

DER EINBRUCH DER OVA SANDIKLI : JUNGE TEKTONIK UND VULKANISCHE ERSCHENUNGEN

Felix RONNER

Institut für Mineralogie und technische Geologie an der Technischen Hochschule Graz

ZUSAMMENFASSUNG. — Der Einbruch des Neogenbeckens der Ova von Sandıklı (Zentralanatolien) ist durch 2 Bruch—Verwerfersysteme geschaffen worden : NNE-SSW und E-W. Dabei wurde die Umrahmung—bestehend aus Jungpaläozoikum und älterem Mesozoikum—so weit gehoben, dass sie bis über 1200 m über das heutige Ovaniveau (um 1000 bis 1100 Meter ü. d. M.) emporragt.

Die Ova selbst besteht aus 2 Stufen : Die tiefere aus Pliozän - Quartär, die höhere aus Miozän. Um Hüdaihamarm wurden im (jungen) Quartär Kalktuffterrassen abgelagert.

3 Phasen der Hebung sind erkennbar : prae- bis intramiozän (zeitgleich der steirischen Orogenphase), Grenze Miozän-Pliozän (zeitgleich der attischen Orogenphase) und (jung-) quartär. Da wurde eine Einbruchzone von ca. 25 m Sprunghöhe bei Hüdaihamamı geschaffen.

Nach der Erstanlage der Ova (prae- bis intramiozän) drangen an einer lang durchziehenden Bruchspalte am Ost - Saum der Ova trachytisch-andesitische Laven auf, die sich streifenförmig in den miozänen Ova - See ergossen. Begleitet war diese Effusion von vorausgehenden und nachfolgenden Tuff-Förderungen. Im Pliozän drangen entlang der neuen Spalten kieselsäurereiche Restlösungen auf, die in 2 NNE-SSW-Streifen den jungpaläozoischen «Verrucano» silifizierten.

Intraquartär bis rezent sind die Thermalquellen von Hüdaihamamı, die nach ihrem chemischen Analysenbestand, ihrer Austrittstemperatur und ihrer Radioaktivität immerhin noch einem zumindest mittelthermalen, postvulkanischen Stadium anzugehören scheinen.

1. EINLEITUNG

Im Sommer 1956 hatte Verfasser Gelegenheit, im Zuge einer Untersuchung der Quellen von Hüdaihamarm im Auftrage des M.T.A. - Institutes - Ankara, den Einbruchmechanismus der Ova von Sandıklı zu studieren und die damit verknüpfte Genese der Thermalquellen zu klären. Dabei wurden rund 200 km² geologisch-tektonisch kartiert und mittels modernster Geiger-Müller-Zähler und Scintillometer radiometrisch getestet.

Dank gilt der Leitung des M.T.A.-Institutes für die Ermöglichung dieser Veröffentlichung und den örtlichen Stellen, die der Geländearbeit grosses Verständnis entgegengebracht haben.

2. LAGE UND FORM DER OVA

Im Hochland von Zentralanatolien, im Vilâyet Afyonkarahisar liegt die Ova von Sandıklı (siehe Lageplan Fig. 1). Diese Ova hat knieförmige Gestalt und besteht aus zwei Streifen Ebene in rund 1000 m Seehöhe. Den Rahmen bilden Bergzüge, die sich bis über 2200 m (ü. d. M.) erheben.

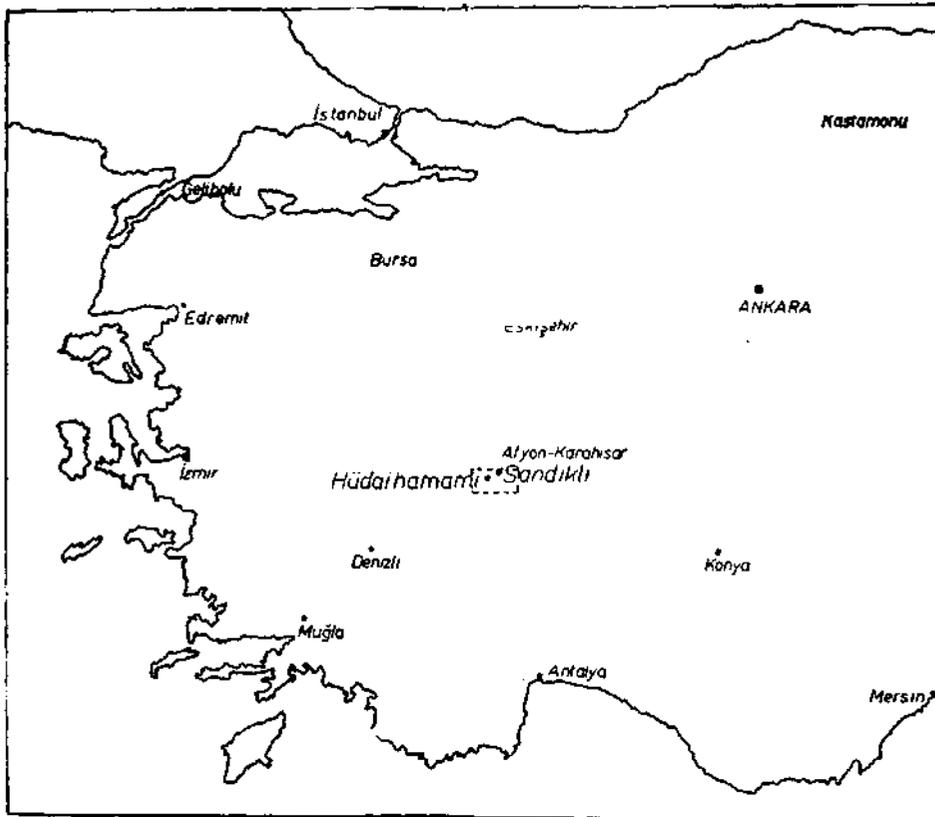


Fig. 1 - Lageskizze von Sandıklı

Der Nordstreifen der Ebene streicht Ost-West und zeigt nach Westen, der andere Ova-Schenkel streicht NNE-SSW und ist gegen Süden gerichtet. Fig. 2 gibt die Ova-Form schematischanschaulich wieder. Im Scheitel des Knie-Winkels sind Sandıklı (aussen) und Hüdaihamamı (innen) gelegen. Hüdaihamamı ist ein ausschliesslicher Badeort (siehe Photo 5), in dem radioaktive Thermalquellen entspringen.

3. GEOLOGIE DER OVA UND IHRER UMRAHMUNG

Eine Ova ist ein Einbruchsbecken neogenen Alters in Anatolien, das von jungen Sedimenten erfüllt ist und als Ebene die tiefsten Anteile der Landschaft stellt. Nur selten erfolgt noch eine spätere Schrägstellung¹ oder weitere Bruchbildungen mit vertikalen Sprüngen nach dem Einbruch der Ova—bzw. richtiger dem Herausheben der Umrahmung. Bei der Ova von Sandıklı jedoch finden—wie im Laufe dieser Arbeit gezeigt werden kann—Schrägstellungen, Verwerfungen und sogar leichte Flexuren auch noch nach der Anlage der Ova statt, wie auch die Ovabildung selbst nicht in einem Akt, sondern in zwei Phasen geschaffen wurde: Prä- bis intramiozän und an der Wende Miozän-Pliozän.

Wie aus dem ungefähren West-Profil durch den N-S-Schenkel der Ova deutlich hervorgeht (Fig. 3), ist die Ova in zwei Stufen gegliedert, die annähernd horizontal liegen und eine Sprunghöhe von rund 80 m aufweisen (die höhere Stufe liegt um 1 100 m Seehöhe, die tiefere um 1 020 m u.d.M.). Dabei fällt auf, dass die Hochschollen miozän bedeckt sind, die Tiefschollen von Pliozän und Quartär erfüllt sind (stratigraphischen Zuordnungen durch Fossilfunde von W. Penck, 1918; E. Parejas; 1942).² Pliozän und Quartär bestehen aus klastischen Lockersedimenten und Alluviallehmen. Das Mozan ist im Westen in Süßwasser-Kalkfazies von heller bis weisser Farbe entwickelt, während im Osten (des Kartenblattes, siehe Fig. 5) eine Reihe von Tufflagen zwischengeschaltet sind. Diese

Tuffe entstammen dem grossen Trachyt-Andesit-Vulkan-Areal, das—im vorliegenden Kartenausschnitt nur schmal entwickelt—eine Riesensfläche von ca. 1 500 Quadratkilometern einnimmt und im Norden bis über den berühmten Burgfelsen der Seldschukenstadt Afyonkarahisar hinausreicht.

