Die Radioaktivität der Phonolithe des Hegaus und das Vorkommen der Uran-Opale

(mit 2 Tafeln und einer Textabbildung)

von

FRANZ KIRCHHEIMER

Vor einem Menschenalter hat LEDERER (1927, S. 156 u. 162) festgestellt, daß Handstücke der Phonolithe des Hegaus durchschnittlich $5{,}93 \times 10^{-9}$ g Ra/kg enthalten und mithin im Vergleich zu anderen Gesteinen besonders radiumreich sind. Der genannte Wert übertrifft das für Granit des Schwarzwaldes zu $3{,}04 \times 10^{-9}$ g/kg bestimmte Ra-Äquivalent und entspricht einem Urangehalt von ungefähr 18 g/t. Auch die Radioaktivität einiger Phonolithe des Kaiserstuhls wurde im Laboratorium untersucht; ihr Ra-Durchschnittsgehalt soll $4{,}83 \times 10^{-9}$ g/kg betragen (vgl. SEITH 1927, S. 166). Mit der ersten Zählrohr-Analyse eines Handstückes des Phonoliths vom Kirchberg bei Oberrotweil im Kaiserstuhl fand PAHL (1933, S. 214) bis zu $4{,}3 \times 10^{-9}$ g Ra/kg. Die basaltischen Gesteine dieses Vulkangebietes und des Hegaus sind schon 1912 auf ihre Radioaktivität untersucht worden (vgl. MEYER 1914, S. 1-6). Nach SEITH (1927, S. 166) sollen die im Kaiserstuhl vorkommenden Tephrite mit durchschnittlich $6{,}62 \times 10^{-9}$ g Ra/kg wesentlich reicher an Radium als die etwa $1{,}79 \times 10^{-9}$ g Ra/kg enthaltenden Basalte des Hegaus sein und in dieser Eigenschaft den Phonolithen nahestehen. Bei der Bewertung der Angaben von G. MEYER, H. LEDERER und W. SEITH ist zu beachten, daß sie nach der Radon-Methode an geringen Mengen eines chemisch aufgeschlossenen Gesteinspulvers erarbeitet wurden (vgl. auch LAIS 1933, S. 128-130).

1953 konnte ich erste Ergebnisse von neuen Untersuchungen über die Radioaktivität und den Urangehalt der vulkanischen Gesteine des Kaiserstuhls und Hegaus mitteilen (S. 13-15). Weitere Befunde habe ich 1957 (S. 51-57) und 1959 (S. 30-47) veröffentlicht. Die auf Phonolithe des Hegaus und ihre Uran-Opale bezüglichen Einzelheiten meiner Schriften seien an dieser Stelle zusammengefaßt und durch neue Feststellungen ergänzt.

Die Radioaktivität der basaltischen Gesteine entspricht ungefähr dem K_2O-Gehalt. Neben dem sie bewirkenden ^{40}K können sonstige radioaktive Substanzen nur in einer die Scintillometer-Messungen im Gelände geringfügig beeinflussenden Menge vorhanden sein. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den erwähnten Befunden von W. SEITH aus dem Jahr 1927. Auch die von MEYER (1914, S. 3) nach der Radon-Methode getroffenen Bestimmungen hoher Ra-Gehalte für die Tephrite vom Eichert ($10{,}1 \times 10^{-9}$ g Ra/kg) und Horberig ($9{,}9 \times 10^{-9}$ g Ra/kg) im Kaiserstuhl habe ich bei einer Begehung mit dem Scintillometer nicht bestätigen können. Die Gamma-Aktivität der Phonolithe liegt sowohl in diesem Vulkangebiet als auch im Hegau erheblich über den von basaltischen Gesteinen und den Tuffen bewirkten radiometrischen Effekten. Der von MEYER (1914, S. 3) mit $16{,}2 \times 10^{-9}$ g Ra/kg angegebene, nach SEITH (1927, S. 166) selbst bei Reduktion auf $14{,}1 \times 10^{-9}$ unerklärlich hohe Wert für eine Phonolith-Probe vom Fohberg bei Bötzingen im Kaiserstuhl deutet auf ungefähr 50 g U/t und kann nach meinen Befunden durchaus zutreffen (vgl. 1959, S. 31).

I. Radioaktivität und Urangehalt der Phonolithe

Die im Hegau vorgenommenen Messungen mit dem Gamma-Scintillometer haben bestätigt, daß die Phonolithe eine ungewöhnlich hohe Radioaktivität besitzen. Sie wird nicht von ihren K_2O-haltigen Mineralien und dem Thorium bewirkt, sondern ist nach den chemischen Analysen eine auf dem erheblichen Urangehalt beruhende Eigenschaft[1]). Im Gelände zeigen die Phonolithe eine bis zu 15fach höhere Gamma-Aktivität als die basaltischen Gesteine und die Deckentuffe. Auch die unterschiedlichen radiometrischen Effekte bestätigen die neuere Ansicht, nach der die Deckentuffe des Hegaus nicht als Produkte der phonolithischen Phase des Vulkanismus gedeutet werden können (vgl. ERB 1931, S. 35-46).

Chemische Analysen mehrerer Proben der Absturzblöcke und des Gesteinsschuttes vor der von Natrolith-Gängen durchsetzten Nordwestwand des Hohentwiels erbrachten bis zu 350 g U/t[2]). Beträchtliche Radioaktivität zeigt auch der am Ostfuß des Hohenkrähens über der alten Straße lagernde Phonolith-Gehängeschutt. Der Urangehalt einer ausgewählten Probe wurde mit 0,032 % bestimmt[3]). Im Phonolith des Mägdeberges sind nach der chemischen Analyse bis zu 330 g U/t enthalten. Die Phonolithe des Kaiserstuhls führen durchschnittlich nur 30 g und höchstens 150 g U/t (vgl. 1959, S. 31 u. 38).

