

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.	55	S. 349—364	5 Abb.	3 Tab.	Freiburg, 1965
-----------------------------------	----	------------	--------	--------	----------------

# Eine Tuffbreccie vom Henkenberg bei Niederrotweil und ihre Bedeutung für die Magmatologie des Kaiserstuhls

von

**Jörg Keller, Freiburg i. Br.**

Mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Eine Tuffbreccie wird beschrieben, der in frühen Arbeiten zur Geologie des Kaiserstuhls erhöhte Aufmerksamkeit gezollt wurde, die aber wohl über hundert Jahre lang nicht mehr aufgeschlossen war. Diese Tuffbreccie verdankt ihre Entstehung der Eruption eines phonolithischen Magmas. Mitgeführte Anhäufungen frühgeschichtlicher Minerale (igneous cumulates, homöogene Einschlüsse) zeigen, daß dieses phonolithische Magma vor der Eruption aus einem tephritischen hervorgegangen ist. Vergleiche mit anderen Kaiserstuhlgesteinen wollen die Möglichkeit aufzeigen, sämtliche Ganggesteine der phonolithischen Familie durch einfache Differentiationsprozesse aus einem tephritischen „Hauptmagma“ abzuleiten. Gesteine einer „tephritisch-essexitischen Familie“ und einer „phonolithischen Familie“ rücken damit genetisch viel näher zusammen als angenommen.

## Einleitung

Seit Beginn der wissenschaftlich-geologischen Arbeit im Kaiserstuhl war es ein Anliegen aller Autoren, die Entstehung der pyroklastischen Gesteine (Tuffe, Tuffbreccien, Schlackenagglomerate) richtig zu deuten und Kriterien für eine genetische Unterteilung der vielfältigen Erscheinungen zu finden.

Ein erster Versuch in dieser Richtung wurde schon im Jahre 1829 von OTTO EISENLOHR unternommen. EISENLOHR kannte zwei Arten von „Conglomeraten“:

„Conglomerate der ersten Art“ bestehen ausschließlich aus gleichartigen „Doleritstücken“ (das sind Tephrite nach der heutigen Nomenklatur).

„Conglomerate der zweiten Art“ kommen nur am Henkenberg bei Niederrotweil vor und sind zusammengesetzt aus verschiedensten Komponenten ganze und zerbrochene Augite, Hornblende, Glimmer, Talk, Stücke von Bitterkalk und kohlen-saurem Kalk, Titaneisen, Quarz, Jaspis, Feldspat, grauer Kalk, Jurakalk (ganz ähnlich dem, welcher die Gebirge in der Nähe des Kaiserstuhls zusammensetzt), Sandstein, Granit, Gneis, Syenit,

große Massen von Dolorit und zuletzt noch eine zahllose Menge der mannigfaltigen Gerölle, die im Diluvialsand des Rheintals sich finden und unter dem Namen Rheinkiesel bekannt sind.“

J. SCHILL (1854) hat dieses Vorkommen vom Henkenberg wohl als letzter gesehen, seither wird es in allen Beschreibungen nur noch mehr oder weniger ratlos zitiert. F. GRAEFF (1891) nennt EISENLOHRs Befund umstritten, A. KNOP (1892) nennt ihn zweifelhaft. M. PFANNENSTIEL (1933) erwägt eine Verwechslung mit Rheinschottern, die sich mit Hangschutt aus dem Kaiserstuhl verzahnen.

Für den Verfasser haben EISENLOHRs Beobachtungen dadurch wieder an Aktualität gewonnen, weil im Burkheim-Sponeck-Gebiet eine völlig entsprechende Zweiteilung der dortigen pyroklastischen Gesteine durchführbar war und genetisch gedeutet werden konnte (JÖRG KELLER 1964):

1. Pyroklastika, die nur aus gleichartigen Tephritkomponenten bestehen, wurden als Wurf Schlackenablagerungen bezeichnet. Sie verdanken ihre Entstehung einer Schlackenwurf dauerfähigkeit. Diese Gesteine entsprechen EISENLOHRs „Conglomeraten der ersten Art“

2. Produkte paroxysmaler explosiver Durchbrüche sind heterogen zusammengesetzte Tuffbreccien, der Beschreibung nach vergleichbar den „Conglomeraten zweiter Art“ vom Henkenberg.

Am Burgberg und Haberberg bei Burkheim führen glasige Eruptivgesteinskomponenten im Hangenteil einer solchen Tuffbreccie Einsprenglinge von Ägirinaugit, Titanit, Melanit, Apatit, Leucit und Hauyn. Diese Mineralien beweisen, daß das erumpierende Magma der „phonolithischen Familie“ (W. WIMMENAUER 1957) angehörte und die chemische Zusammensetzung eines Hauyn-Leucitophyrs besaß. Dennoch flossen in der Folge aus demselben Schlot tephritische Lavaströme aus. Also waren in dem im Zufuhrkanal stehenden Tephritmagma Differentiationsprozesse abgelaufen, welche in den höchsten Teilen dieses Magmas einen leucitophyrischen Chemismus erzeugten. Der polygene Charakter der Tuffbreccie folgt aus der gegenüber einem Tephritmagma wesentlich erhöhten Explosivität phonolithischer Magmen und der deshalb viel tieferen Lage des Explosionspunktes.

Neue Aufschlüsse am Henkenberg brachten reichlich Material zutage und boten Gelegenheit, zu prüfen, ob diese genetische Deutung auch auf die „umstrittene“ Tuffbreccie EISENLOHRs übertragbar ist.

### Die Henkenberg-Tuffbreccie

Auf der NW-, W- und SW-Seite des zwischen Burkheim und Niederrotweil gelegenen Henkenberges (Abb. 1) fand sich in mehreren Anrissen EISENLOHRs Tuffbreccie wieder, ein graues Gestein, das im makroskopischen Aspekt große Ähnlichkeit mit der Breccie vom Nonnensohl bei Oberschaffhausen hat. Es ist in allen Aufschlüssen gleichartig ausgebildet.