Die Vulkanite, altersmässig der älteren (miozänen) Ovafüllung gleichzustellen, bilden morphologisch bereits den Ost-Saum der Ovaumrahmung. Im Kartenbereich schliessen sich weiter im Osten die stärker emporgehobenen Höhenzüge des Kükürt Dağ an, die aus dunklen, marinen Kalken des tieferen Mesozoikum—Trias bis Jura—bestehen. Diese Höhenzüge werden—laut geologischer Karte der Türkei 1 : 800 000, 1946—zum NE-Ast des Taurus gestellt. Diese Trias-Jura-Kalke tauchen noch einmal in einer schmalen hochgehobenen Mittelschwelle der Ova weiter im Westen am Kara Tepe (Schwarzer Hügel) auf. In der Nordfortsetzung dieser Kalke—getrennt durch eine flache Einmündung mit tuffführendem Miozän (auf Photo 1 deutlich kenntlich) treten in dieser Mittelschwelle bereits erstmalig die im Westen dominierenden jungpaläozoischen Sedimente auf (siehe geologisch-tektonische Karte, Fig. 5). Ein Streifen dieser klastischen Sedimente ist verkieselt.

Im Westen, von der Ova-Kniekehle umrahmt, dominieren die jungpaläozoischen Sedimentgesteine. Es handelt sich um Kalke im Liegenden und um «Verrucano» (nach Parejas, 1942) im Hängenden. Dieser «Verrucano» besteht aus festverklitteten (Quarz-) Konglomeraten massiger bis kleiner Korngrösse und darüberliegenden Schiefen von grüner und beige Farbe. Harnmische sind in diesem Schieferpaket häufig anzutreffen. Das Alter dieser paläozoischen Serie ist Karbon und Perm. Mit den mesozoischen dunklen Kalken bildet diese Serie ab den Kon-

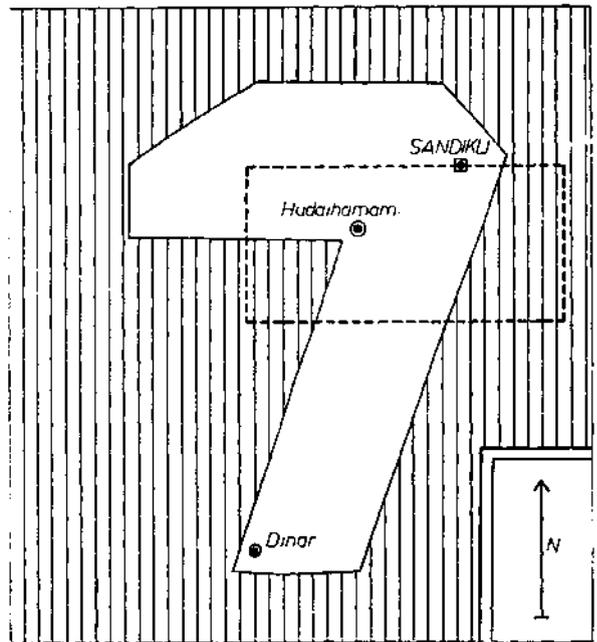


Fig. 2 - Die «Knieform» der ova von Sandıklı (Afyonkarahisar, Türkei) Schemat. Skizze

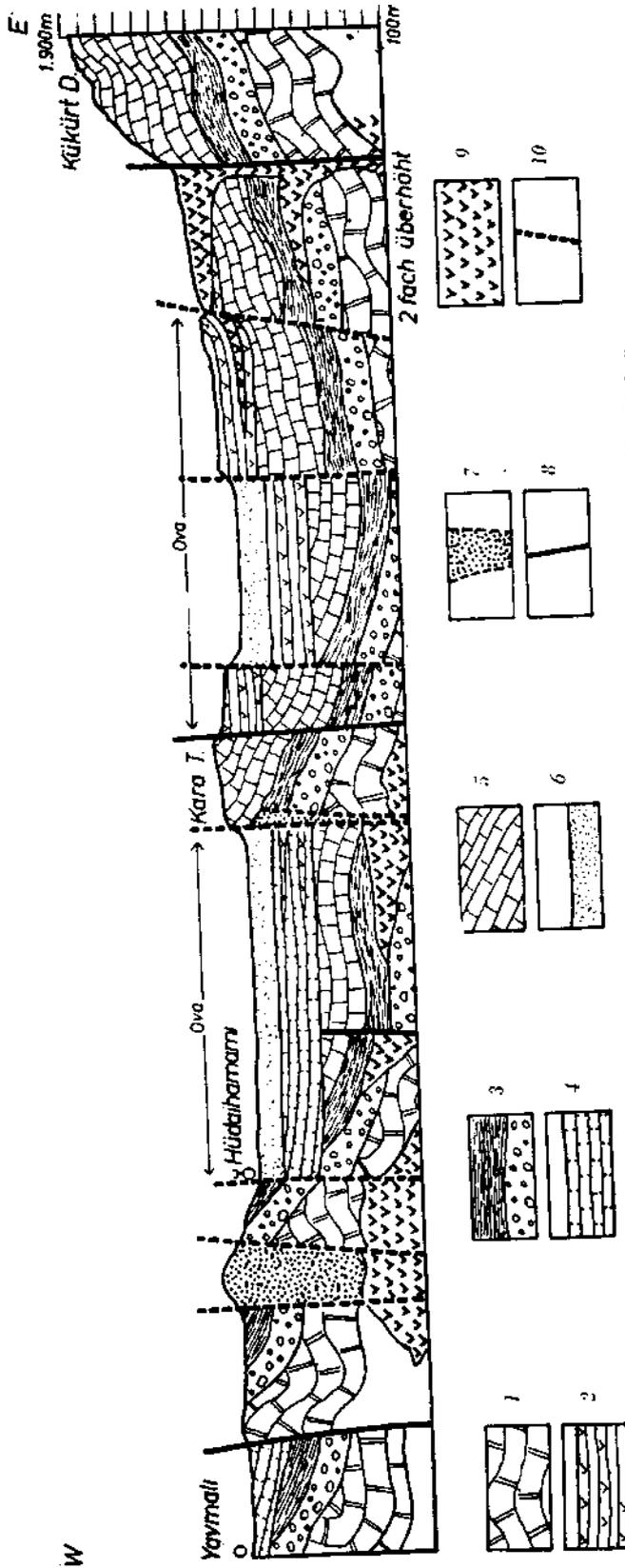


Fig. 3 - Ein Ost - West - Profil durch den Südschenkel der Ova von Sandıklı (Türkei)

1 - Jungpaläoz. Kalk; 2 - Tuffreiches Mioz.; 3 - «Verrucano» Mioz.; 4 - Miozän - Kalk; 5 - Tuffresoz. Kalk; 6 - Pliozän - Quarz; 7 - Verkieselter «Verrucano» (Perm); 8 - Prä- bis intramiozäne Brüche; 9 - Trachvandesit; 10 - Brüche an Grenze Miozän - Pliozän.