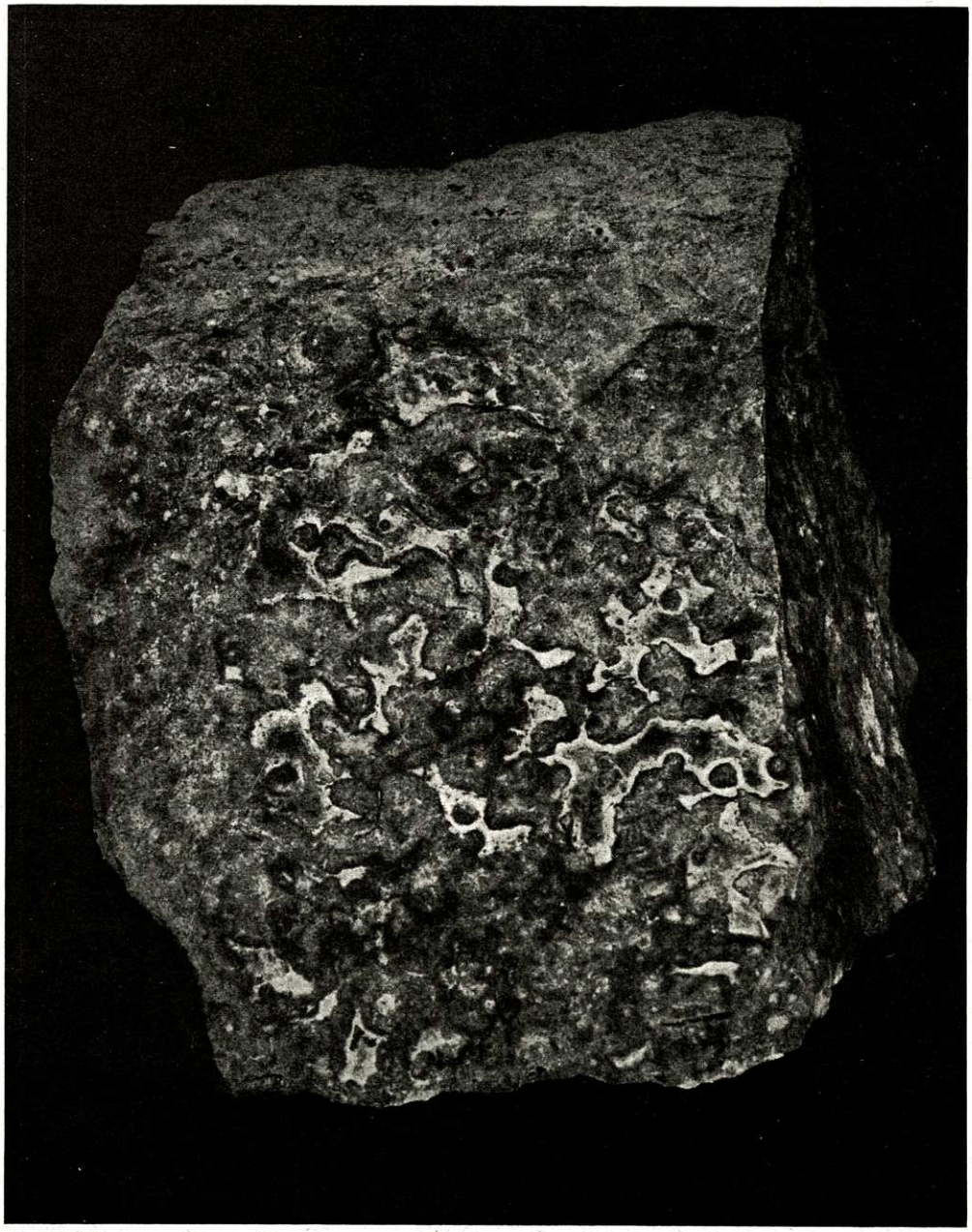
Auf den gegenüber sämtlichen Gesteinen des Landes hervortretenden Urangehalt der Phonolithe, vor allem des Hegaus, ist im älteren Schrifttum nicht besonders hingewiesen worden, obwohl W. SEITH aus den Meßwerten der Radioaktivität einen Durchschnitt von ungefähr 20 g U/t errechnet hat. FOHR (1888; S. 8-11, 20, 24 u. 28) konnte lediglich Spuren von Seltenen Erden feststellen (vgl. auch v. SANDBERGER 1885, S. 192). Der Thoriumgehalt der uranreichen Phonolithe des Hohenkrähens und Mägdeberges beträgt nach den neuen Analysen entgegen SEITH (1927, S. 166) nicht um 67 g/t, sondern unter 0,001 %. Bemerkenswert ist die von W. KÄSS mit Hilfe der Röntgen-Fluoreszenz-Spektrometrie festgestellte Anreicherung des Niobiums in diesen Gesteinen. Die seit 1952 angefertigten Analysen der von mir näher untersuchten Phonolithe des Hegaus erbrachten die folgenden Gehalte (in %):

Vorkommen	U	Nb	K
Hohentwiel	<0,035	0,070	4,34
Hohenkrähen	<0,032	0,045	2,29
Mägdeberg	<0,033	0,035	6,55

[1]) ZESCHKE (1956, S. 34/35) hat die „Gesteinsstrahlung" der basaltischen Gesteine und Phonolithe des Kaiserstuhls und Hegaus nach den 1953 von mir mitgeteilten Meßwerten in Beziehung zu den K_2O-Gehalten gesetzt. Auch seine Darstellung gibt zu erkennen, daß die Radioaktivität der Phonolithe dem ^{40}K-Äquivalent nicht entspricht, sondern wesentlich höher liegt (Abb. 8).

[2]) An dieser Stelle hat König Friedrich I. von Württemberg zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts einen auf die Gewinnung des Natroliths gerichteten Steinbruch betreiben lassen (vgl. FRAAS 1879, S. 8/9 u. Abb.).

[3]) Nach einer Mitteilung von Prof. Dr. O. HAXEL (Heidelberg) ist ihm die hohe Radioaktivität des Phonolith-Schuttes an dieser Stelle im Jahre 1938 bei einer Messung mit dem Geiger-Zählrohr aufgefallen. Daselbst konnte ich das maximale Ra-Äquivalent des Gesteins zu $9{,}8 \times 10^{-8}$ g/kg bestimmen. Die von der Umgebung abweichende, besondere Radioaktivität des Hohentwiels und Hohenkrähens ist mit den Meßgeräten bereits auf mehr als 100 m Entfernung bemerkbar.