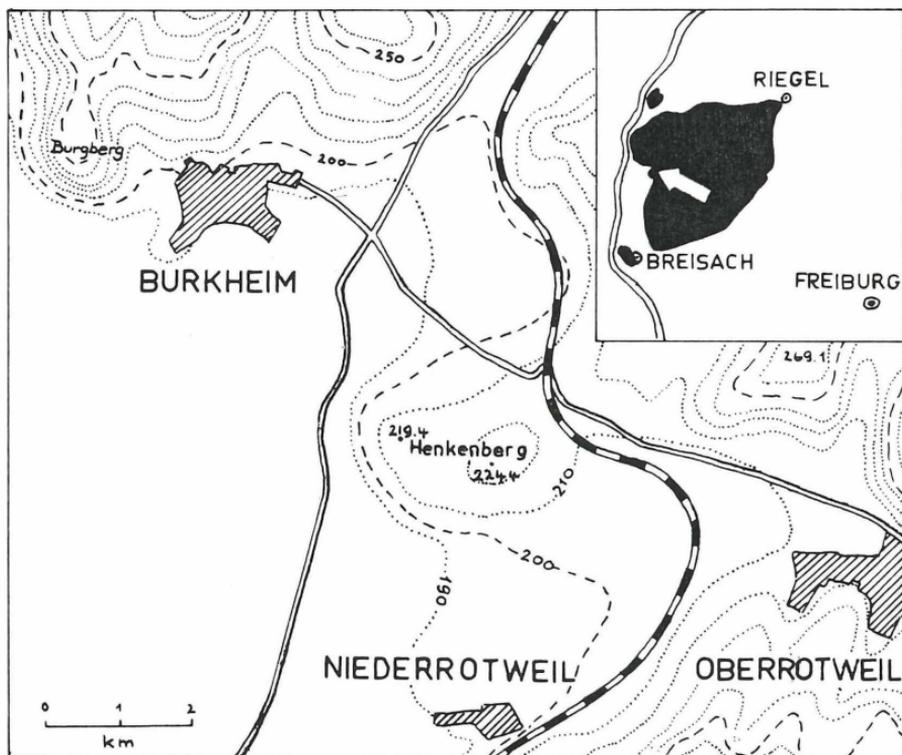


Abb. 1: Lageskizze des Henkenberges zwischen Niederrotweil und Burkheim im westlichen Kaiserstuhl

Die Größe der Komponenten reicht von Blöcken mit über 0,5 m  $\phi$  bis zu feinstzerriebenen Partikeln. Fehlende Schichtung ist ebenso charakteristisch wie fehlende Sortierung. Man kann die Breccie chaotisch nennen. Abb. 2 zeigt eine Handstückaufnahme.

Für die Mächtigkeit kann nur näherungsweise ein Minimalwert angegeben werden. Er dürfte bei ca. 15 m liegen.

Obleich der Gesteinsinhalt der Breccie ausgesprochen polygen ist, ist er doch nicht so mannigfaltig wie von EISENLOHR angegeben. Neben verschiedenartigsten Tephriten konnten Gesteine der phonolithischen Familie mit Hauyn-, Leucit- und Alkalifeldspat-Einsprenglingen gesammelt werden, außerdem zwei Auswürflinge eines nephelinführenden Apatit-Biotit-Karbonatits.

Auffallend häufig sind einzelne Kristallbruchstücke von Augit, Hornblende, Biotit und Magnetit (letzterer in rundlichen Körnern bis fast 1 cm  $\phi$ ) oder Anhäufungen solcher frühausgeschiedener mafischer Gemengteile, welche

den homöogenen Einschlüssen phonolithischer Ganggesteine (WIMMENAUER 1962, p. 393—396) entsprechen. Diese Auswürflinge bestehen vorwiegend aus Pyroxen und gliedern sich in zwei Gruppen, je nachdem, ob der Pyroxen ein Titanaugit oder ein Ägirinaugit ist.

EISENLOHRs ausgeworfene Grundgebirgs- und Sedimentkomponenten konnten nirgends festgestellt werden. Obgleich zum Beispiel die Tuffe des Limberges zeigen, daß Sediment- und Grundgebirgsauswürflinge auch im westlichen Kaiserstuhl auftreten können, dürfte EISENLOHR am Henkenberg doch eine Verwechslung mit Rheinschottern unterlaufen sein, wie seine Beschreibung es ja schon vermuten läßt. Sande und Kiese des Rheins bedecken nämlich bis 30—35 m über Niederterrassenniveau den ganzen Henkenberg. Eine Aufzählung dort gefundener Gerölle — Granite, Gneise, alpine Kalke, Hauptrogenstein, Gangquarze — liefert leicht die zu EISENLOHRs Liste fehlenden Gesteinsarten.

Überlagert wird diese Tuffbreccie von einem eigenartigen Gestein, das ausschließlich aus runden bis tropfenförmigen Partikeln von 2—10 mm  $\phi$