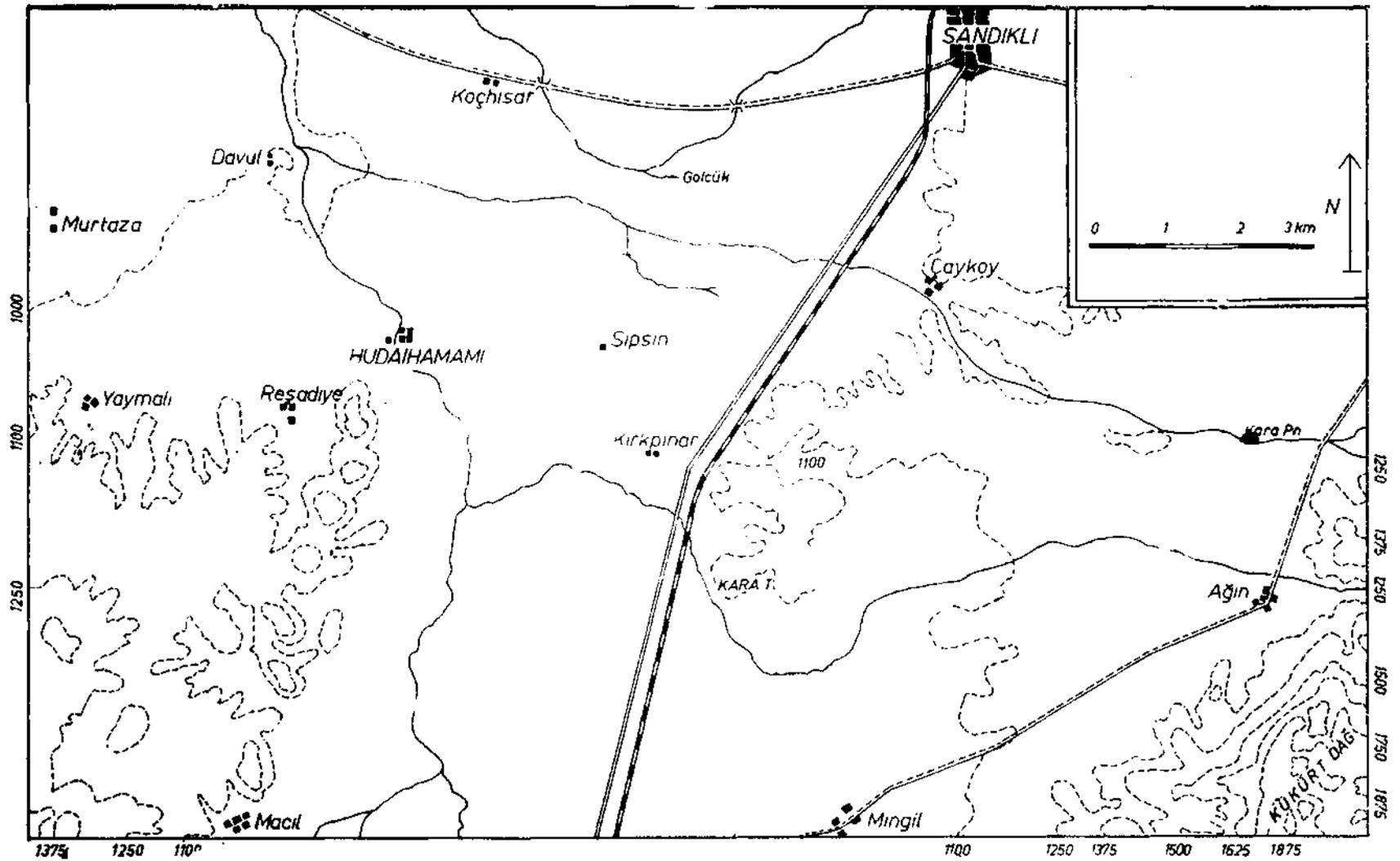


Fig. 4 - Topographische Karte von Sandıklı - Hüdaihamamı (Afyonkarahisar - Zentralanatolien)

glomeraten eine durchgehende Sedimentationsfolge (der alpidischen Geosynklinale), endend mit Jurakalken, die scharf getrennt von einer tieferen Serie—mit den Karbonkalken als höchstem Glied—eines variscischen Zyklus erscheint. Auch hier an der Westumrahmung der Ova ist wieder ein Verkieselungstreifen in ungefährer N-S-Richtung, der die jungpaläozoischen -Konglomerate und Schiefer erfasst hat.

Zu erwähnen ist noch ein Gebiet von weniger als 1 km im Quadrat rund um Hüdaihamamı, das aus subrecenten Kalksinter-Terrassen gebildet ist. Für das Holozän-Alter der Kalktuffe sprechen neben der Auflagerung auf dem Pliozän und den Quartärsedimenten der tiefergelegenen Ova-Stufe auch noch die nur ganz geringe, zu einem guten Teil überhaupt fehlende Alluviallehmbedeckung. Besonders jedoch spricht für das subrecente Alter die gute Erhaltung dieses weichen, bröckeligen, leicht verwitterbaren Sediments. Wie Photo 7 zeigt, ist die zarte Oberflächenstruktur der Quellsinterbildungen meist noch deutlich an früheren, versiegten Quellaustrittstellen erkennbar, ein Zeichen für die geringe Abwitterung des für Zerstückung äusserst anfälligen Materials.

Die Sinter werden in der Talsohle des Hüdaihamam-Baches auch heute noch gebildet.

4. DIE JUNGE TEKTONIK

Hier werden nur die jungtertiären und quartären Akte der Tektonik behandelt, da nur diese für die Ova-Bildung (und die Genese der Thermalquellen von Hüdaihamamı) massgeblich sind.

Ein Vergleich der topographischen Karte (Fig. 4) mit der geologisch-tektonischen (Fig. 5) zeigt mit voller Deutlichkeit, wie die heutige Morphologie völlig von der jungen Bruchtektonik bedingt ist—und umgekehrt, wie die heutige Oberflächengestalt die Tektonik scharf abbildet. (Der Übersichtlichkeit halber—und weil bei schwarz-weißer Strichzeichnung die Morphologie durch die geologischen Signaturen unterdrückt würde—wurden die topographische und die geologische Karte getrennt.) Photo 2 ergänzt eindrucksvoll den Kartenvergleich: Ein Blick auf die steil abfallenden Felsen an den senkrechten Abbrüchen der Umrahmung zur ebenen Ova. Nur äolische Anschüttungen böschen den Steilhang etwas ab.

Diese (fast) senkrechten Verwerfungen sind die dominierende Verformungs- (Dislokations-) Art, wenn auch nicht die einzige—wie schon im vorigen Kapitel angedeutet wurde. Die anderen sind Schrägstellung, Aufschleppung und leichte Flexuren.

Das W-E-Profil durch die Ova von Sandıklı (Fig. 3) zeigt eine ganze Reihe von steilen, tiefgreifenden Verwerfern. Diese sind keine konstruierten oder vermuteten Brüche, sondern sind- beobachtet (bis auf diejenigen, die nicht bis zur Oberfläche gezogen wurden und die beiden, die die westliche Verkieselungszone begrenzen). Bislang sind diese Bruchzonen auf den geologischen Karten des Gebietes (Parejas, 1942) nicht verzeichnet, oder ihre Existenz wurde überhaupt bezweifelt (M. Blumental bei einer mündlichen Aussprache). Dagegen schreibt schon A. Philippson, 1918 in einer zusammenfassenden Übersicht über das weitere

Gebiet von einer «ausgedehnten Bedeckung durch Sedimente und vulkanische Gesteine des Neogens und deren nachträgliche Zerstückelung durch Verwurf..»; und an anderer Stelle (p. 78) «Verwerfungen durchsetzen das Neogen häufig und bilden oft die Grenze desselben gegen die alten Gesteine.»

Da diesen Verwerfern eine solch überragende Bedeutung für die Geologie und auch für die Morphologie dieses Raumes zukommt, wurden sie bei der Kartierung bevorzugt und des besseren Verständnisses halber auf der geologisch-tektonischen Karte (Fig. 5) geradliniger gezogen, als es die Morphologie eigentlich zulässt. Doch zeigt ein Vergleich mit Fig. 6 (dem Teil des Gebietes, der noch relativ am stärksten abweicht), wo die Gesteinsgrenzen mit möglicher Genauigkeit eingetragen wurden, dass die Generalisierung bei der geologisch-tektonischen Karte keinesfalls so weitgehend ist, dass sie ein unrichtiges Bild wiedergeben würde. Dass die Brüche tatsächlich vorhanden sind, zeigt bereits ein Blick auf die geologische Karte, wenn man die Morphologie (topographische Karte Fig. 4 und Profil Fig. 3) berücksichtigt. Aber auch im Gelände selbst sind die Brüche unmittelbar zu sehen. Auf Photo 2 wurde schon hingewiesen, es ist dieses Bild ein Ausschnitt von Photo 1, das die Ostbegrenzung der Ova zeigt. Von Çay Köy im Norden bis zum Kara Tepe im Süden zieht sich die «Mittelschwelle», die ca. 80 m über das Pliozän-Quartär-Ovaniveau herausragt. Hier ist besonders gut die plötzliche Steilstufe erkennbar, die sich in einem scharfen Sprung über die Tieffläche erhebt. Hinter dieser Mittelschwelle zieht sich (in annähernd gleicher Höhe)³ das «Miozän-Niveau» der Ova bis zur nächsten Stufe, die durch Störungen am Fuss des Kükürt Dağ begrenzt ist. Bis ca. 2 200 m ragt dieser Höhenzug auf, damit bis ca. 1 200 m höher als die Tiefanteile der Ova.

Photo 3 zeigt einen Blick von der Mittelschwelle nach Osten, wieder auf den Kükürt Dağ. An den Standpunkt Kara Tepe (tiefmesozoischer dunkler Kalk) schliesst sich die Ova mit tufführecrem Miozän an. In diesem befindet sich noch eine Eintiefung—verursacht durch Verwerfer—mit Pliozän-Quartär (vergl. das E-W Profil Fig. 3). Deutlich darüber gehoben erscheint der Trachyandesit und nach einer weiteren, fast senkrechten Verwerfung das Massiv des Kükürt Dağ.

Das Profil zeigt deutlich, dass all diese subparallelen Brüche nicht gleichaltrig sind. Ein reger Wechsel von älteren (prä- bis intramiozänen) und jüngeren (Grenze Miozän-Pliozän) haben die Höhenstufen geschaffen.

Zwischen den Ortschaften Mingil und Ağın, dort wo sich die Profillinie, Strasse und Verwerfer (Gesteinsgrenze) kreuzen, ist das tufführecre Miozän aufgeschleppt, so dass es in einer Flexur von fast horizontal bis fast saiger gekrümmt ist.