Tafel I: Beginnender Flechtenbewuchs auf Phonolith vom Hohentwiel (Hegau). Inkrustation der jungen Hyphen-Thallome durch Uran-Opal. — Etwa natürl. Größe (Aufnahme im gewöhnlichen Licht; nach KIRCHHEIMER 1959, Taf. VI).

2

3

1

Tafel II: Beginnender Flechtenbewuchs auf angewittertem Phonolith vom Hohenkrähen (Hegau). 1 weißliche Flecken an den Stellen der Inkrustation der jungen Hyphen-Thallome durch Uran-Opal (Aufnahme im gewöhnlichen Licht; vgl. Textabb. 1). 2 u. 3 sklerosierte Hyphen in der Opalsubstanz. — 1 etwa 2 mal vergrößert; 2 u. 3 etwa 10 mal vergrößert (nach KIRCHHEIMER 1959, Taf. VII).

Der Urangehalt der basaltischen Gesteine und der Deckentuffe des Hegaus ist im Vergleich zu den Phonolithen sehr gering. Nach dem bei Subtraktion des durch das radioaktive K-Isotop bewirkten Effektes verbliebenen Einfluß auf die Meßgeräte sind bis zu 2 g U/t anzunehmen. Das Uran der Phonolithe ist überwiegend nicht an die Einsprenglinge und akzessorischen Mineralien gebunden, sondern findet sich nach den radiographischen Reaktionen in der kali- und kieselreichen Grundmasse des Gesteins, mitunter schlierenartig angereichert. Eine Bevorzugung der Nachbarschaft von Klüften oder der durch das Vorkommen des Natroliths und der Carbonate gekennzeichneten hydrothermalen Zonen konnte nicht festgestellt werden.

An die Verwertung der Hegau-Phonolithe für die Urangewinnung ist aus verschiedenen Gründen nicht zu denken. Unabhängig von der Rücksichtnahme auf die Belange des Natur- und Landschaftsschutzes kann festgestellt werden, daß die Gesteine einen sehr wechselnden und im Durchschnitt zu geringen Urangehalt besitzen. Die Wirtschaftlichkeit einer Gewinnung der uranreicheren Schlieren aus den Phonolithen dürfte selbst im Steinbruchbetrieb nicht zu erreichen sein. Demnach besitzt die U-Konzentration in den auch Nb-reichen Phonolithen lediglich wissenschaftliche Bedeutung und das Auftreten der Uran-Opale kann nur mineralogisches Interesse beanspruchen.

Die in wissenschaftlicher Sicht erheblichen Urangehalte der Phonolithe des Hegaus sind eine Folge der schon von HIRSCHI (1920, S. 14/15) erkannten, geochemischen Affinität des radioaktiven Elementes zu den sauren und alkalireichen Schmelzen. Dagegen sind keine Anzeichen für die magmatische Resorption des Urans aus eingeschmolzenen Erzgängen des Grundgebirges vorhanden. Auch die erheblichen Nb-Gehalte der Phonolithe des Hegaus können nach RANKAMA (1948, S. 35/36) mit dem geochemischen Charakter des phonolithischen Magmas erklärt werden (vgl. FLEISCHER, MURATA, FLETCHER & NARTEN 1952; S. 3). Der dem Phonolith als Tiefengestein zuzuordnende Nephelinsyenit enthält im Durchschnitt etwa 300 g Nb/t. Ich verweise auf meine Darlegungen über das Vorkommen von uranhaltigen Nb-Mineralien im Zusammenhang mit den Phonolithen und Carbonatiten des Kaiserstuhls (1957, S. 52—55) [4]).

II. Die Uran-Opale

Die im Bereich der vulkanischen Gesteine des Kaiserstuhls und Hegaus vorkommenden uranhaltigen Kieselgele habe ich eingehend beschrieben (1959, S. 30 bis 43). Insbesondere ist ihre in der Intensität dem Urangehalt proportionale grüne Fluoreszenz im gefilterten UV-Licht untersucht worden. Die Uran-Opale des Kaiserstuhls sind in Klüften über carbonatischem Substrat zu finden und hydrothermaler Provenienz. Dagegen überwiegen im Hegau die in jüngster Zeit von uranhaltigen Tageswässern unmittelbar auf dem Gestein abgesetzten Kieselsinter. In beiden Vulkangebieten sind die uranreichsten Mineralien an die Phonolithe geknüpft. Die Uran-Opale der wesentlich uranärmeren basaltischen Gesteine zeigen unter der UV-Lampe die spezifische Fluoreszenz allenfalls im kurz-

[4]) Nb-Gehalte von Phonolithen des Kaiserstuhls: Fohberg b. Bötzingen 0,043 %; Kirchberg b. Oberrotweil 0,018 % (nach Röntgen-Fluoreszenz-Analysen von W. KÄSS 1959).

welligen Licht. Über den Zusammenhang dieser Erscheinung mit dem Urangehalt der Kieselgele des Kaiserstuhls und Hegaus soll die folgende Übersicht unterrichten:

Vorkommen	Fluoreszenz im gefilterten UV-Licht 254 m Mikron	366 m Mikron	Urangehalte (in %)
1. Basische Gesteine (Tephrit, Limburgit; Deckentuffe)			
Ihringen (Kaiserstuhl)	grünlich	diskret oder fehlend	< 0,003
Sasbach (Kaiserstuhl)	grün	schwach oder fehlend	< 0,005
Rosenegg (Hegau)	schwach grün	—	< 0,002
Hohentwiel (Hegau)	—	—	—
2. Saure Gesteine (Phonolithe)			
Oberrotweil (Kaiserstuhl)			
grünlicher Opal mit Hyalit-Lagen	grellgrün	lebhaft grün	0,15
Hyalit der Perlenform	lebhaft grün	deutlich	0,024—0,04
Bötzingen (Kaiserstuhl)	lebhaft grün	deutlich	0,02
Hohentwiel (Hegau)	± grün	fehlend bis deutlich	0,001—>0,01
Hohenkrähen (Hegau)	± grün	fehlend bis lebhaft grün	0,001—>0,08
Mägdeberg (Hegau)	± grün	fehlend bis deutlich	0,001—>0,01