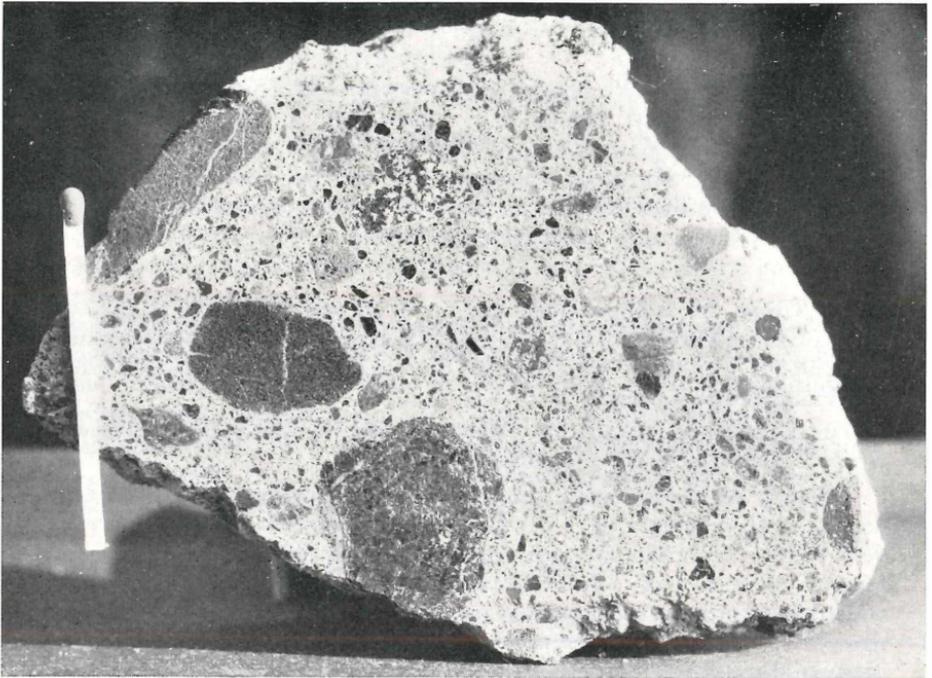


Abb. 2: Handstück der Henkenbergtuffbreccie  
Die drei schwarzen Komponenten sind homöogene Einschlüsse

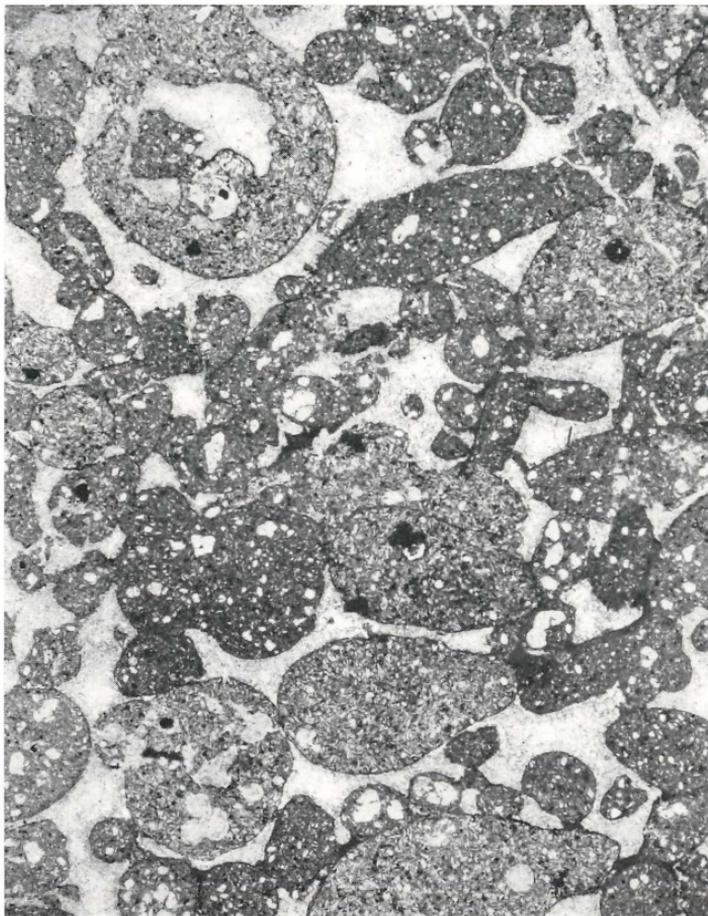


Abb. 3: Phonolithischer Lavatropfentuff vom Henkenberg  
Vergrößerung ca. 7fach, Dünnschliff Nr. H 8. Nicol II

besteht und makroskopisch den Habitus eines Großooliths oder Pisolithtuffs hat. Unter dem Mikroskop zeigt sich, daß die kugelig-tropfenförmigen Gebilde heute zwar völlig aus Calcit bestehen, daß aber eine trachytoide Eruptivgesteinsstruktur erhalten geblieben ist. Es muß sich bei diesem Gestein um einen sekundär karbonatisierten Lavatropfentuff handeln (Abb. 3).

Dieser Lavatropfentuff ist nirgends unmittelbar aufgeschlossen. Eine dichte Lesesteindecke nördlich von Punkt 219.4, unmittelbar über einem größeren Aufschluß der Tuffbreccie, gibt jedoch genügend Sicherheit über die Art seiner Lagerung. Daß der Lavatropfentuff nicht zufällig über der Tuffbreccie liegt, sondern mit deren Entstehung verknüpft ist, wird dadurch an-

gezeigt, daß die Lavatröpfchen vereinzelt auch schon als Komponenten der Tuffbreccie auftreten.

Um charakteristische Schwermineralien zu gewinnen, wurde eine größere Menge dieses Materials aufgearbeitet. Dies erbrachte neben reichlich Apatit vor allem ägirinhaltigen Augit und Titanaugit, Melanit, Titanit und in der Leichtmineralfraktion Alkalifeldspat.

Diese Mineralassoziation ist kennzeichnend für die Gesteine der phonolithischen Familie und beweist, daß die Henkenberg-Tuffbreccie durch die Eruption eines phonolithischen Magmas entstanden ist.

Titanaugit — spezifisches Mineral der essexitisch-tephritischen Familie — unter den homöogenen Einschlüssen zeigt, daß das erumpierende Magma zu Beginn seiner Kristallisation etwa tephritischen Chemismus gehabt haben muß.

Die vollkommene Übereinstimmung dieser Ergebnisse mit den Verhältnissen im Burkheim-Sponeck-Gebiet scheint zu berechtigen, daraus allgemeine Gesetzmäßigkeiten für den Kaiserstuhl — zumindest einmal als Arbeitshypothese — abzulesen:

Polygene Tuffbreccien lassen sich im Kaiserstuhl überall, wo die Genese eindeutig erkennbar ist, von phonolithischen Magmen ableiten. Ein tephritisches Magma ist aufgrund seiner relativ geringen Explosivität nicht in der Lage, sich Aufstiegswege aus größerer Tiefe freizusprennen. Tuffe solcher Tephritmagmen bestehen daher im allgemeinen aus mehr oder weniger gleichartigen Komponenten der oberflächennah anstehenden Gesteine oder unmittelbar aus juvenilem Material. Für phonolithische Magmen muß dagegen eine wesentlich höhere Explosivität angenommen werden. Gewaltige Explosionen aus großer Tiefe lassen polygen zusammengesetzte Tuffbreccien entstehen.