Der Blick gegen Westen vom Tiefanteil der Ova aus (Photo 4)—als Pendant zu vorigem— zeigt ein verblüffend ähnliches Bild : Von Hüdaihamamı (im Norden) bis Macil Köy (im Süden) wieder eine «Mittelschwelle» aus Jungpaläozoikum, wieder eiti Verkieselungsstreifen in diesem. Ebenfalls ein durch Brüche bedingter Vorstoss von Miozän (jedoch hier in Kalkfazies) bis zum Tiefanteil der Ova. (Die Parallele ist auf der geologisch,-tektonischen Karte besonders deutlich

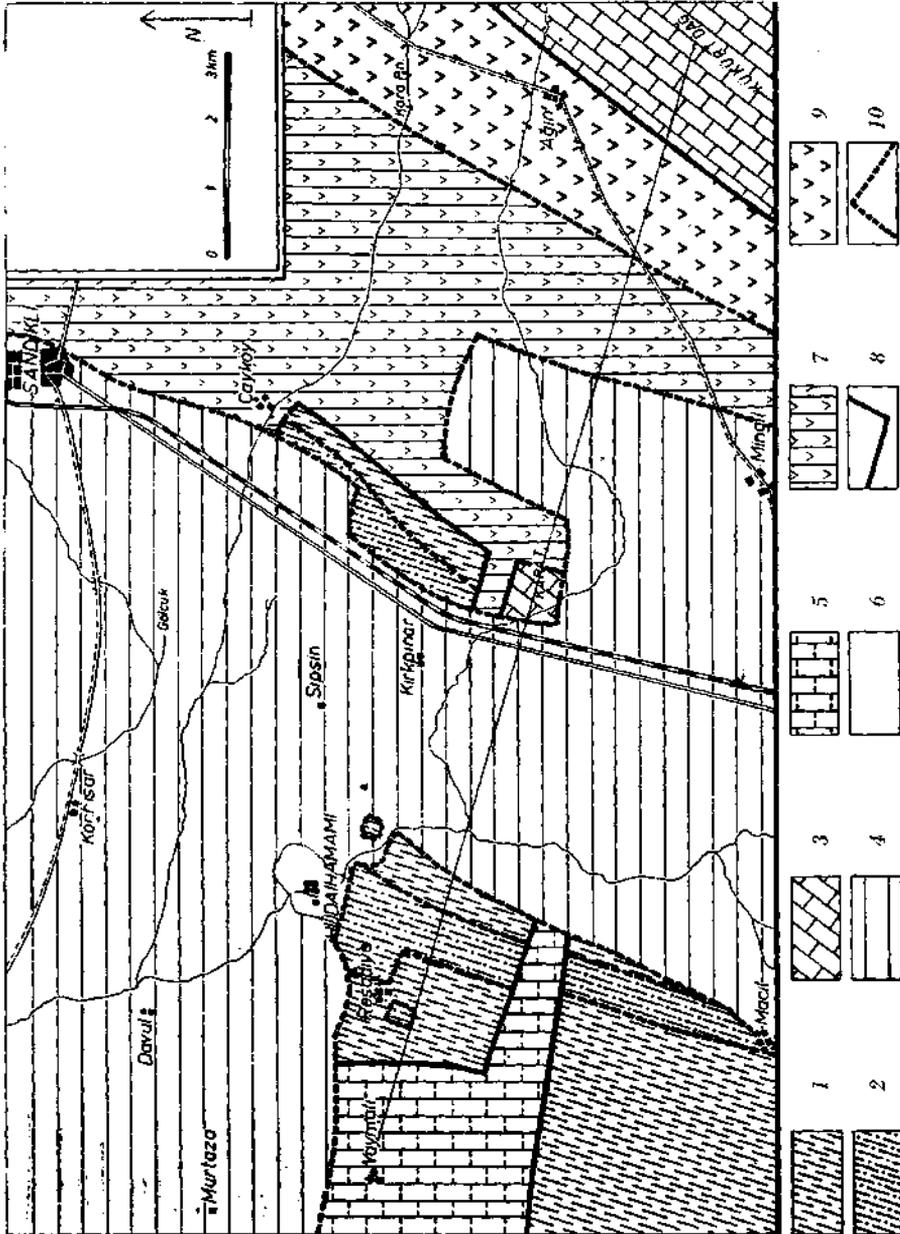


Fig. 5 - Geologisch - tektonische Karte von Sandıklı - Hüdaİhamamı (Afyonkarahisar - Zentralanatolien)

- 1 - Jungpaläozoikum (Carbon-Perm);
- 2 - Verlieseter «Verrucan» (Perm);
- 3 - Kalke des tieferen Mesozoikum;
- 4 - Lockersedimente (Pliozän-Quartär);
- 5 - Weiße Kalke des Miozän;
- 6 - Kalksinter des Miozän;
- 7 - Miozän m. reichlich Tuffeinlagen;
- 8 - Prä- bis intramiozäne Brüche;
- 9 - Trachyandesite u. verw. Effusiva;
- 10 - Brüche an Grenze Miozän-Pliozän.

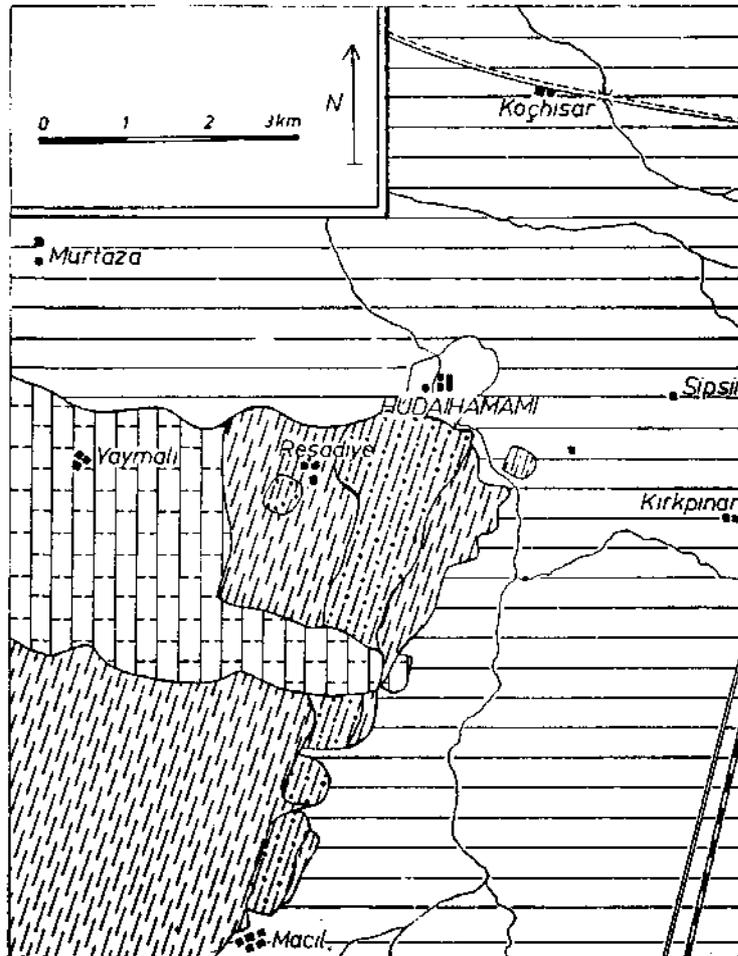


Fig. 6 - Geologische Karte der Umgebung von Hüdaihamamı (Sandıklı Afyonkarahisar) (Legende wie bei Fig. 5)

erkennbar.) Und dahinter anschliessend wieder der miozäne Hochanteil der Ova (im Norden ausgeprägt) bis zur Hochstaffel, die auch hier hohe Bergzüge bildet. (Bereits ausserhalb der Karte, jedoch auf dem Photo gut zu sehen.) Bei Hüdaihamamı treffen sich die beiden Hauptstörungszüge (E-W und NNE-SSW) und bilden die Kniekehle des Ova-Winkels.

In diesem Westanteil jedoch fand noch eine spätere Schrägstellung statt. Das Profil (Fig. 3) zeigt deutlich, dass diese gleichzeitig mit der Bruchphase an der Grenze Miozän-Pliozän stattgefunden hat, denn das Miozän selbst ist noch leicht gegen Ost gekippt (die geologischen Karten geben mit der Signatur das Streichen wieder), während die jüngste Ovafüllung horizontal liegt.

Noch jünger sind Bewegungen am Kreuzungspunkt der zwei Hauptstörungen selbst, in den Sinterterrassen von Hüdaihamamı. Dort fanden Hebungen noch in subrecenter Zeit statt. Die heutigen Quellaustritte liegen in einem Einbruchstreifen entlang des Hüdaihamarribaches (Photo 5). Die versiegten Austritte aber befinden sich in den Kalktuffterrassen, die bis ca. 25 m Höhe über das heutige Bachniveäu hinausragen. Dieses Bachtal nun ist kein Erosionstal, da es

beiderseits durch scharfe Brüche begrenzt ist und sich im Gegenteil sogar durch rezente Sinterausfällungen höherverlegt. Dieser Sprung von ca. 25 Metern ging jedoch nicht in einem Akt oder konstant langsam und allmählich vor sich, sondern ruckweise in mehreren Phasen. Photo 6 erhärtet dies, indem es die Anordnung der (früheren) Quellaustritte in horizontalen Reihen und die damit verknüpfte Terrassenbildung zeigt.