Der Bestimmung des Urangehaltes der SiO_2-Hydrogele dienten die Radiometrie und Fluorimetrie, chemische Analysen und insbesondere das Verfahren der Röntgen-Fluoreszenz-Spektrometrie (1959, S. 45-47). Mineralien mit mehr als 0,01 % U zeigen auch im langwelligen UV-Licht die grüne Fluoreszenz in erheblicher Intensität. Bei weniger als 0,005 % U ist alsdann ein nur schwacher spezifischer Effekt wahrnehmbar. Kieselgele mit einem Urangehalt unter 0,003 % werden lediglich vom kurzwelligen UV-Licht zu deutlicher Fluoreszenz angeregt. Uranspuren unter 0,001 % ergeben einen nur diskreten Effekt oder bewirken keine Reaktion. Bei Abwesenheit von Eisen, Mangan und anderen, die Fluoreszenz beeinträchtigenden oder sie auch löschenden Schwermetallen kann der Urangehalt der Kieselgele nach der Intensität des grünen Leuchtens im kurz- und langwelligen UV-Licht durch die vergleichende Inspektion beurteilt werden. Für die Hyalite und andere ungefärbte Opalsubstanzen beträgt der Unterschied zwischen dem Schätzergebnis und ihrem tatsächlichen Urangehalt höchstens ± 20 %. Auf die Möglichkeit der Täuschung durch fluoreszierende Substanzen ohne Urangehalt und die ihr begegnenden einfachen Proben habe ich bereits hingewiesen (1959, S. 15).

Dem Auffinden der uranhaltigen Kieselgele diente eine auf meine Veranlassung 1953 von der Quarzlampengesellschaft m.b.H. Hanau a. M. entwickelte, vom Netzstrom unabhängige und tragbare UV-Lampe. Mit ihrer Hilfe konnten die Sammlungen nach solchen Mineralien durchmustert werden. Die wichtigsten Ergebnisse lieferte die nächtliche Prospektion im Bereich der vulkanischen Gesteine des Hegaus. Insbesondere der Gehängeschutt am Hohentwiel und Hohenkrähen hat erstaunliche Fluoreszenz-Effekte durch das oberflächlich verbreitete Vorkommen rezenter Uran-Opale dargeboten. Die Suche nach eigentlichen Uranmineralien auf den Klüften der Phonolithe erbrachte weder im Hegau noch für den Kaiserstuhl einen Erfolg. Offenbar ist das durch die Verwitterung aus dem Gestein freigesetzte Uran vorwiegend von dem Kieselgel der Opale durch Adsorption aufgenommen worden, so daß seine Spuren in besondere chemische Verbindungen nicht eintreten konnten.

1. Basaltische Gesteine und Deckentuffe

Ansehnliche, mit den Funden im Kaiserstuhl vergleichbare Hyalit-Stufen sind aus dem Hegau nicht bekannt. Schon v. LEONHARD (1821, S. 135) hat „Halbopal auf Chalcedon" vom Hohentwiel erwähnt. Dieser Hinweis dürfte sich auf das auch neueren Autoren bekannte Vorkommen des Minerals im Deckentuff an der Süd- und Westflanke des Phonolithstockes beziehen. In späterer Zeit sind verschiedene Opalarten und mit ihnen Hyalit insbesondere von LEUZE (1886; S. 64/65, 1889, S. 310 und 330/331) aus dem Deckentuff des Roseneggs bei Rielasingen beschrieben worden (vgl. auch 1898, S. 24; FOHR 1883, S. 13). Ferner sei mit ERB (1931, S. 40/41) auf das verbreitete Vorkommen von Kieselsinter und Opal unweit Weiterdingen hingewiesen. In den Basalten und Phonolithen des Hegaus ist der Hyalit hydrothermaler Provenienz nach VETTER (1937, S. 123-131) selbst bei mikroskopischer Inspektion eine nur untergeordnete Erscheinung. Auch sind primäre Mineralien dieser Gesteine unter dem Einfluß der heißen Wässer lediglich in geringem Umfang zu Opal umgewandelt worden (S. 103-111). Die in den alten Sammlungen befindlichen SiO_2-Hydrogele aus den Deckentuffen des Hegaus werden selbst durch das kurzwellige UV-Licht zu keiner grünen Fluoreszenz angeregt [5]). Im alten Steinbruch am Südhang des Hohentwiels fand ich eine Kluft mit uranfreiem Hyalit auf calcitischem Substrat.

Von den Basalten und ähnlichen, ebenfalls uranarmen Gesteinen im Hegau ist besonders der Ankaratrit des Höweneggs der hydrothermalen Mineralisation ausgesetzt gewesen [6]). Als Neubildung findet sich fast nur Calcit, nicht selten auch in der Sinterform. Mit Ausnahme des Natroliths gehören Zeolithe zu den vereinzelt auftretenden Mineralien (vgl. SPITZ 1930, S. 54). Bei der nächtlichen Suche mit der UV-Lampe ergaben sich keine Hinweise auf das Vorkommen uranhaltiger Kieselgele. Der Ankaratrit enthält gelegentlich bis zu nußgroße Calcit-Mandeln, die von Hyalit-Schmelz überzogen und in ein schwarzes Gesteinsglas eingebettet sind. Auch ihre Oberfläche wird nicht zu grüner Fluoreszenz angeregt. Das anstehende Gestein und der Gehängeschutt der Basaltstöcke des Hohenhöwens und Hohenstoffeln haben bei der nächtlichen Begehung mit der UV-Lampe keine auf das Vorkommen uranhaltiger Kieselgele deutenden Effekte gezeigt.