Die Zugehörigkeit der „polygenen Tuffe“ (WIMMENAUER 1959 b) des östlichen Kaiserstuhls wird überprüft werden müssen. Sie werden zur Zeit noch zu den Tephriten gestellt, obgleich ihr Habitus stark an die erwähnten Tuffbreccien erinnert. Aber auch in dieser Gruppe hat WIMMENAUER (1959 b, p. 135) bereits bei einem Vorkommen, den polygenen Tuffen von Wasenweiler, kugelige Lavapartikel mit Mineralien der phonolithischen Familie beschrieben und dieses Vorkommen deshalb zu den phonolithischen Tuffen gestellt.

Ebenfalls zu den phonolithischen Tuffen gehören polygene Tuffe am Limberg bei Sasbach (WIMMENAUER 1959 b).

Aber noch ein weiteres Ergebnis soll allgemein gefaßt und in dieser Verallgemeinerung anschließend an den Verhältnissen im gesamten Kaiserstuhl überprüft werden:

Phonolithische Ganggesteine (Gangphonolithe, Tinguait, Hauynophyre, Leucitophyre) unterscheiden sich zwar mineralogisch, also im Mineralbestand, deutlich von den essexitisch-tephritischen Gesteinen (Tephrite, Essexite, The-

ralithe, Mondhaldeite usw.), magmatologisch und petrochemisch schließen sie sich jedoch zwanglos an diese an. Beide Magmen liegen nicht, wie bisher angenommen, schon sehr früh (das ist bei Beginn der magmatischen Tätigkeit im Kaiserstuhl) in zwei absolut getrennten Herden vor, sondern phonolithische Magmen konnten sich jederzeit durch Differentiation aus einem tephritisch-essexitischen „Hauptmagma“ bilden. Welcher Art diese Differentiationsprozesse sein können, soll in den nächsten Abschnitten dargelegt werden.

### Die homöogenen Einschlüsse

Diese Auswürflinge sind in der Regel nuß- bis faustgroß und makroskopisch meist einheitlich schwarz. Nach dem Mineralbestand liegen zwei Typen vor:

#### 1. Gewöhnlicher Augit bis Titanaugit als vorherrschendes Mineral

Partienweise wird der Augit nach Art einer magmatischen Reaktionsserie durch Hornblende und Biotit ersetzt. In diesem Fall tritt Titanit als xenomorphe Spätbildung dazu. Erz und Apatit sind immer reichlich vorhanden, in einigen Exemplaren fällt Nephelin als wesentlicher Gemengteil auf.

Die Ausscheidungsabfolge ist:

Erz  
Titanaugit  
Apatit  
Nephelin

#### 2. Ägirinhaltiger Augit und Melanit als vorherrschende Mineralien

Der Augit ist idiomorph oder isometrisch-körnig, seltener treten längs-prismatische oder nadelige Formen auf. Der Melanit ist unregelmäßig-buchtig ausgebildet. Apatit tritt immer reichlich auf, teils in Körnern, teils in langen idiomorphen Nadeln. Dazu können treten: Nephelin, Titanit, Analcim, Hauyn. Calcit wird in beiden Typen homöogener Einschlüsse als sekundärer Gemengteil gewertet.

Für die Ausscheidungsabfolge kann angegeben werden:

Apatit  
Nephelin, Ägirinaugit  
Melanit  
Hauyn  
Analcim

Übergänge zwischen Typ 1 und Typ 2 sind dadurch gegeben, daß in einigen Auswürflingen Titanaugite mit grünem Saum auftreten. In anderen

Exemplaren sind die Augite lichtgrün gefärbt (geringer Ägiringehalt) und mit steigender Intensität der Grünfärbung kommen erste kleine Melanitkörner hinzu.

Auffallend ist in beiden Gruppen von homöogenen Auswürflingen der ungewöhnlich hohe Apatitgehalt (Abb. 4).

Die homöogenen Einschlüsse müssen als gravitative Anhäufungen spezifisch schwerer Frühausscheidungen des kristallisierenden Magmas gedeutet werden. Der Ablauf der Kristallisation läßt sich daraus folgendermaßen ableiten:

In einem Tephritmagma, dessen Chemismus einmal charakterisiert sei durch die Niggliwerte einer Probe aus neun Tephriten (Tab. 1, nach WIMMENAUER 1963, p. 265, Analyse 11), kristallisieren Magnetit und Titanaugit und saigern sich gravitativ ab. Nach einiger Zeit muß das alk/al-Verhältnis in der Restschmelze so hoch sein, daß statt des Titanaugits ein ägiringehaltiger Augit