Bei diesen Hebungen entlang von Verwerfern wurden die älteren, vorgezeichneten Bruchrichtungen strikte eingehalten. Photo 8 zeigt den steilen Abbruch zur Sohle des heutigen Quellniveaus und die Richtungen der Klüfte. Die Richtung zum Beschauer (Pfeil nach unten) ist NNE-SSW, die Richtung vor dem Felsen rechts oben (Pfeil nach rechts) E-W.

Dass es bei diesen jüngsten Hebungen sogar zu einer leichten Wölbung kam, ist aus Photo 5 ersichtlich: Die Kalktuffbänke in der Mitte des Bildes sind schwach aufgewölbt, die Flanken fallen nach beiden Seiten ab (siehe Richtungspfeile); eine Beobachtung, die auch schon G. Müller, Wien 1955 machte. Die tektonischen Bewegungen sind auch heute noch keineswegs zur Ruhe gekommen. In kurzen Zeiträumen (oft nur von wenigen Jahren) versiegen die rezenten Quellen und treten neue an anderen Stellen wieder aus. Während der Geländezeit selbst konnte Verfasser eine solch neuauftretende Quelle besichtigen, deren Temperatur noch wesentlich geringer und deren Schüttung noch kleiner war als die der schon längere Zeit fließenden. Diese Fakten sind auf die noch schlechten, noch nicht genügend ausgeräumten Zufuhrwege aus der Tiefe zurückzuführen.

Drei tektonische Phasen des jungtertiären-quartären Abschnittes der alpidischen Gebirgsbildung sind nach Obigem also deutlich unterscheidbar :

— *pra-bis intramiozan.* — Erster Einbruch der Ova, bzw. Hochhebung der Umrahmung, wodurch die Ova im grossen und ganzen bereits ihre heutige Form erhielt. Dies entspricht altersmässig höchstwahrscheinlich der steirischen Phase nach H. Stille.

— *Grenze Miozän-Pliozän.* — Einbruch der Ova-Tiefschölle, wodurch die Staffelung (mit ca. 80 m Sprunghöhe) geschaffen wurde.

Lokale Aufschleppung des tuffreichen (östlichen) Miozän an den Bruchrändern.

Schrägstellung der Westbegrenzung der Ova nach Osten — einschliesslich des westlichen Miozän (Kalkfazies) — mit Neigung zur Ova-Mitte. Entspricht altersmässig der attischen Phase.

— *Intraquartär (vorwiegend subrezent).* — Ruckweise Emporhebung der Kalktuffmassen um die Thermalquellen von Hüdaihamamı und Tieferlegung der Quellaustritte bis zum rezenten Niveau.

Leichte Aufdomung mit herabgebogenen Flanken der westgelegenen Sinterbänke. Entspricht altersmässig einer jüngst-quartären Phase (Fortsetzung der wallachischen Phase?).⁴

5. DIE VULKANISCHEN UND NACHVULKANISCHEN ERSCHEINUNGEN

Mit dem tektonischen Geschehen eng verknüpft sind vulkanische und postvulkanische Erscheinungen. Am Ostsaum der Ova ist noch (wie weiter oben erwähnt) der grossartige Trachyt-Andesit-Vulkanismus von Afyonkarahisar beteiligt. Nach dem ersten Aufreissen der Spalten im, oder am Beginn des Miozän, waren die Wege für diesen finalen Vulkanismus in diesem Raum gegeben. Er setzte mit einer Tuff-Förderung ein, die jedoch räumlich nicht sehr weitreichend war, da das Miozän der Weststufe bereits frei von Tuffen ist. Nur zwischen der Mittelschwelle und der Ova Ostbegrenzung sind Tuffe aufgeschlossen. Höchstwahrscheinlich reichten diese Tuffe auch noch über die Mittelschwelle nach Westen hinaus, jedoch ist ihr tatsächliches Auskeilen heute von den Sedimenten des Pliozäns und des Quartärs überdeckt und daher einer unmittelbaren Beobachtung nicht zugänglich. Das Profil (Fig. 3) zeigt das mutmassliche Bild: Nach mehrmaliger Wechsellagerung von Tuffen und Süsswassermiozän (im Profil schematisch vereinfacht) ergoss sich aus einer lang durchziehenden Bruchspalte entlang des Fusses des Kükürt Dağ die trachytisch-andesitische Lava in den Süsswassersee der frühen Ova. Es scheint dies hier eine gewaltige einmalige Effusiori gewesen zu sein—oder doch auf eine kurze Zeit beschränkt, da keine sedimentären oder Tuff-Zwischenlagen zwischen verschiedenen Lavaströmen sichtbar sind. Nach diesem Lavaausbruch kam es später nur noch zu Tuff-Eruptionen, die das vulkanische Gestein in Wechsellagerung mit den See-sedimenten zudeckten. Das geht daraus hervor, dass zwar heute in der Nähe des Trachyt-Andesit-Streifens noch Tuffe aufgeschlossen sind (in der Ova), jedoch an keiner Stelle in der Ova das Effusivgestein. Auch bei der Aufschleppung der jungen (Miozän-Pliozän) Störung am heutigen Ostrand der Ova (siehe Profil Fig. 3) sind ausser den Sedimenten nur Tufflagen zu sehen. Dass über der heutigen Vulkanit-Staffel kein Tuff mehr liegt, ist durch die Erosion an dieser hochgelegenen Scholle zwanglos erklärt.

Die Verwerfer der zweiten jüngeren Phase zerschnitten bereits die vulkanischen Massen und hoben die heutige Vulkanit-Staffel über das Miozän-Ova-Niveau empor. (Auch scheint die Förder-Bruchspalte am Fuss des Kükürt Dağ neu belebt worden zu sein). Zu einer Effusivtätigkeit kam es nicht mehr, wohl aber setzten nun im Pliozän die postvulkanischen Erscheinungen ein. Entlang von NNW-SSE-Brüchen drangen aus der Tiefe kieselsäurereiche Restlösungen (von erhöhter Temperatur) auf und durchtränkten und silifizierten in langen Streifen die dafür anfälligen und ihrem Chemismus nach entgegenkommenden Gesteine des jungpaläozoischen «Verrucano»,—Konglomerate bis Schiefer.⁵ Zwei solche Verkieselungsstreifen zeigt die tektonisch-geologische Karte: Entlang des West-Abbruches der Mittelschwelle und entlang des Ost-Abbruches des Westsaumes (eigentlich der westlichen Mittelschwelle, siehe Beschreibung von Photo 4). Beidemale wurden die gleichen Gesteine erfasst, die von Natur aus schon kieselsäurereich waren, und die Kalke verschont: In der Mittelscholle ist dies der tiefmesozoische Kalk und am Westsaum der Miozänkalk und der paläozoische Kalk.

Aus der Tatsache, dass die Verkieselung durch hydrothermale Lösungen so weit vom Oberflächenvulkanismus nach Westen greift (ca. 12 km zwischen Förderbruchspalte am Kükürt Dağ und der westlichen Verkieselungszone), muss geschlossen werden, dass die subterrestrische Erstreckung des trachytisch-andesitischen Magmas weit ausgedehnter ist. Es wurde versucht, dies auf dem Profil (Fig. 3) anzudeuten, indem unter dem Oberflächenerguss (im Osten) eine hypabyssische Syenitapophyse hypothetisch-schematisch gezeichnet wurde und weiter im Westen unter den Verkieselungszonen (und unter Hüdaihamamı) ebenfalls ein hypabyssisches bis plutonisches Gestein auftaucht. Es ist klar, dass die dabei (im Profil) aufscheinende Oberflächennähe keineswegs auch nur annähernd zu vertreten ist—es gibt keinen Hinweis auf die vermutliche Tiefe. Es sollte im Profil nur gezeigt werden, dass sich im Untergrund noch magmatische (besser: noch nicht völlig erkaltete Plutonit-) Herde befinden und die Störungen und Verwerfer so tiefgreifend offen sind, dass sie noch in diese Räume hinabgreifen.