Aus dem Deckentuff des Roseneggs bei Rielasingen kennt man seit 1848 eigentlichen Hyalit und ähnliche SiO_2-Mineralien, z. B. durchscheinenden Chalcedon, als traubige Überzüge auf Calcit. Bei der nächtlichen Begehung der Aufschlüsse mit der UV-Lampe ist nur höchst selten ein von uranhaltigen Kieselgelen bewirkter, schwacher bis diskreter Fluoreszenz-Effekt bemerkbar gewesen. So fanden sich im alten Steinbruch am südwestlichen Sporn des Roseneggs nach langem Suchen einzelne Gesteinsstücke, deren Calcit-Krusten von einem dünnen Hyalit-Schmelz überzogen sind und winzige Milchopal-Perlen tragen. Auch aus dem Schutt des aufgelassenen Steinbruchs am Nordhang konnte eine solche, als Bruchstück einer Spaltenfüllung erkennbare Stufe entnommen werden. An beiden Stellen ist das SiO_2-Hydrogel über carbonatischem Substrat in Klüften des Deckentuffs entstanden, und zwar nicht in jüngster Zeit, sondern als hydrothermales Produkt der erdgeschichtlichen Vergangenheit. Nach der geringen Intensität der nur im kurzwelligen UV-Licht wahrnehmbaren spezifischen Fluoreszenz beträgt der Urangehalt allenfalls 0,002 %. Die im östlichen Abschnitt des Rosenegg-Südhanges gelegenen früheren Fundstellen der bekannten Pseudomorphosen von Calcit, Dolomit und Quarz nach Sulfat-Mineralien und Aragonit sind nicht mehr zugänglich (vgl. LEUZE 1889; S. 308/309, 313 u. 332).

[5]) Belegstücke z. B. im Rosgarten-Museum zu Konstanz (Slg. L. LEINER).

[6]) Nach LEOPOLD (1940; S. 113, 118 u. 122) enthält der Nephelin-Melilith-Ankaratrit des Höweneggs 35,55 % SiO_2 und nur 0,7 % K_2O. Die geringe Radioaktivität steht mit dem basischen Charakter und der Kaliarmut des Gesteins im Zusammenhang.

2. Phonolithe

Das Vorkommen von SiO_2-Hydrogelen im Bereich der Phonolithe des Hegaus ist SCHALCH (1883) nicht entgangen [7]). Die Durchsicht der alten Sammlungen nach Hyaliten und ähnlichen Mineralien dieser Herkunft, die im gefilterten UV-Licht eine Uran-Fluoreszenz zeigen, war erfolglos. Im anstehenden Gestein und auf seinen mit Natrolith oder anderen hydrothermalen Mineralien ausgefüllten Klüften wurde im Gegensatz zu den Vorkommen im Kaiserstuhl bei der nächtlichen Prospektion kein spezifischer Effekt bemerkt. Indessen konnten an drei Örtlichkeiten in der Jetztzeit entstandene Uran-Opale festgestellt werden.

a) Hohentwiel

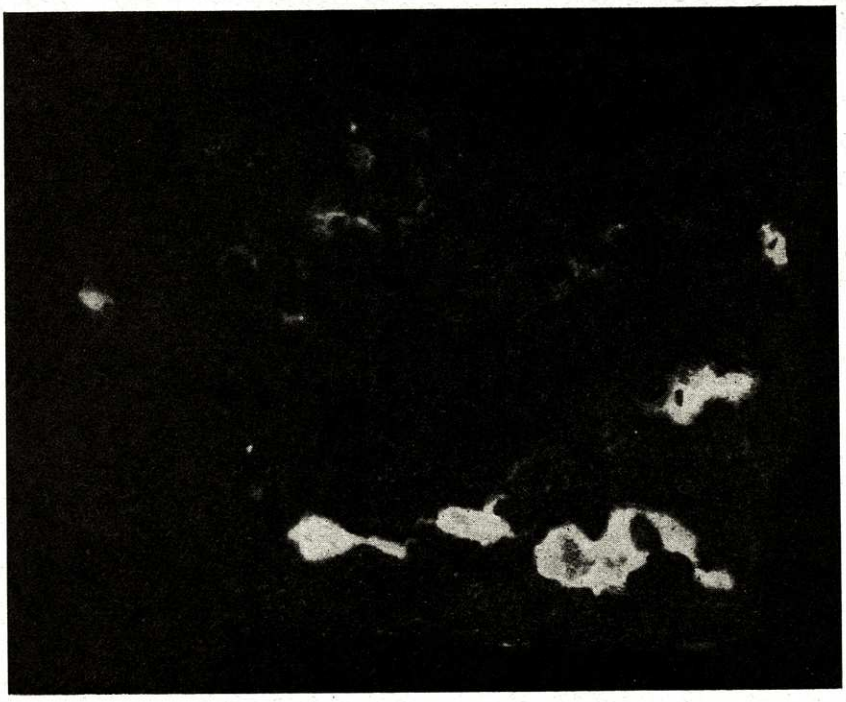
Vor der Nordwestwand dieses Phonolithstockes fanden sich in dem von der Verwitterung wenig beeinflußten, vor etwa 150 Jahren angehäuften Steinbruchschutt lediglich einzelne Phonolithstücke, die durch das kurzwellige UV-Licht zu einem auf kleine Flecken beschränkten grünlichen Leuchten angeregt werden. An den betreffenden Stellen befinden sich unmittelbar auf dem Gestein dünne, in der Mehrzahl wenig deutliche Opalkrusten. Sie sind mitunter von der Beschaffenheit des traubigen Hyalits, gewöhnlich aber fast glatt und milchig getrübt. Im langwelligen UV-Licht ist eine nur diskrete Fluoreszenz oder kein Effekt zu bemerken. Die Opalsubstanz haftet auch auf frischen Bruchflächen des Phonoliths und hat pflanzliche Objekte, insbesondere Wurzelfasern und Pilzhyphen umkrustet. Demnach ist sie nicht im anstehenden Gestein entstanden, sondern muß als Neubildung in dem von Tageswässern durchfeuchteten Steinbruchschutt gedeutet werden (vgl. Taf. I).

