

# Zur Vulkanologie des Burkheim-Sponeck-Gebietes im westlichen Kaiserstuhl

von

**Jörg Keller, Freiburg i. Br.**

Mit 14 Abbildungen und 1 Karte

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

Das Burkheim-Sponeck-Gebiet ist die Osthälfte eines dem Kaiserstuhl westlich vorgelagerten Vulkankegels. In mehreren Eruptionsphasen baute sich ein Schlackenkegel aus Wurfslackenagglomeraten auf, dessen Zentrum am Humberg wenig südlich der Sponeck lag. In diesem kraternahen Bereich treten kompakte Tephrite als Lagergänge auf. Tephritische Lavaströme ergossen sich nach einer exzentrischen Plinianischen Eruption über den Süd- und Südosthang des Kegels. Die Intrusion des Sponecksexites ist jünger als die ältesten Tephrite, gleichzeitig aber älter als die Plinianische Eruption.

Erst nach der Zerstörung des Kegels, einem staffelförmigen Einbruch der westlichen Teile vorwiegend an NNE-gerichteten Störungen, entstand über dem alten Zentrum am Humberg mit nur wenig verlagertem Schlot der jüngste Schlackenkegel.

## Einleitung

Der Kaiserstuhl gehört zu den geologisch längst- und bestuntersuchten Gebieten unserer Heimat. Die quantitativ wichtigsten Gesteine des Kaiserstuhls, die Leucittephrite, welche allein mehr als die Hälfte der abgedeckten Oberfläche einnehmen, sind jedoch in ihrer vulkanologischen Erscheinungsweise noch weitgehend unbekannt. Lößbedeckung, Verschleierung des ursprünglichen Charakters der Gesteine durch hydrothermale Mineralumwandlungen und Verwitterung sowie geringe seitliche Erstreckung der Einheiten erlaubten bei den bisherigen großräumigeren Untersuchungen keine Unterteilung der Gruppe „Tephritlaven und -tuffe“. So kommt es, daß wir heute über den Ablauf des Tephritvulkanismus, über dessen Eruptionszentren sowie über den vulkanologischen Charakter der Förderprodukte doch erst recht summarische und verallgemeinernde Aussagen besitzen.

Es war das Ziel meiner Diplomarbeit, deren Ergebnisse hier vorgelegt werden, diesen Problemen durch Bearbeitung eines eng begrenzten, gut aufgeschlossenen Gebietes näherzukommen. Meinen Lehrern Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. M. PFANNENSTIEL und Herrn Prof. Dr. W. WIMMENAUER

danke ich an dieser Stelle für wertvolle Anregungen und für ihre freundliche Unterstützung dieser Arbeit.

Als Untersuchungsgebiet wurde der Burkheim-Sponeck-Komplex ausgewählt, das dem Kaiserstuhl westlich vorgelagerte und durch das Bischof-finger Ried morphologisch von ihm getrennte Gebiet des Burgberges bei Burkheim, des Haberberges und des Humberges mit der Ruine Sponeck. Der Westrand gegen die Rheinalluvionen ist durch eine Steinbruchsreihe auf 2 km Länge sehr gut aufgeschlossen (Karte S. 128).

Nach den Arbeiten von SOELLNER 1928, PFANNENSTIEL 1933, SCHNEIDER-HÖHN 1949 und WIMMENAUER 1959 stellen tephritische Laven und Tuffe den Hauptanteil der Gesteine. An der Sponeck ist ein kleineres Massiv von Essexit bzw. Theralith, dem Tiefengesteinsäquivalent der Tephrite, aufgeschlossen. Unter den wenigen Ganggesteinen des Gebietes verdient das von SOELLNER 1912 beschriebene Vorkommen einer Gangbreccie von Leucitophyr besonderes Interesse, das bislang als nicht mehr auffindbar galt.

Beim Studium oben genannter Schriften ergeben sich für die Geologie des Burkheim-Sponeck-Gebietes folgende Hauptprobleme:

	Seite
1. Der Charakter der pyroklastischen Gesteine = Agglomeratfrage	108
2. Die Ausbildung der Lavaströme = Lagergangfrage	114
3. Eruptionszentren, Eruptionsmechanismen und Gestalt des Sponeckvulkans	117
4. Petrogenetische Stellung des Leucitophyrs = Entstehung der Schlot-räumungsbreccie	123
5. Die zeitliche Stellung der Essexitintrusionen und der Gangbildungen zum Oberflächenvulkanismus	125

### Die Agglomeratfrage

Östlich und südöstlich der Ruine Sponeck liegt in 230 bis 240 m NN die Hochfläche des Humberges, in dessen westlichem Abfall zur Rheinaue die Brüche I a und I b angelegt sind (Karte S. 128).