Die Thermalquellen von Hüdaihamamı als jüngst-postvulkanische Erscheinung: Entlang dieser Spalten treten auch die jüngsten nachvulkanischen Folgen zutage, die Thermalquellen von Hüdaihamamı. Diese aufsteigenden Quellen bauen die Kalksinterterrassen beidseits des Baches um den Bäderort Hüdaihamamı auf und sind dadurch tektonisch von einiger Wichtigkeit, da an diesen Kalktuff-Bänken gezeigt werden konnte, dass die junge Tektonik auch heute noch wirksam ist. Es ist kein Zufall, dass diese Tektonik und auch die Quellen gerade an dieser Stelle auftreten: Es ist der Kreuzungspunkt der beiden Hauptstörungslinien (NNE-SSW und E-W) und daher von erstrangiger tektonischer Bedeutung. Wenn man von den chemischen Analysen, der Radioaktivität und der Temperatur der Quellen rückschließen will, in welchem Stadium der postvulkanischen Tätigkeit sich die Wasserförderung befindet, kommt man zu einem erstaunlichen Schluss: Obwohl seit der Eruptionstätigkeit immerhin schon ungefähr 20 Millionen Jahre vergangen sind, gehören die rezenten Quellen immer noch einem (hoch- bis) mittleren hydrothermalen Stadium an. Werte aus einem errechneten Durchschnitt von den Analysen von neun Thermalquellen von Hüdaihamamı mögen dies neben der Temperatur und den Werten für die Radioaktivität erhärten :

Neben einem relativ hohen Na- und HCO_3 -Gehalt, der dem normalen Gehalt einer Thermalquelle aus einem trachytisch-andesitischen Gestein entspricht, fällt vor allem der ungewöhnlich hohe SO_4 -Gehalt auf. Dieser kann im vorliegenden Falle nun nicht durch Auslaugung aus liegenden gipsführenden Sedimentschichten erklärt werden⁶ (das Miozän ist hier in weisser, nicht bituminöser Süswasserkalkfazies entwickelt), sondern muss primärer Herkunft sein.—Auch Kohlenflöze mit einer eventuell hohen Pyritführung sind aus dem Untergrund nicht bekannt und auch nicht zu erwarten.—Dieser hohe SO_4 -Gehalt spricht für ein hoch- bis mittelthermales Stadium. Der geringe Fe-Gehalt demgegenüber lässt weiters vermuten, dass fast alles Eisen bereits bei höherer Temperatur in den Aufstiegs-

Quelle No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kleinster Wert	Grösster Wert	Durchschnitt	% mittlval
Kationen													
K mg/l	36,6	36,4	33,9	34,8	37,8	37,2	38,9	37,3	38,6	33,9	38,9	36,96	
Na	229,9	230,7	226,3	224,5	237,8	237,2	222,4	228	224,3	222,4	237,8	228,7	46,067
NH₄	0,28	0,6	0,55	0,05	0,48	0,45	Spur	0,4	0,44	Spur	0,6	0,38	
Ca	169,2	170,1	175,2	164,9	168,4	91,4	170,3	174,1	170,6	91,4	175,2	169,7	36,995
Mg	26,7	26,3	26,3	27	26,9	27,4	26,3	27	26,3	26,3	27,4	26,64	
Tc	0,12	0,70	0,07	0,11	0,14	0,084	0,06	0,08	0,26	0,06	0,7	0,123	
Al	1,45	1,032	1,78	13,64	3,12	2,22	8,0	7,14	2,14	1,032	13,64	3,69	
Anionen													
J mg/l		0,25	0,25	0,07	0,07	0,07				0,07	0,25	0,14	
Br	6,87	4,15	4,45	6,74	6,7	6,74	6,87	6,88	6,87	4,45	6,88	6,46	
Cl	97,4	96,8	96,4	95,7	93,7	95,7	97,4	97,4	97,4	93,7	97,4	96,7	
NO₃	2,1	2	1	3,2	1	0,8	1,9	0,4	1,25	0,4	3,2	1,58	
SO₄	495,7	492,7	461,2	458,2	487,9	486,2	482,2	491,3	480,3	458,2	495,7	483,0	45,224
HPO₄	4,17	4,01	3,4	5,253	6,18	5,56	5,562	5,09	7,7	3,4	7,7	5,12	
HCO₃	510,7	525,5	575,9	620,9	579,6	326,5	563,7	577,2	531,7	326,5	620,9	552,0	41,522
H₂SiO₃	50,7	41,6	31,8	47,8	47,8	49,2	49,2	42,8	48,7	31,8	50,7	46,7	
Freie CO₂	57,5	100	176	110	132	264	88	88	88	57,5	264	112	
Summe der mg/l gelösten Stoffe	1.689,1	1.742,5	1.813,5	1.812,9	1.820,5	1.630,7	1.760,9	1.783,09	1.724,5	1.630,7	1.820,5	1.760,9	

bahnen der hydrothermalen Wässer mit Schwefel abgebunden wurde. Daher kann angenommen werden :

- dass entlang der Aufstiegsbahnen Sulfidvererzungen auftreten; und rückschliessend,
dass die Quellwasser bereits einen langen Aufstiegsweg hinter sich haben, wobei die Kiese abgesetzt wurden; und
- dass sich die Wasser bis auf die heutige Obertags-Temperatur abgekühlt haben.

Da diese Temperatur immerhin noch bis 85 Grad C (nach G. Müller, Wien, 1955) beträgt (nach den Analysen von 1949 um 67 Grad C) und da an der Oberfläche nur CaCO_3 und keine Sulfide ausgeschieden werden und daher bereits ein langer Aufstieg mit einer entsprechenden Abkühlung vorangegangen sein muss, ist der Herd in grösserer Tiefe zu suchen. Die fort herrschende Ausgangstemperatur wird mit weit über 100 Grad C anzusetzen sein.

P H O T O B E S C H R I F T U N G E N

- Photo 1 - 4** tektonische Einheiten zeigt das Photo; die einzelnen tektonischen Stufen sind durch steile Brüche getrennt. Der Aufnahmepunkt befindet sich in der tieferen (Pliozän-) Stufe der Ova. Der Hügelzug im Mittelgrund ist die gehobene Mittelschwelle in ihrer ganzen Erstreckung von Çayköy im Norden (NNE) bis zum Kara Tepe im Süden (SSW). Der Hügelzug besteht hauptsächlich aus Jungpaläozoikum (von Çayköy bis zum Miozän), der Kara Tepe aus mesozoischen Kalken. Dazwischen ist ein flacher Sattelaus Miozän, welches der höheren (älteren) Stufe der Ova angehört. Im Hintergrund ist die langgestreckte Kette des Kükürt Dag sichtbar, ebenfalls aus mesozoischen Kalken und einem vorgelagerten Vulkanit-Streifen zusammengesetzt.
- Photo 2** - Die Mittelschwelle, verkieselter «Verrucano». vom Westen photographiert. (Vergleiche Photo 1, wo dieser Hang in der Mitte der linken Hälfte Hegt.)
Die Morphologie bildet scharf die junge Bruchtektonik ab.
- Photo 3** - Vom Kara Tepe nach Ost auf Kükürt Dag. (Nähere Erklärungen im Text.)
- Photo 4** - Der Ostrahmen der Ova von Macil Köy im Süden bis nahe an Hüdaihamamı; ein Gegenstück vom Photo 1. Wie dort ein langgestreckter Hügelzug im Mittelgrund aus Jungpaläozoikum mit einem Vorstoss von Miozän. Dahinter der Gebirgszug ist wesentlich höher; er ist mit der Hochstaffel des Kükürt Dag, dem Westrahmen der Ova zu analogisieren.
- Photo 5** - Die «Kniekehle» der Ova gegen West - vom Travertin von Hüdaihamamı aus. Der Badeort mit den heutigen Quellaustritten liegt tiefer als die subrezenten Quellsinter—das entspricht einer jüngsten Hebung.
- Photo 6** - Die jüngste Hebung erfolgte nicht konstant und allmählich, sondern ruckweise, wie die Anordnung der Quellaustritte in horizontalen Reihen und die Terrassenbildung aus diesem Photo zeigt.
- Photo 7** - Die Oberflächenstruktur der Sinterbildungen ist meist noch deutlich an den Quellaustritten erkennbar; ein Zeichen für geringe Verwitterung des leicht zerstörbaren Materials und damit für ganz geringes Alter.
- Photo 8** - Die Klüfte im subrezenten Travertin behalten die Richtungen der älteren Bruchsysteme bei : ~ E-W, ~ NNE-SSW. Ein schönes Beispiel für lebendige Bruchtektonik.