Verbreitet sind Opalkrusten am Ostfuß des Hohentwiels über dem Fahrweg, und zwar besonders in der höchsten, lockeren und lehmfreien Schicht des Gehängeschutts. Sie befinden sich bei ungestörter Lagerung vorwiegend auf der Unterseite der Scherben des angewitterten Phonoliths. Die weißliche Opalsubstanz haftet unmittelbar auf dem Gestein; nur selten ist etwas Kalksinter oder Allophan vorhanden. Mitunter findet sich Hyalit als dünner Schmelz und von feintraubiger Beschaffenheit. In vielen, insbesondere den fleckigen Opalkrusten sind Pilzhyphen eingeschlossen. Auf der Mehrzahl der Scherben wird die Opalsubstanz nur vom kurzwelligen UV-Licht zu einem deutlichen, grünen Leuchten angeregt. Allerdings zeigen manche Gesteinsstücke die Erscheinung auch bei 366 m Mikron in erheblicher Intensität.

b) Hohenkrähen

Die nächtliche Untersuchung des Gehängeschuttes am Ostfuß des Berges mit der UV-Lampe ergab besonders eindrucksvolle Fluoreszenz-Effekte. Etwa der zehnte Teil der an der Oberfläche liegenden Gesteinsstücke erstrahlt in meergrünem Licht, das einzelne Flecke einnimmt oder sich über größere Flächen erstreckt. An den betreffenden Stellen haften bis zu 1,2 mm dicke Krusten eines gewöhnlich weißen, aber auch grauen oder bläulichen Opals von feinwarziger bis traubiger Beschaffenheit. Sie sitzen unmittelbar auf dem Gestein und sind häufig von einem kreidigen Kalksinter bedeckt. Ferner ist zerreiblicher Opal im Gemenge mit Allophan und Carbonat vorhanden. Eigentlicher Hyalit findet sich nur vereinzelt als ein feiner Schmelz. Nicht selten sind Bruchstücke des Gesteins nahezu vollkommen von dem Opal- und Kalksinter umgeben. Manche Krusten des Kieselgels schließen Wurzelfasern oder Pilz-

[7]) „Auch Kieselsäure in dünnen Überzügen und ringförmigen Ansätzen, seltener als Chalcedon oder Hyalith stellt sich namentlich am Hohentwiel nicht selten auf Klüften des Phonoliths ein" (S. 102).



Textabbildung 1

Wiedergabe des durch die Figur 1 der Tafel II veranschaulichten, beginnenden Flechtenbewuchses auf angewittertem Phonolith vom Hohenkrähen im kurzwelligen UV-Licht. Die in der Intensität unterschiedlichen Effekte der grünen Fluoreszenz sind an die durch Uran-Opal inkrustierten, jungen Hyphen-Thallome geknüpft und erscheinen als weiße Stellen. — Etwa 2mal vergrößert (nach KIRCHHEIMER 1959, Textabb. 7).

hyphen ein. Die Fluoreszenz ist unterschiedlich, aber überwiegend wesentlich stärker als die der Hyalit-Stufen vom Hohentwiel (vgl. Taf. II, Fig. 1 u. Textabb. 1). Auch im langwelligen UV-Licht kann das grüne Leuchten mitunter in bemerkenswerter Intensität festgestellt werden; die fluorimetrische Analyse einer ausgesuchten Probe erbrachte 0,08 ± 0,008 % U. Bei vielen der mit Kalk übersinterten Gesteinsstücke erscheint die Fluoreszenz erst nach dessen Entfernung.

Die oberen, reichlich durchwurzelten Lagen des anstehenden Gehängeschuttes zeigen bis zu einer Tiefe von etwa 0,8 m locker gefügte, plattige Gesteinsscherben ohne ein sandiges oder lehmiges Bindemittel; nur vereinzelt sind ihm größere Blöcke eingeschaltet. Der uranhaltige Kieselsinter haftet vorwiegend an der Unterseite. Indessen können auch die oberen Flächen und die seitlichen Bruchstellen der vorwiegend bis zu handgroßen Scherben von dem Mineral überzogen sein, insbesondere im Bereich des durchlüfteten und feuchten obersten Horizonts unter der spärlichen Bodenbildung. Bei der nächtlichen Inspektion abgerutschter Schuttmassen mit der UV-Lampe wird das Überwiegen des Vorkommens uranhaltigen Kieselsinters auf der Oberseite der Gesteinsscherben lediglich vorgetäuscht.

c) Mägdeberg

Der anstehende Phonolith zeigt bei der nächtlichen Begehung mit der UV-Lampe in Übereinstimmung mit dem Befund im Bereich des Hohentwiels und Hohenkrähens keine auf das Vorkommen uranhaltigen Sinters deutende Fluoreszenz. Im Ruinenschutt

des gegen das Ende des 18. Jahrhunderts aufgelassenen Schlosses fanden sich an durchfeuchteten Stellen zahlreiche Gesteinsstücke mit dünnen, fleckig verteilten weißlichen Opalkrusten. Diese haften besonders an der Unterseite und besitzen häufig eine dem Hyalit entsprechende Beschaffenheit. Vielfach ist nur ein dünner, feinstwarziger Kieselschmelz vorhanden. Verbreitet sind Einschlüsse von Wurzelfasern, Pilzhyphen und pflanzlichem Detritus unbestimmter Zugehörigkeit. Die grüne Fluoreszenz ist im kurzwelligen UV-Licht allgemein anzutreffen. Bei 366 m Mikron Wellenlänge werden nur wenige der fleckigen Opalkrusten zu einem deutlichen Leuchten angeregt.

Wahrscheinlich hat schon FISCHER (1862, S. 216) den Kieselsinter vor Augen gehabt. Vom Hohenkrähen erwähnt er „eine dünne schneeweiße Kruste" auf Phonolith und vergleicht sie mit dem BREITHAUPT'schen Malthacit, der um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts nach DUFRÉNOY (1845, S. 110-116) zu den Kieselgelen gestellt wurde, heute allerdings als ein wasserhaltiges Tonerdesilikat der Allophan-Gruppe gilt. Der dem Hyalit mitunter sehr ähnliche, aber Al-haltige Allophan ist im Hegau nur untergeordnet vertreten. Auch dieses Mineral kann eine im kurzwelligen UV-Licht deutliche, grüne Fluoreszenz zeigen (vgl. WALENTA 1959, S. 45).

