischen Tiefenstufe keine Anwendung findet, kann die Temperaturzunahme nur empirisch mittels Sondierbohrungen ermittelt werden.

Manuscript received April 12, 1966

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- BISTRITSCHAN, K. (1957) : Bericht über die Thermal- und Mineralquellen im Vilayet Balıkesir. *M.T.A. Rep.* (unpublished) Nr. 2622, Ankara.
- CANİK, B. (1961) : 1:100 000 ölçekli, Akhisar 70/1 paftasının doğu kısmı ile Akhisar 70/2 paftası. *M.T.A. Rep.* (unpublished) Nr. 3465, Ankara.
- ÇAĞLAR, K. (1947) : Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları. *M.T.A. Publ. Serie B*, Nr. 11, Fasikül 1, Ankara.
- HÄFELI, Ch. (1966) : Geologische Aufnahme der Kartenblätter J20-b1 und J 20-b4 unter besonderer Berücksichtigung der Thermalquellen von Hisarköy und Hisaralan (Vilayet Balıkesir). *M.T.A. Rep.* (unpublished), Ankara.
- GEOLOGICAL MAP OF TURKEY (İZMİR 1 : 500,000), Ankara.