Es sind dort in großer Mächtigkeit pyroklastische Gesteine aufgeschlossen; in diese eingeschaltet liegen dünnmächtige, annähernd horizontale Lagen schwarzer Tephritlaven. Einen Eindruck der Verhältnisse gibt Abb. 1.

Die Genese der Pyroklastika sowie der Lavalagen wurde bisher auf sehr verschiedene Weise gedeutet. Nicht zuletzt durch Verwendung unpräziser und mehrdeutiger vulkanologischer Begriffe kam es zu unterschiedlichen Ansichten. Es seien daher hier zunächst die verwendeten Bezeichnungen definiert:

**Tuff** Oberbegriff für Pyroklastika, welche Sprengprodukte vulkanischer Explosionen darstellen. „Vulkanische Breccie — Tuffbreccie — Lapillituffe — Grobe Tuffe — Feine Tuffe“ ist eine nomenklatorische Reihe abnehmender Korngröße (WENTWORTH & WILLIAMS 1932). Das ausgeworfene Material besteht dabei vorwiegend aus bereits verfestigtem vulkanischem Gestein oder aus nichtvulkanischem Nebengestein.

Überwiegt deutlich der Anteil der Komponenten, die direkt aus dem erumpierenden Magma als Lavafetzen oder Schlacken in viskosem Zustand ausgeworfen wurden, so wird dieser Tatsache auch nomenklatorisch Rechnung getragen. Im Kaiserstuhl wurden solche Bildungen als Schlackenagglomerate oder kurz Agglomerate bezeichnet. Jedoch geht nur aus dem Begriff *Wurfschlackenagglomerat* eindeutig die Genese hervor. Läßt sich ein beim Aufschlag eingetretenes Verschweißen erkennen, so ist die Bezeichnung *Schweißschlacken* angebracht.

Der Ausdruck „Agglomeratlava“ oder gar „Schlackenagglomerat“ für die durch das Fließen entstandene brecciöse Oberflächenbeschaffenheit eines Lavastromes (z. B. bei SCHNEIDERHÖHN) sollte nicht verwendet werden. Eindeutig ist die Bezeichnung *Blocklava* oder *Brockenlava* (RITTMANN 1960).

SOELLNER (1928) und die meisten älteren Bearbeiter deuteten die Pyroklastika des Kaiserstuhles als Wurf Schlackenagglomerate. PFANNENSTIEL wies 1933 darauf hin, daß ein durch Verwitterungsprozesse stark zersetzter Lavastrom und ein ebenso stark zersetztes Agglomerat heute völlig gleich aussehen können. PFANNENSTIEL möchte einen Großteil der brecciösen Gesteine des Kaiserstuhls als solche verwitterten Lavaströme deuten. Allerdings sind ihm im Kaiserstuhl auch „echte Agglomerate“, also Wurf Schlackenagglomerate, bekannt. Nach SCHNEIDERHÖHN (1949) handelt es sich jedoch fast ausschließlich um Lavaströme mit „ausgezeichnet agglomeratischer Stromoberfläche, von PFANNENSTIEL als solche erkannt, von SOELLNER als Wurf Schlacken aufgefaßt“. Der Vergleich der Aussagen zeigt, daß PFANNENSTIEL von SCHNEIDERHÖHN sinnwidrig zitiert wird.

Erst WIMMENAUER (1959) vertritt wieder die tuffogene Natur der Gesteine, betrachtet diese Gesteine jedoch im Gegensatz zu SOELLNER als Tuffbreccien, deren Komponenten Bruchstücke schon verfestigter, bei der Eruption durchschlagener Ströme und Tuffe darstellen.

Es soll nun hier dargelegt werden, daß der größte Teil der „tephritischen Tuffe“ des Burkheim-Sponeck-Komplexes von SOELLNER als *Wurfschlackenagglomerate* richtig gedeutet worden ist, es sich also um Produkte einer solchen vulkanischen Tätigkeit handelt, wie sie der Stromboli seit dem Altertum zeigt und die daher als Strombolianische oder Schlackenwurf-Dauertätigkeit in der vulkanologischen Literatur bezeichnet wird.

Die pyroklastischen Gesteine sind zusammengesetzt aus Komponenten von meist 3 bis 20 cm  $\phi$ . Ein wichtiges Charakteristikum ist die Homogenität der Ablagerungen. Die einzelnen Komponenten besitzen hinsichtlich ihres Blasengehaltes, Art und Größe der Einsprenglingskristalle, der Struktur der Grundmasse, kurz in allem, was einen Tephrit makroskopisch und mikroskopisch kennzeichnet, ein völlig analoges Aussehen. Alle Unterschiede zwischen den einzelnen Komponenten sind nur gradueller Art. Dies ist ein erster Unterschied zu der heterogenen Zusammensetzung einer Tuffbreccie.