Die nähere Untersuchung der in vielen Opalkrusten der drei Vorkommen befindlichen winzigen Fäden hat ergeben, daß sie zu Pilzen gehören. Das Gestein ist an manchen Stellen von verzweigten Hyphen filzartig übersponnen worden. Die lockeren Mycelien sind als das Primärstadium des Bewuchses mit Krustenflechten zu deuten. Ihre weitere Entwicklung konnte nicht eintreten, da die jungen Thallome unter Verdickung der Ränder und einer Sklerose der Hyphen der Inkrustation durch die Opalsubstanz anheimfielen [8]). Das häufige Auftreten des Sinters in einer fleckigen, landkartenähnlichen Verteilung ist von der Wuchsform der Mycelien bestimmt worden. Die Hyphengeflechte konnten die den Gehängeschutt durchfeuchtenden, kiesel- und uranhaltigen Wässer festhalten. Auch ist nicht ausgeschlossen, daß die Ausscheidungen der Flechtenpilze an den Bewuchsstellen das Uran aus dem Gestein gelöst und die Inkrustation durch chemische Reaktionen gefördert haben. Welchen Gattungen der epilithischen Lichenen die opalisierten Thallome angehören, kann aus der Beschaffenheit der Mycelien nicht erschlossen werden. Die Besonderheit des Befundes ergibt sich aus dem Hinweis, daß im Schrifttum nur über die Anreicherung und Inkorporation von Uran oder anderen radioaktiven Elementen in organischer Substanz berichtet wird. Die Inkrustation pflanzlicher Lebewesen durch ein uranhaltiges Mineral dürfte noch nicht mitgeteilt worden sein (vgl. Taf. II, Fig. 2 u. 3).

Unter neugebildetem Hyalit befindliche Krustenflechten konnte bereits GLOCKER (1829, S. 561-563) beobachten. Das Mineral hat am Johnsberg bei Zobten in Niederschlesien die auf verwittertem Serpentin haftenden Thalli einer *Lecidea*-Art schmelzähnlich überzogen [9]). Nach meinen Analysen zeigt der Hyalit dieses bekannten Vorkommens selbst im kurzwelligen UV-Licht nur gelegentlich diskrete Fluoreszenz; ein nennenswerter Urangehalt kann im Hinblick auf den ultrabasischen Charakter des Substrats auch nicht erwartet werden (1959, S. 44 u. 46). Wahrscheinlich ist der Vorgang einer Inkrustation von Flechten durch Kieselgel in der Jetztzeit verbreitet, wenn auch nicht immer im Zusammenhang mit der Anreicherung des Urans. Die von F. SCHALCH im Jahr 1883 erwähnten „ringförmigen Ansätze" eines Kieselgels auf Phonolith des Hohentwiels dürften ebenfalls opalisierte Hyphen-Thallome gewesen sein.

[8]) Durch Ätzen der Kieselkrusten mit Flußsäure können die Hyphen und sonstigen pflanzlichen Einschlüsse freigelegt werden; auch heiße Kalilauge ist für diesen Zweck geeignet.

[9]) LANDGREBE (1870, S. 207) erwähnt für die Örtlichkeit irrtümlich Basalt als Unterlage der Flechten und ihrer Hyalit-Überzüge.

Nach meinen Feststellungen sind die uranhaltigen Kieselgele der Phonolithe des Hegaus im Gegensatz zu den Hyaliten des Kaiserstuhls keine Produkte kieselsaurer Thermen aus der erdgeschichtlichen Vergangenheit. Vielmehr müssen sie bei der Verwitterung des Gesteins von kiesel- und uranhaltigen Tageswässern abgesetzt worden sein, und zwar vorwiegend im Gehängeschutt. Nicht nur das Vorkommen der opalisierten Hyphen-Thallome, sondern auch die Abwesenheit einer mit dem Scintillometer meßbaren Gamma-Aktivität bezeugt das sehr jugendliche Alter dieser Sintergebilde. Mit Ausnahme der frischen Bruchstücke vor der Nordwestwand des Hohentwiels zeigt ihre Gesteinsunterlage eine löcherige Beschaffenheit, die auf eine Auslaugung mineralischer Substanz hinweist. Ohne Zweifel hat die Verwitterung neben der Kieselsäure auch einen Teil des in der Grundmasse des Phonoliths enthaltenen Urans freigesetzt, so daß das neugebildete SiO_2-Hydrogel die Spuren des Schwermetalls durch Adsorption aus den Tageswässern entnehmen konnte. Vor der Nordwestwand des Hohentwiels waren die Voraussetzungen für das Entstehen eines Opalsinters im Bereich des von der Verwitterung nur wenig betroffenen Gesteins lediglich sehr beschränkt, und zwar bei beginnendem Flechtenbewuchs gegeben.

Die Fluoreszenz-Spektren der hydrothermalen Hyalite aus dem Kaiserstuhl und der im Hegau während der Jetztzeit entstandenen uranhaltigen Kieselgele sind übereinstimmend beschaffen. Sie zeigen nach meinen Darlegungen die für Opalsubstanzen mit dem durch Adsorption in der Hydrogel-Phase an sie gelangten Uranyl-Komplex bezeichnenden Einzelheiten (1959; S. 42, 45, 47 u. Textabb. 8).

Zusammenfassung

Die seit 1927 bekannte, hohe Radioaktivität der Phonolithe des Hegaus beruht nach meinen Feststellungen auf ihrem erheblichen Urangehalt, der 350 g/t erreicht. Dagegen sind die basaltischen Gesteine und die Deckentuffe dieses Vulkangebietes mit bis zu 2 g U/t als uranarm zu bezeichnen.