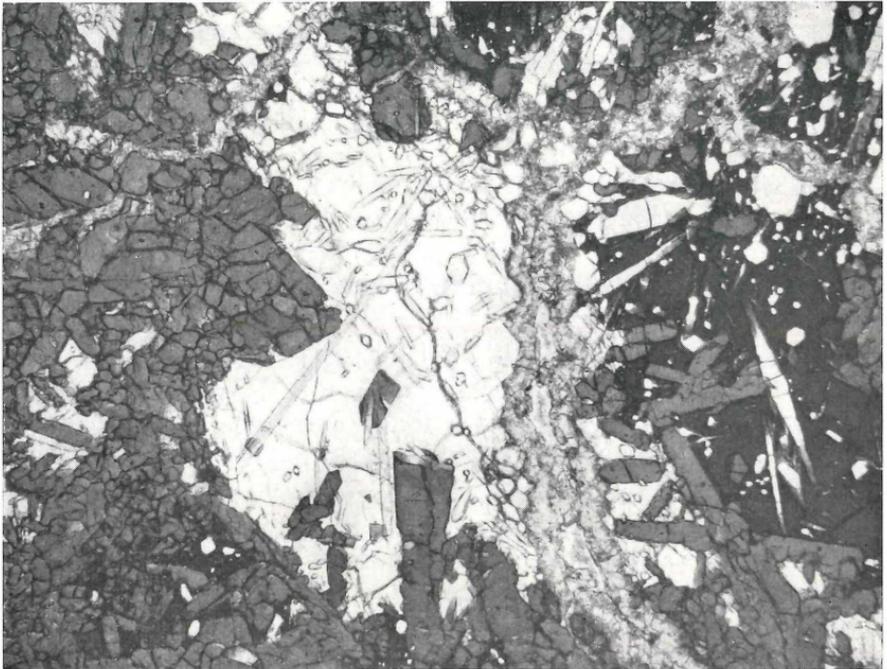


Abb. 4: Homöogener Auswürfling mit Mineralbestand der phonolithischen Familie: Ägirinaugit (dunkelgrau), Melanit (fast schwarz), Nephelin (einzelner weißer Kristall in der Bildmitte), Apatit (weiß, nadelige Längsschnitte und sechseckige Querschnitte)  
Vergrößerung 25 fach, Dünnschliff Nr. H 12. Nicol II

kristallisiert und ebenfalls absinkt. Gleichzeitig erscheinen als Anzeichen niedriger Silifizierungsverhältnisse und eines hohen Ca-Angebots Nephelin, Apatit, Melanit und Titanit. Zum Schluß bilden sich Hauyn und Analcim. In höheren Bereichen ist die Restschmelze höher silifiziert, so daß es zur Bildung von Alkalifeldspat kommt.

Nach diesem Mineralbestand zu urteilen, hatte sich in der Restschmelze der Chemismus eines Gangphonoliths oder Tinguaites herausgebildet. Dieser Chemismus sei durch die mittleren Niggliwerte aus den Analysen phonolithischer Ganggesteine (Analysen 35—38 bei WIMMENAUER 1963, p. 265) gekennzeichnet (Tab. 1).

Tabelle 1

Niggliwerte verschiedener Kaiserstuhlgesteine  
(Analysennummern nach WIMMENAUER 1963, Tab. 24, p. 265)

	si	al	fm	c	alk
Mittel aus 9 Tephriten (Analyse 11)	104	18,2	42,5	30,7	8,6
Mittel aus 2 Gangphonolithen } 2 Tinguaiten } (Analysen 35—38)	136	31,0	23,9	23,4	21,7
Mittel aus 3 Mondhaldeiten (Analysen 20—22)	163,2	35	26	18,8	20,2

### Verlauf der Differentiation

Um einer magmatologischen Deutung der Differentiationsprozesse näherzukommen, seien die theoretisch möglichen Phänomene an den Befunden überprüft.

#### a) Gravitative Kristallisationsdifferentiation

Gravitives Absinken von Pyroxen und Magnetit kann als erwiesen gelten. Zwei Überlegungen zeigen jedoch, daß dieser Prozeß allein noch keinen phonolithischen Chemismus aus einem tephritischen Ausgangsmagma erzeugt: Erstens kann ein Absinken von Titanaugit, obgleich damit Al in geringen Mengen aus der Schmelze entzogen wird, das alk/al-Verhältnis nicht derart ansteigen lassen, daß Ägirinbildung einsetzt. Zweitens liegen in den Mondhaldeiten Gesteine vor, die immer und unbestritten als helle Differentiate eines tephritisch-essexitischen Magmas gedeutet wurden. Also entstehen durch gravitative Differentiation Mondhaldeite, und für die Entstehung von Gangphonolithen aus demselben Ausgangsmagma muß ein wesentlich abgewandelter Differentiationsmechanismus postuliert werden.

Obgleich die Mondhaldeite nach ihrem Mineralbestand eindeutig in die essexitische Familie gehören, liegen petrochemische Ähnlichkeiten zu den Gesteinen der phonolithischen Familie vor. So konnte WIMMENAUER (1963) in jeder der gewählten Darstellungsweisen zur graphischen Charakterisierung der beiden Familien (Abb. 22—24, p. 266—268) die Mondhaldeite nur mit Zwang von den phonolithischen Gesteinen trennen. EIGENFELD (1950) sprach sogar von Heteromorphiebeziehungen zwischen Mondhaldeiten und Tinguaiten. Dabei wurde übersehen, daß die Silifizierung der Mondhaldeite beträchtlich höher ist als die der Tinguaiten, das  $alk/si$ -Verhältnis damit kleiner. Eine Darstellung der Silifizierungsverhältnisse in Abb. 5 soll zeigen, daß wirklich petrochemische Unterschiede bestehen und der verschiedene Mineralbestand weder eine Heteromorphiebeziehung (EIGENFELD 1950) noch eine Konvergenzerscheinung (WIMMENAUER 1963) darstellt.

Doch zeigt gerade der Vergleich mit den Mondhaldeiten, was zum gravitativen Absinken der Titanaugite noch hinzukommen muß, um phonolithischen Chemismus zu erzeugen: Zufuhr von Alkalien und Abnahme (oder im Verlauf der Differentiation nicht so starkes Ansteigen) der Silifizierung.

#### b) Assimilation von Karbonatgesteinen

Mit Recht folgert WIMMENAUER (1963, p. 260) aus dem Auftreten von Grundgebirgsauswürflingen in phonolithischen Tuffen, daß die Bildung des phonolithischen Magmas schon im Grundgebirgsniveau vollzogen war. Karbonatassimilation ist demnach mit Sicherheit keine Bedingung für die Entstehung phonolithischer Ganggesteine, obgleich der Wollastonitgehalt einiger Gangphonolithe auf zusätzliche Assimilationserscheinungen hinzuweisen scheint.