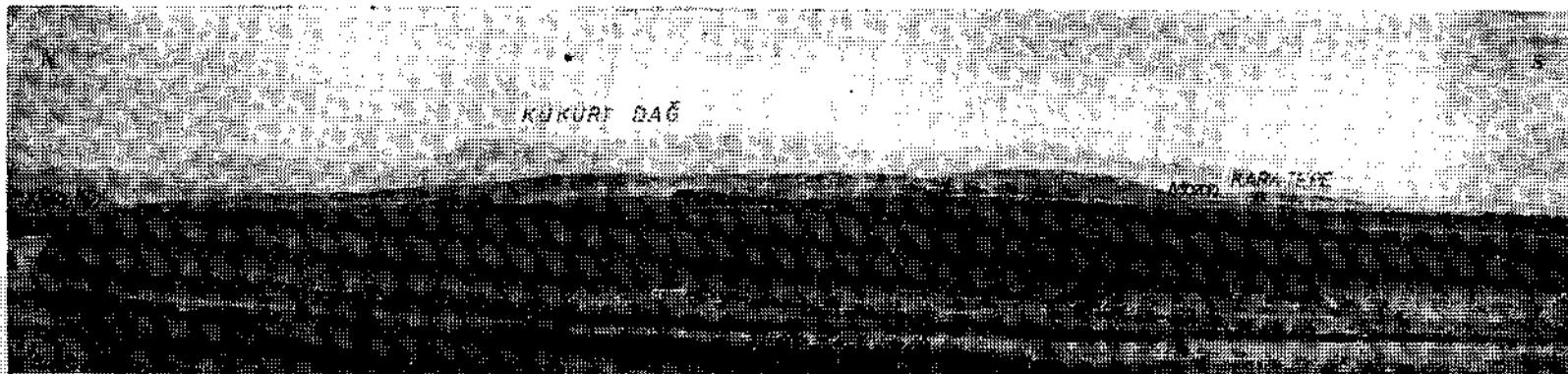


Photo 1

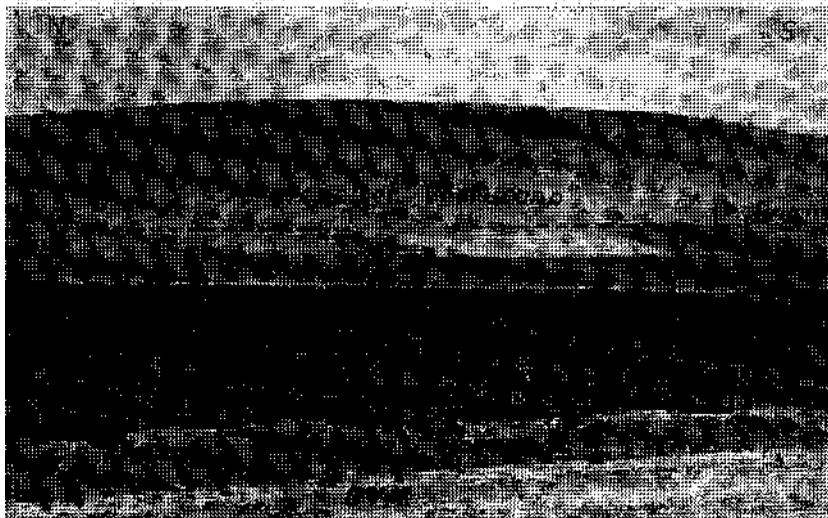


Photo 2

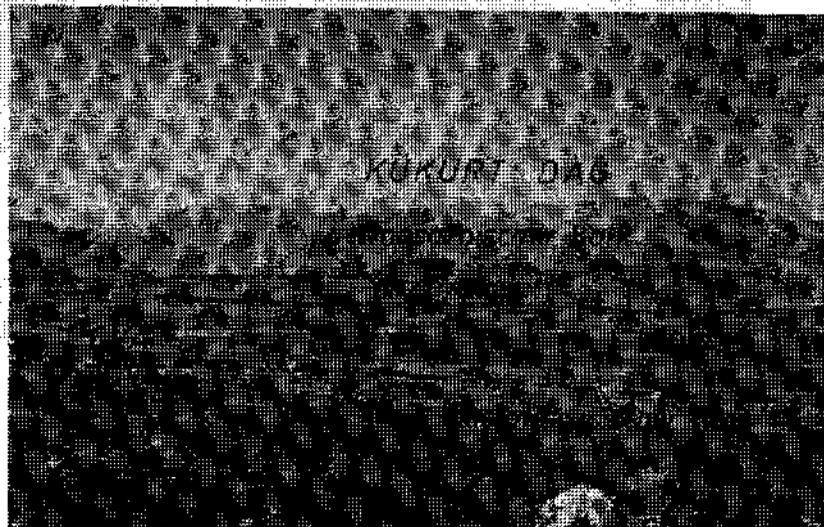


Photo 3

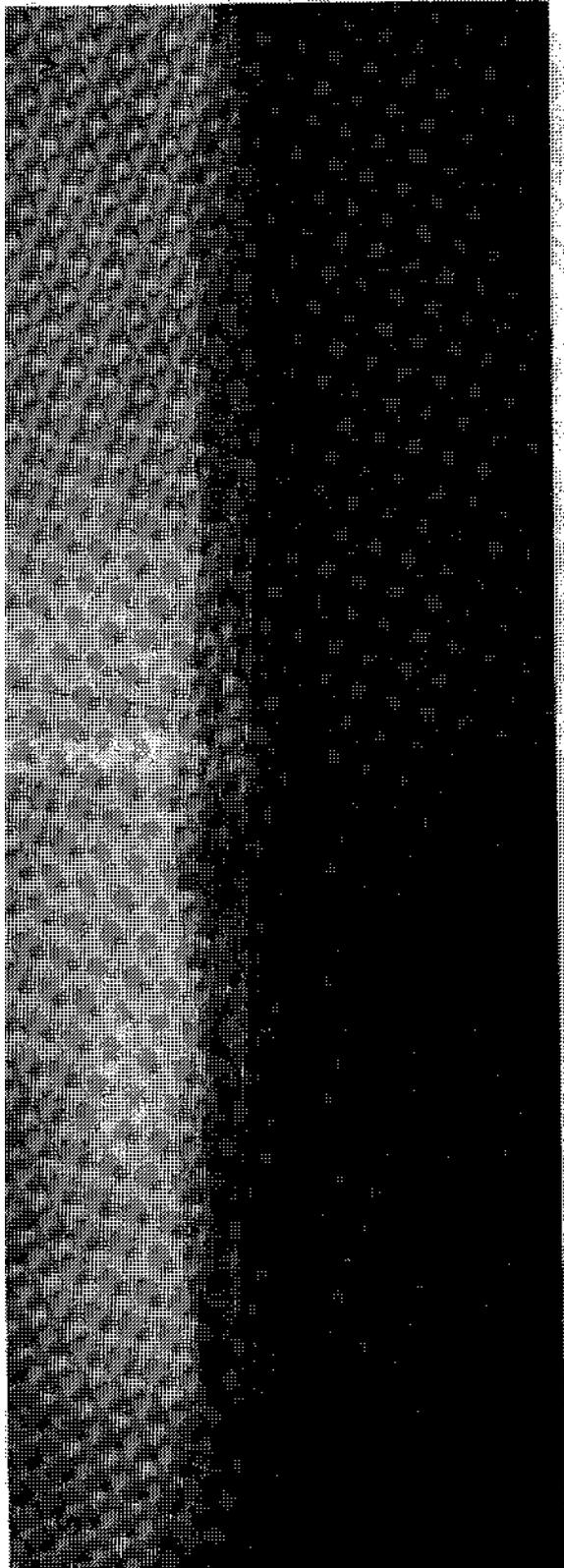


Photo 4

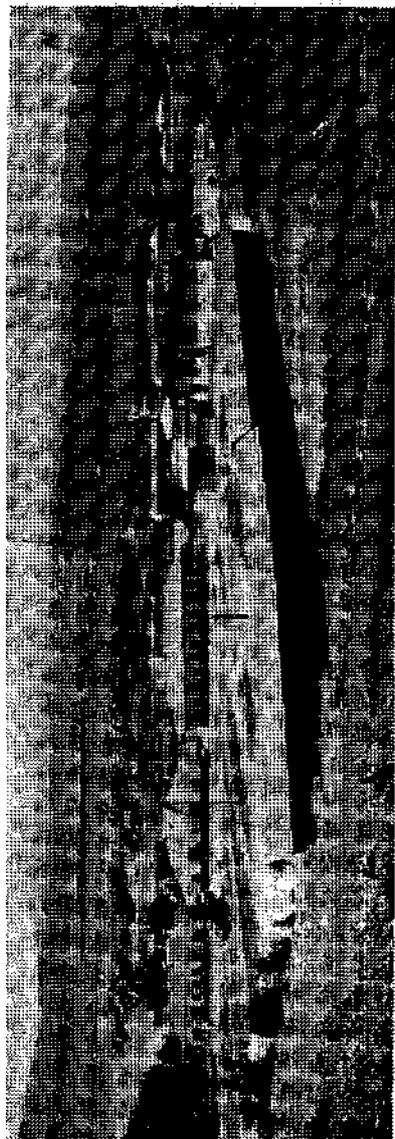


Photo 5



Photo 8



Photo 7



Photo 6

Die Radioaktivität der Quellwasser spricht für denselben Tatbestand: Alle Sedimentgesteine, die den weiteren Raum um Hüdaihamamı aufbauen, sind fast radioinaktiv. Einzig die intermediären Vulkanite (Trachyt bis Andesit) zeigen eine etwas erhöhte Radioaktivität. Die Quellen jedoch haben eine 6 mal so hohe Emanation von g-Strahlung als die umgebenden Gesteine.—Streng genommen noch viel mehr, da sich die gemessene Radioaktivität aus Background (ungefähr gleichzusetzen mit kosmischer Strahlung) plus Emanation aus dem gemessenen Objekt zusammensetzt und bei gering aktiven Gesteinen der Prozentsatz des kosmischen Strahlungsanteiles oft ein mehrfaches der Eigenradioaktivität ausmacht. Da bei einem Vergleich der Eigenradioaktivität bestimmter Objekte eigentlich der Background abgezogen werden müsste, verschiebt sich das Verhältnis bedeutend zugunsten des stärker aktiven Objektes. Auf vorliegendes Beispiel angewandt, wäre die Eigenradioaktivität der Quellen mehr als 25 mal so gross als die der umliegenden Sedimentgesteine.