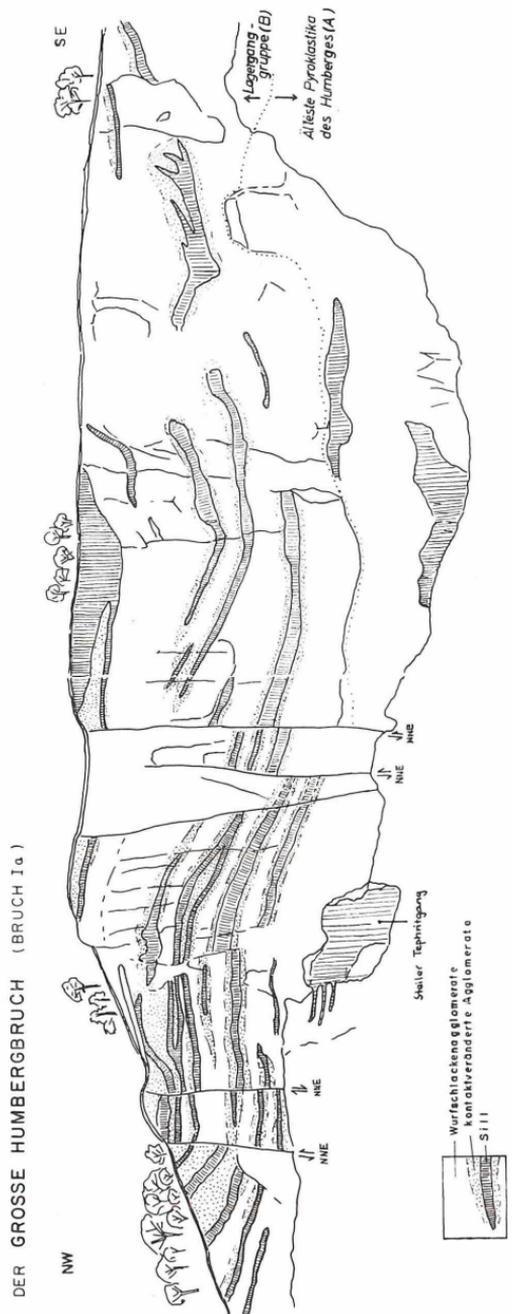
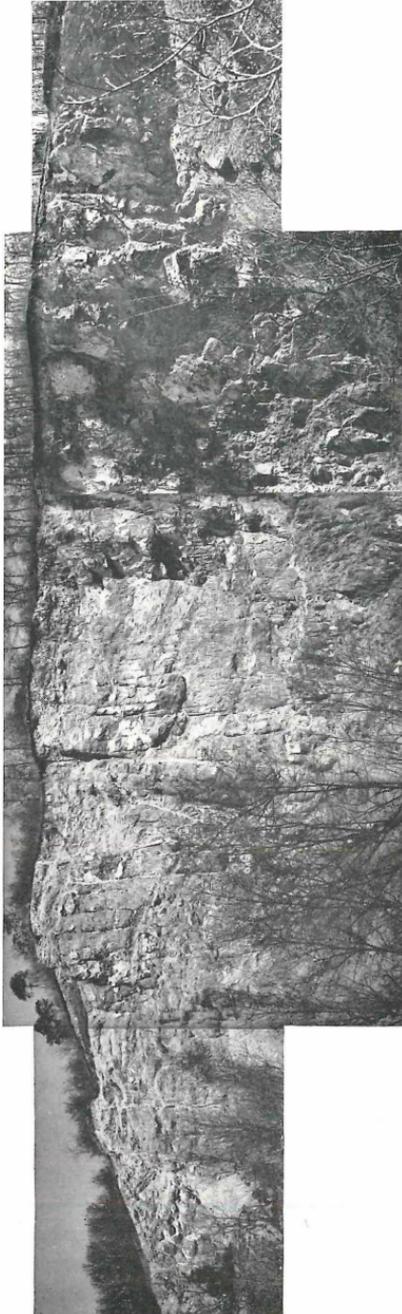


Abb. 1 und 2. Der Steinbruch Ia südlich der Sponeck. — Wurf­schlackenagglomerate mit Lagergängen