Es sei gerade beim Kapitel Karbonatassimilation bemerkt, daß sich die vorliegenden Ausführungen auf die phonolithischen Ganggesteine erstrecken. Nicht daß der Verfasser der Ansicht wäre, die Phonolithstücke seien prinzipiell verschiedener Genese. Die vorhandenen Analysen dieser Gesteine weichen jedoch schon innerhalb ein und desselben Aufschlusses infolge zusätzlicher Assimilationserscheinungen und innermagmatischer Reaktionen derart voneinander ab, daß petrochemische Gesetzmäßigkeiten allgemeiner Gültigkeit besser an den vergleichsweise einheitlicheren Ganggesteinen gewonnen werden.

#### c) Grundgebirgsassimilation

Grundgebirgseinschlüsse in phonolithischen Gesteinen des Kaiserstuhls sind — magmatisch mehr oder weniger stark verändert — in großer Zahl bekanntgeworden (CHUDOBA 1929, WIMMENAUER 1962). EIGENFELD (1954) und WIMMENAUER (1963) schreiben deshalb der Resorption von Grundgebirgsmaterial eine wesentliche Rolle bei der Petrogenese der phonolithischen Gesteine zu. Da jedoch magmatisch veränderte Grundgebirgsauswürflinge auf

eine geringe Zahl spezieller Vorkommen beschränkt sind und der hier als Modellfall diskutierten Henkenbergtuffbreccie sowie der Tuffbreccie am Burgberg völlig fehlen, möchte der Verfasser Grundgebirgsassimilation als eine Erscheinung von untergeordneter Bedeutung auffassen, die im wesentlichen auf die Phonolithstöcke beschränkt ist. Petrochemische Berechnungen am Schluß dieser Arbeit zeigen, daß die Entstehung eines phonolithischen Magmas aus einem tephritischen auch ohne Annahme von Assimilationserscheinungen möglich ist.

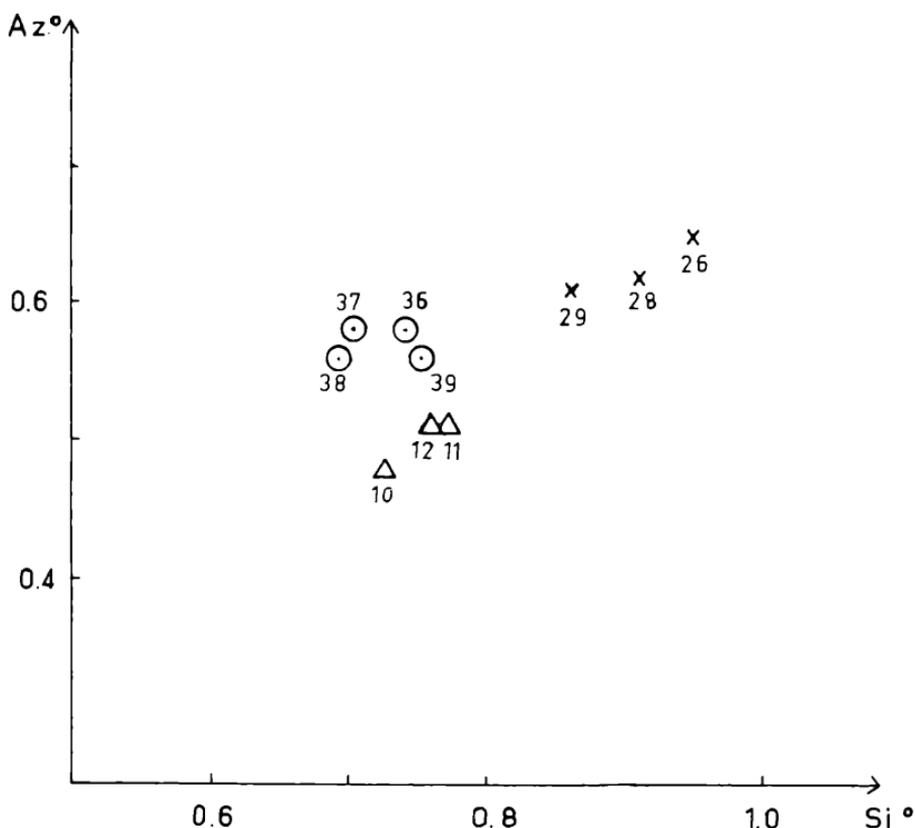


Abb. 5: Silifizierungsverhältnisse der Mondhaldeite (Nr. 26, 28, 29) und der phonolithischen Ganggesteine (Nr. 36—39). Zum Vergleich die Werte der Tephrite (Nr. 10—12) (Analysennummern nach WIMMENAUER 1959 b, p. 63—67)

$$\text{Si}^\circ = \frac{\text{si}}{100 + 4 \text{ alk}}$$

$$\text{Az}^\circ = \frac{\text{si}}{\text{si} + 100}$$

Darstellung nach RITTMANN (1933) und BURRI (1959)

## d) FENNERS „gaseous transfer“

Als FENNER 1926 Stofftransport durch die im Magma aufsteigende Gasphase als universellen und wichtigsten Differentiationsmechanismus propagierte, mußte er den Widerspruch aller Petrologen erwecken, die die Wirkung gravitativer Kristallisationsdifferentiation erkannt hatten. Der Autorität eines N. L. BOWEN (1928, p. 293 f.) war es ein leichtes, FENNERS Hypothese in dieser Verallgemeinerung zu widerlegen. RITTMANN konnte jedoch bei seinen Arbeiten am Vesuv (1933) und auf Ischia (1948) zeigen, daß Kristallisationsdifferentiation allein — vor allem in Alkaligesteinsprovinzen — nicht in der Lage ist, die Vielfalt der Erscheinungen zu erklären. Sehr wohl möglich ist dies durch die Annahme komplexer Differentiation, d. h. Zusammenwirken von gravitativer Absaigerung der Frühausscheidungen und Gastransport („gaseous transfer“).