Die Radioaktivität—mehr als 3 500 Messungen wurden vorgenommen—der Quellen stammt nun nicht von Uran oder Thorium her; diese Elemente müssten sich bei Berührung mit dem Sauerstoff der Luft und der erfolgenden starken Temperaturabnahme in Uran- oder Thoriummineralien niederschlagen, sondern rührt von dem gasförmigen Radon her. Diese Auffassung wird auch dadurch gestützt, dass das Quellwasser, das in den Hüdaihamambach abfließt (und das eventuell noch Thorium in Lösung enthalten könnte), bereits in kurzer Entfernung vom Austrittsort der Quellen radioinaktiv ist. Die g-Strahlung entweicht also mit dem Radon-Gas in die Luft. Da Radon ein Spaltungsprodukt von Uran (und Thorium) mit sehr kurzer Lebensdauer ist, müssen grössere Mengen von Uran (oder Thorium) in der Tiefe sein. Diese Elemente mögen in grösserer Teufe mit Ca (und ähnlichen) abgebunden sein und nur das gasförmige Radon steigt zur Oberfläche auf. Nun sind intermediäre magmatische Gesteine nicht gerade überreich an radioaktiven Elementen. Granite (und Verwandte) sind an der Oberfläche in weitem Umkreis um die radioaktiven Quellen von Hüdaihamami nicht anzutreffen. Jedoch ist eine Differentiation des trachyandesitischen-syenitischen Magmas in grösserer Tiefe in Richtung Quarzsyenit-Normalgranit ohne weiteres plausibel. Und bei diesen Gesteinen (als auch ohne Zwang sogar bei syenitischen bis monzonitischen Magmen) tritt die höchste Konzentration an radioaktiven Mineralien im Temperaturbereich der hochhydrothermalen (bis pneumatolytischen aber auch mittelthermalen) Phase auf. Daher spricht auch die hohe Radioaktivität der Quellen—gegenüber der geringen der Oberflächengesteine—für ein hoch- (bis mittel) hydrothermales Stadium der Thermalquelle.

Zusammenfassend lässt sich wiederholend über die Thermalquellen von Hüdaihamamı sagen,

- dass-sowohl der Chemismus (hoher SO_4 -Gehalt),
- als auch die hohe Radioaktivität (der d -Strahler ist das Gas Radon),
- wie auch die relativ hohe Temperatur (bis 85 Grad C) für ein hoch- bis mittel-therrnales Stadium der postvulkanischen Nachwirkungen des trachytisch-andesitischen Magmatismus sprechen:

6. NACHBEMERKUNG ZUR NEOGEN-STRATIGRAPHIE

Die Fossilien der stratigraphisch tieferen Ova-Schichten weisen auf Pontien. Dieses wird oft bereits zum Pliozän gerechnet; vor allem in Mittel- u. Osteuropa. In dieser Arbeit wurde das Pontien als Miozän ausgeschieden.

Eine Stellungnahme zu stratigraphischen Streitfragen soll damit nicht dokumentiert werden, das liegt vorliegender Studie fern. Aber eine Entscheidung musste getroffen werden. Verfasser schloss sich, wenn schon nicht den besseren Argumenten, so doch der grösseren Zahl der Stimmen an, für die (vor allem für Anatolien) das Pontien oberes Miozän ist.

Die Franzosen (Gignoux) stellen ihr Pontien ins Miozän. In neuerer Zeit parallelisiert A. Winkler-Hermaden das Pontien mit dem Unter-Pannon und zählt dieses noch zum Miozän. Im stratigraphischen Lexikon lässt H. N. Pamir die zentralanatolischen Vulkanströme mit den alternierenden Süswasserschichten im Miozän beginnen.

K. Turnovsky stellt im «Handbuch der Stratigraphie» das Pontien ebenfalls ins Miozän. (Es wird «in der türkischen Literatur Pont *s.l.* meist als Obermiozän bezeichnet.» — K. Turnovsky, 1959, p. 284.)

Und schliesslich fasst J. Westerveld ganz allgemein das anatolische Pontien als «Upper Miocene» auf (1957, p. 103) und schreibt im Speziellen über die Region von Sandıklı (p. 113) : «... the lowest tuff strata have been observed to alternate with miocene fresh-water limestones, with which they appear to be strongly tilted near Sandıklı and SSE of Afyon..» Sollten neuere stratigraphisch Untersuchungen ein pliozänes Alter der betreffenden Schichten ergeben, so tut das dieser Arbeit hier keinen Abbruch. Dann mag die Legende (und eventuell die tektonische Phasenparallelisierung) abgeändert werden, an den Beobachtungen und tektonischen und vulkanologischen Schlüssen und Ergebnissen tritt keine Änderung ein.

Manuscript received August 23, 1962

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

- BALLCZO, H. (1955) : Heilquellennormung. Moderne Erkenntnisse in der Einteilung sowie Beurteilung der Mineralwaesser. *Zeitschrift f. physikalische Therapie, Baeder- u. Klimaheilkunde*. Jg. 1, Wien.
- ÇAĞLAR, K. Ö. (1950) : Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları. Fasikül: 3. *M.T.A. Ser. B*, Nr. 11, Ankara.
- CHAPUT, E. (1936) : Voyages d'etudes geologiques et geomorphologiques en Turquie. *Mem. Inst. Franyais d'Archeol. İstanbul*, T. II.
- (1941) : La Phrygie. *Expl. Archeol., T. I, Geol, et Geogr. Physique. İstanbul*.
- GIGNOUX, M. (1955) : Stratigraphie Geology. San Francisco.
- MÜLLER, G. (1955) : Geologische und hydrologische Untersuchungen von Thermalquellen in den Vilayets İzmir, Afyon und Çanakkale. *M.T.A. Bericht* Nr. 2220 (unveröff.), Ankara.

- NEBERT, K. (1956) : Zur stratigraphischen Stellung der Gipsserie im Raum Zara-İmranlı (Vilayet Sivas). *M.T.A. Bull.* No. 48 (Foreign Ed.) Ankara.
- (1958) : Ein Beitrag zum jüngsten geologisch-tektonischen Werdegang Inneranatoliens-Nachweis der Wallachischen Orogenphase im Vilayet Ankara (bei Kayı-Bucuk). *M.T.A. Bull.* No. 50 (Foreign Ed.), Ankara.
- (1959) : Die Kieselbildungen des simischen- Magmatismus in Anatolien. *M.T.A. Bull.* No. 53 (Foreign Ed.), Ankara.
- PAMİR, H. N. & CHAPUT, J. E. (1960) : Lexique Stratigraphique International. XX. *Congr. Geol. Intern., Mexico*, Vol. III (Asie) Fase. 9c, Turquie.
- PAPP, A. (1959) : Tertixer (mit THENIUS, E.) I. Teil : Grundzüge regionaler Stratigraphie. Stuttgart.
- PAREJAS, E. (1942) : Rapport sur les levés géologiques dans la région de Sandıklı, u.s.w. *M.T.A. Bericht* Nr. 1390 (unveröff.), Ankara.
- (1943) : Le volcanisme tertiaire au Sud d'Afyonkarahisar. *C. R. Soc. Sci. Phys. Nat.*, Geneve.
- PENCK, W. (1918) : Tektonische Grundzüge West-Kleinasien. Stuttgart.
- PHILIPPSON, A. (1918) : Kleinasien. *Handbuch d. reg. Geol.*, II. Bd., 2. Abt. Heidelberg.
- RONNER, F. (1956) : Die Thermalquellen und Baeder von Hüdaihamamı (Sandıklı-Afyonkarahisar). *M.T.A. Bericht* Nr. 2493 (unveröff.), Ankara.
- STILLE, H. (1940) : Einführung in den Bau Amerikas. Berlin.
- (1924) : Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin.
- TURNOVSKY, K. (1959) : Kleinasien; aus PAPP, A. (s.d.)
- WESTERVELD, J. (1957) : Phases of Neogene and Quaternary Volcanism in Asia Minor. XX. *Congr. Geol. Intern. Mexico. Secc. I* (I. Bd.).
- WINKLER-HERMADEN, A. (1954) : Ergebnisse über zeitliche Gliederung und Ablauf jungtertiäre tektonischer Vorgänge u.s.w. In: *XIX. Congr. Geol. Intern.*, Alger 1952, Sect. XIII., Fase. XIV.
- (1960) : Zur Frage der Beziehungen zwischen Tektonik und Landformung. *Geol. Rdsch.* Bd. 50.
- (1960) : Der Vergleich der obermiozänen-pliozänen Schichtfolgen im Mediterranbereich mit jenen in den pannonisch-pontischen Gebieten.