Im Bereich der Phonolithe des Hegaus finden sich uranhaltige Kieselgele, und zwar neben Hyalit besonders verbreitet in der Sinterform. Diese Uran-Opale sind im Gegensatz zu den auf Klüften der vulkanischen Gesteine des Kaiserstuhls als hydrothermale Produkte auftretenden Hyaliten überwiegend Gebilde der Jetztzeit und von kiesel- und uranhaltigen Tageswässern im Gehängeschutt abgesetzt worden. Nicht selten hat das unmittelbar auf dem Gestein abgeschiedene Kieselgel eine Inkrustation der jungen Hyphen-Thallome von Flechten bewirkt. Im Zusammenhang mit den basaltischen Gesteinen und Deckentuffen des Hegaus ist uranhaltige Opalsubstanz nur vereinzelt festgestellt worden, und zwar als ein hydrothermales Mineral über Calcit-Substrat auf Klüften.

Die neuen Befunde besitzen lediglich wissenschaftliche Bedeutung. Eine wirtschaftliche Verwertung des Urangehaltes der auch Nb-reichen Phonolithe ist aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen. In den als dünne Bestege auftretenden SiO_2-Hydrogelen sind lediglich sehr geringe Uranmengen festgelegt worden. Die von diesen Mineralien bewirkte rezente U-Konzentration dürfte für das gesamte Gebiet nicht wesentlich mehr als 10 kg betragen.

Schriftennachweis

DUFRÉNOY 1845: Traité de Minéralogie. — Bd. 2, Paris 1845.

ERB (L.) 1931: Erläuterungen zu Blatt Hilzingen der Geologischen Spezialkarte 1:25 000 von Baden. — Freiburg i. Br. 1931.

FISCHER 1862: Über die Trachyte und Phonolithe des Höhgaus und Kaiserstuhls nebst ihren Mineral-Einschlüssen. — Ber. Verh. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. **2** (1862).

FLEISCHER, MURATA, FLETCHER & NARTEN 1952: Geochemical association of Niobium (Columbium) and Titanium and its geological and economic significance. — U. S. Geolog. Survey Circ. **225** (1952).

FOHR 1883: Die Phonolithe des Hegaus mit besonderer Berücksichtigung ihrer chemischen Konstitution. — Dissertation Univ. Würzburg 1883.

FRAAS (O.) 1879: Begleitworte zum Atlasblatt Hohentwiel der Geognostischen Spezialkarte 1:50 000 von Württemberg. — Stuttgart 1879.

GLOCKER 1829: Über den schlesischen Hyalith. — N. Acta Acad. Caes. Leop. Carol. **14**, P. II (1829).

HIRSCHI 1920: Radioaktivität einiger Schweizergesteine III. — Schweiz. Min. Petrogr. Mittlg. **1** (1920).

KIRCHHEIMER 1953: Weitere Untersuchungen über das Vorkommen von Uran im Schwarzwald. — Abh. Geolog. Landesamt Baden-Württemberg **1** (1953).

– 1957: Bericht über das Vorkommen von Uran in Baden-Württemberg. — Abh. Geolog. Landesamt Baden-Württemberg **2** (1957).

– 1959: Über radioaktive und uranhaltige Thermalsedimente, insbesondere von Baden-Baden. — Abh. Geolog. Landesamt Baden-Württemberg **3** (1959).

LAIS 1933: Der Kaiserstuhl. — Freiburg i. Br. 1933.

LANDGREBE 1870: Mineralogie der Vulkane. — Kassel und Leipzig 1870.

LEDERER 1927: Über den Radium- und Thoriumgehalt der vulkanischen Gesteine des Hegaus. — Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. **27** (1927).

v. LEONHARD (C.C.) 1821: Handbuch der Oryktognosie. — Heidelberg 1821.

LEOPOLD 1940: Die chemischen und physiographischen Beziehungen der basischen Eruptiva der Alb, des Hegaus und des Polzengebietes (Sudetenland) zu den Ankaratriten Madagaskars. — Jahresber. Mittlg. Oberrh. Geolog. Ver. N. F., **29** (1940).

LEUZE 1886: Die Pseudomorphosen vom Rosenegg bei Rielasingen im Hegau. — Jahresh. Ver. f. vaterl. Naturkde. Württbg. **42** (1886).

– 1889: Die Mineralien und Pseudomorphosen des Roseneggs. — Jahresh. Ver. f. vaterl. Naturkde. Württbg. **45** (1889).

– 1898: Über optisch interessante Mineralien von Brasilien, sowie über neue Funde am Rosenegg. — Ber. Verslg. Oberrh. Geolog. Ver. **31** (1898).

MEYER (G.) 1914: Über den Radiumgehalt einiger Gesteine des Kaiserstuhls und des Schwarzwaldes. — Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. **20** (1914).

PAHL 1933: Bestimmung des Radiumgehaltes in unaufgeschlossenen Gesteinen mit dem Geiger-Müller-Zählrohr. — Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. **32** (1933).

RANKAMA 1948: On the geochemistry of Niobium. — Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A.; III, **13** (1948).

v. SANDBERGER 1885: Untersuchungen über Erzgänge. — II. Heft, Wiesbaden 1885.

SCHALCH 1883: Geologische Beschreibung der Kantone St. Gallen, Thurgau und Schaffhausen (II. Teil). — Beitr. Geolog. Kte. d. Schweiz **19** (1883).

SEITH 1927: Über den Radium- und Thoriumgehalt der Phonolithe des Kaiserstuhls. — Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. **27** (1927).

SPITZ 1930: Erläuterungen zu Blatt Möhringen der Geologischen Spezialkarte 1:25 000 von Baden. — Freiburg i. Br. 1930.

VETTER 1937: Die Eruptivgesteine des Hegaus, ihre hydrothermalen Umwandlungen und Neubildungen. — N. Jahrb. f. Mineralogie usw. Abt. A, **73** (1937).

WALENTA 1959: Die sekundären Uranmineralien des Schwarzwaldes. — Jahresh. Geolog. Landesamt Baden-Württemberg **3** (1959).

ZESCHKE 1956: Prospektion von Uran- und Thoriumerzen. — Stuttgart 1956.