Wann und in welcher Weise ist nun dieser Gastransport wirksam? Erste Voraussetzung ist, daß das Magma durch Druckentlastung beim Aufstieg oder durch retrograde Dampfdrucksteigerung an Gasen übersättigt wird und sich eine Gasphase von der Schmelze trennt. Das Hypomagma schäumt auf und ergibt blasenführendes Pyromagma. Zweite Voraussetzung ist, daß diese Gasphase langsam nach oben entweichen kann, so daß sich ein kontinuierlicher Gasblasenstrom in vertikaler Richtung entwickelt. Nach RITTMANN ist diese Bedingung am besten erfüllt bei einer Art Fumarolenzustand im vulkanischen Bereich. Mit den normalen vulkanischen Gasen ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ) wandern dabei alle leichtflüchtigen Elemente bzw. jene, die leichtflüchtige Chloride, Fluoride und Hydride bilden. Dazu gehören vor allem die Alkalien, aber auch P, Ti,  $\text{Fe}^{3+}$  und Mn. Alle diese „pneumatophilen Elemente“ (RITTMANN) erscheinen reichlich in Fumarolenmineralien.

Da die Löslichkeit dieser pneumatophilen Verbindungen in der Gasphase druckabhängig ist, wird ein großer Teil des mitgeführten Na, K, P, Ti,  $\text{Fe}^{3+}$  usf. beim Aufsteigen der Gasblasen wieder an das Pyromagma abgegeben. Wichtigster Effekt dieses Vorganges ist eine Alkalianreicherung in höheren Teilen des Magmakörpers.

Gastransport pneumatophiler Elemente ist also sehr wohl in der Lage, die höheren alk-Werte der phonolithischen Gesteine des Kaiserstuhls gegenüber dem tephritischen Ausgangsmagma und auch gegenüber den durch gravitative Kristallisationsdifferentiation allein entstandenen Mondhaldeiten zu erklären.

Erhärtet wird die Annahme einer Wirksamkeit von Gastransport durch die extrem hohen Apatitgehalte in den homöogenen Einschlüssen. Als  $\text{PH}_3$  zugeführtes Phosphor kann diesen Apatitgehalt erklären. Kein anderer Differentiationsprozeß kann in einem normalen Magma Phosphor schon frühen magmatischen Bildungen derart anreichern.

Auch das plötzliche Auftreten von Mineralien der Sodalithgruppe statt Nephelin scheint auf Zufuhr von Chlor und Schwefel in leichtflüchtigen Verbindungen hinzuweisen.

So läßt sich die Entstehung der Gesteine der phonolithischen Familie aus einem tephritischen Ausgangsmagma im wesentlichen durch das Zusammenwirken von gravitativer Kristallisationsdifferentiation und einer Anreicherung pneumatophiler Elemente, besonders der Alkalien, in höheren Magma-bereichen erklären.

Diese zwei Prozesse wirken, was die Silifizierungsverhältnisse anbelangt, einander entgegen. Entfernen von Pyroxen erhöht die Silifizierung in der Restschmelze, Alkalizufuhr erniedrigt dieselbe. So können je nach Vorherrschen eines der beiden Phänomene foidreiche oder alkalifeldspatreiche Glieder der phonolithischen Familie entstehen.

Die auf den ersten Blick so erstaunliche Tatsache, daß in der phonolithischen und tephritischen Familie zwei durch ihren Mineralbestand so deutlich unterschiedene Gesteinstypen vorliegen und (mineralogische!) Übergangsglieder fehlen, spricht nicht gegen eine enge petrogenetische Verwandtschaft. Ist durch Alkalizufuhr das alk/al-Verhältnis so hoch (theoretisch  $> 1$ ), daß Ägirinbildung einsetzt, dann folgen zwangsläufig und plötzlich alle weiteren charakteristischen Minerale der phonolithischen Assoziation, so daß „gemischte“ Mineralbestände als Übergänge kaum zu erwarten sind. Hat die Bildung von ägirinhaltigem Augit eingesetzt, dann fällt auch der Plagioklas infolge des hohen alk-Wertes aus, statt dessen bilden sich Alkalifeldspat und Foide. Titan kann nicht mehr in die Augite eingehen, und gleichzeitig besteht für das Calcium nur noch eine verminderte Einbaumöglichkeit, nachdem die Anorthitkomponente ausfällt und der Ägirinaugit weniger Ca aufnimmt als der Titanaugit. So entstehen Melanit und Titanit als Ca- und Ti-Verwerter.

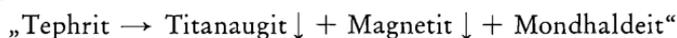
Am Rande sei die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, daß die Differentiationsprozesse, die bei der Entstehung der phonolithischen Gesteine ablaufen, einen Überschuß an Alkalien und Calcium in der Restschmelze erzeugen. Diese Faktoren gehören mit zu den Vorbedingungen für die Abspaltung von Karbonatiten aus Silikatmagmen. So ist es denkbar, daß die Karbonatite des Kaiserstuhls genetisch mit der Entstehung der phonolithischen Magmen verknüpft sind.

Die hier vorgeschlagene direkte Ableitung phonolithischer Magmen aus einem tephritischen „Hauptmagma“ erklärt zwanglos eine Reihe von Befunden, die nach der Vorstellung einer frühzeitigen Trennung und getrennten Entwicklung der beiden Magmentypen (WIMMENAUER 1963) rätselhaft bleiben. Dazu gehören vor allem Titanaugitcumulithe, die offensichtlich unter den homöogenen Einschlüssen recht häufig auftreten, aber seltsamerweise auf phonolithische Gesteine beschränkt sind (WIMMENAUER 1962, p. 393—395). Auch zeigen Titanaugitkerne in Ägirinaugiten und Alkalifeld-

spatsäume um Plagioklaskerne, wie sie WIMMENAUER (1962, p. 379, 380, 387) aus Phonolithen beschreibt, daß die Kristallisation dieser Gesteine mit Mineralien der tephritisch-essexitischen Assoziation begann. Die Herausbildung des phonolithischen Chemismus und damit des Mineralbestandes der phonolithischen Familie ist daher nicht vom Kristallisationsprozeß dieser Magmen zu trennen, kann also nicht „frühzeitig“ abgeschlossen gewesen sein.

Es wäre außerdem schwierig, sich die räumliche Anordnung zweier getrennter Herde vorzustellen, die beide unter dem g a n z e n Kaiserstuhl vorhanden und dennoch gleichzeitig und alternierend tätig gewesen sein sollen, ohne sich zu vermischen.

Durch petrochemische Berechnungen seien zum Schluß die magmatologischen Überlegungen zwar nicht bewiesen, aber doch gestützt. Die vorhandenen chemischen Analysen reichen noch lange nicht aus, die Vielfalt der Kaiserstuhlgesteine zu erfassen (das gilt besonders für die niedrigsilifizierten phonolithischen Ganggesteine), dennoch kann gezeigt werden, daß der diskutierte Differentiationsmechanismus wirklich in der Lage ist, aus einem tephritischen ein phonolithisches Magma entstehen zu lassen. In Tabelle 2 wird nach der Gleichung



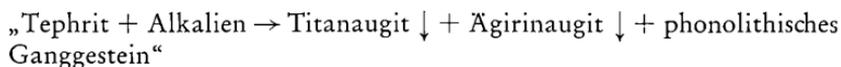
zu der mittleren Zusammensetzung der Mondhaldeite eine empirisch ermittelte Menge Titanaugit und Magnetit hinzugefügt. Das Ergebnis entspricht sehr gut der mittleren Tephritzusammensetzung.

T a b e l l e 2

**Entstehung eines Mondhaldeit-Chemismus durch gravitative Differentiation eines Tephritmagmas**

	si	al	fm	c	alk	~ Mol %
Mittel der Mondhaldeite	163,2	35	26	18,8	20,2	52
+ Titanaugit	96	12	54	54	—	43
+ Magnetit	—	—	25	—	—	5
Ergibt:	105,5	19,2	42,9	29,7	8,2	100
Mittlerer Tephrit zum Vergleich	104	18,2	42,5	30,7	8,6	

In Tabelle 3 wird in analoger Weise die in dieser Arbeit postulierte Differentiationsgleichung



zugrunde gelegt. Auch hier entspricht das Ergebnis recht gut einem mittleren Tephrit.

Tabelle 3

## Entstehung eines phonolithischen Chemismus durch komplexe Differentiation eines Tephritmagmas

	si	al	fm	c	alk	~ Mol %
Mittel phonolithischer Ganggesteine	136	31	23,9	23,4	21,7	53,5
+ Titanaugit	48	6	27	27	—	24
+ Ägirinaugit	44	0,8	23,2	13,6	2,4	19
+ Magnetit	—	—	15	—	—	3,5
— Alkalien	—	—	—	—	6	— 1,5
Ergibt:	109	18,1	42,6	30,6	8,6	98,5
Mittlerer Tephrit zum Vergleich	104	18,2	42,5	30,7	8,6	

## Angeführte Schriften

- BOWEN, NORMAN L.: The evolution of the igneous rocks. — Princeton 1928.
- BURRI, CONRAD: Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. — Basel 1959.
- CHUDOBA, K.: Der Phonolith von Oberschaffhausen und seine Einschlüsse. — Mitt. bad. geol. Landesanst. 11, 1—56, Freiburg i. Br. 1929.
- EIGENFELD, ROLF: Gesteinschemismus und Gesteinsentwicklung in kristallchemischer Hinsicht, erläutert an Magmatiten des Kaiserstuhles. — N. Jb. Miner., Mh., 193—213, Stuttgart 1950.
- Zur Genese von Alkaligesteinen. — Ber. phys.-med. Ges. Würzburg, 66, 95—114, Würzburg 1954.
- EISENLOHR, OTTO: Geognostische Beschreibung des Kaiserstuhls bei Freiburg i. Br. — Inaug.-Diss. Freiburg i. Br., 124 S., Karlsruhe 1829.
- FENNER, CLEARANCE N.: The Katmai magmatic province. — Jour. Geol. 34, 743 ff., 1926.
- GRAEFF, F.: Zur Geologie des Kaiserstuhlgebirges. — Mitt. bad. geol. Landesanst. 2, 403—495, Heidelberg 1893.
- KELLER, JÖRG: Zur Vulkanologie des Burkheim-Sponeck-Gebietes im westlichen Kaiserstuhl. — Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 54, 107—130, Freiburg i. Br. 1964.
- KNOP, ADOLF: Der Kaiserstuhl im Breisgau. — 534 S., Leipzig 1892.
- PFANNENSTIEL, MAX: Die Geologie des Kaiserstuhls. — In: Der Kaiserstuhl, 18—127, Freiburg i. Br. 1933.
- RITTMANN, ALFRED: Die geologisch bedingte Evolution und Differentiation des Somma-Vesuv-Magmas. — Z. Vulk. 15, 8—94, Berlin 1933.
- Origine e differenziazione del magma ischitano. — Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28, 643—698, 1948.
- Vulkane und ihre Tätigkeit. — Stuttgart, 2. Aufl. 1960.

- SCHILL, JULIUS: Das Kaiserstuhlgebirge. — In: G. LEONHARD, Beitr. z. mineral. u. geognost. Kenntnis d. Großherzogtums Baden, 2, 21—42, 3, 1—73, Stuttgart 1854.
- WIMMENAUER, WOLFHARD: Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. — N. Jb. Miner., Abh. 91, 131—150, 1957 — 93, 133—173, 1959. — 98, 367—415, 1962. — 99, 231—276, Stuttgart 1963.
- Abschnitte über Petrographie und Petrogenese in: Erläuterungen zur geologischen Exkursionskarte des Kaiserstuhls 1 : 25 000, hrsg. vom Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. 1959 (b).

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1965

Band/Volume: [55](#)

Autor(en)/Author(s): Keller Jörg

Artikel/Article: [Eine Tuffbreccie vom Henkenberg bei Niederrotweil und ihre Bedeutung für die Magmatologie des Kaiserstuhls 349-364](#)