Charakteristisch ist weiterhin die „geflamte“ Farbe der Ablagerungen. Da die Färbung von der verschieden starken Oxydation beim Flug durch die Luft herrührt, können alle verwandten Töne einer kontinuierlichen Farbreihe auftreten, die vom Schwarz der kompakten Tephrite über dunkelbraun, rötlichbraun und rot bis zu einem orangen Gelb reicht. Diese kontinuierlichen Farbtöne, die dem Gestein ein „geflamtes“ Aussehen verleihen, sind an rezenten Schlackenablagerungen sehr oft zu beobachten (Beispiele: Monte Silvestri, Adventivkrater von 1892 am Ätna; Rocca Sperone der Albaner Berge) und unterscheiden sich deutlich von den bunt zusammengewürfelten Farben einer Tuffbreccie. Verwitterung kann diesen Effekt verstärken, niemals jedoch primär erzeugen.

Die mikroskopische Untersuchung zeigt, daß ein Großteil der Komponenten glasig erstarrt ist. Augit- und Leuciteinsprenglinge liegen in einer braunen Glasgrundmasse. Tephritströme im Kaiserstuhl zeigen im allgemeinen nur in den obersten Dezimetern glasige Erstarrung. Es ist schon daher unmöglich, über 40 m mächtige Pyroklastika glasiger Komponenten von durchschlagenen Tephritströmen abzuleiten.

Gegen SCHNEIDERHÖHNS (1949) Deutung als Oberflächenfazies eines Lavastromes (Blocklava) spricht schon die Tatsache, daß es unmöglich ist, 5 m mächtige brecciöse Gesteine als Oberflächenausbildung eines Stromes von stellenweise knapp 50 cm Mächtigkeit zu erklären, zumal diese „Ströme“ als Lagergänge gedeutet werden müssen, wie gleich ausgeführt werden wird.

Um zu verstehen, was zu den sich widersprechenden Deutungen führte, und um damit einer exakten Erklärung näherzukommen, seien hier zwei Befunde einander gegenübergestellt: Nach EISENLOHR (1829) grenzen zwischen Burkheim und der Sponeck die Komponenten der „Conglomerate“ ohne feineres Zwischenkorn direkt aneinander. Nach WIMMENAUER (1959) machen die Tuffbreccien den Eindruck „vieler mehr oder weniger gleich großer Stücke in einer feiner körnigen Grundmasse“

Beide Aussagen sind rein descriptiv zutreffend. In den Pyroklastika mit Lavalagen des Bruches Ia (Abb. 1) ist WIMMENAUERS Befund gewonnen. Überlagert wird diese Einheit im südlich anschließenden Bruch Ib von pyroklastischen Gesteinen ohne Lavalagen (Abb. 3), deren Hauptcharakteristikum eine wesentlich geringere sekundäre Verfestigung ist. Dort bestätigt sich der EISENLOHRsche Befund: Die Komponenten grenzen direkt ohne Zwischenkorn aneinander. Jede einzelne derselben bildet genau die Form der benachbarten, auf die sie aufgeschlagen ist, nach, war also beim Aufschlag noch viskos. Die Schlackenstruktur, die Deformation beim Aufschlag, die glasige Ausbildung der Einzelkomponenten sowie die Homogenität der Ablagerungen beweisen die Wurf Schlackennatur.

Horizontweise verschieden stark tritt jedoch eine Umwandlung des instabilen Gesteinsglases — besonders der äußeren Teile der Schlacken — in Calcit und Zeolithe auf. Die Mineralneubildungen drängen auf Rissen in die Einzel-

schlacken ein, und somit liegen heute die inneren Teile der ehemaligen Bombe als Restkerne in einem feinen Zwischenkorn eingebettet, das jedoch nichts anderes darstellt als die in Umwandlung begriffene, jetzt aus Calcit, Phillipisit und feinen, noch erhaltenen Partikeln derselben Bombe bestehende Außenhülle. Der Zusammenhang von kompaktem Kern und in Umwandlung begriffener Außenzone ist jedoch noch deutlich erkennbar.

Es ist von hier aus nur ein kleiner Schritt zum richtigen Verständnis der Gesteine des Bruches Ia. Die Umwandlung ist dort stärker, die sekundäre Verfestigung durch Mineralneubildung größer. Auch in diesen veränderten Wurfslackenagglomeraten läßt sich in den meisten Fällen durch Verbinden der äußersten gleichgefärbten Partikel, die einen Restkern umgeben, die Form der ursprünglichen Bombe noch rekonstruieren und sogar die Deformation



Abb. 3. Tephritische Wurfslackenagglomerate mit geringer sekundärer Umwandlung. Humburgwestseite Bruch Ib

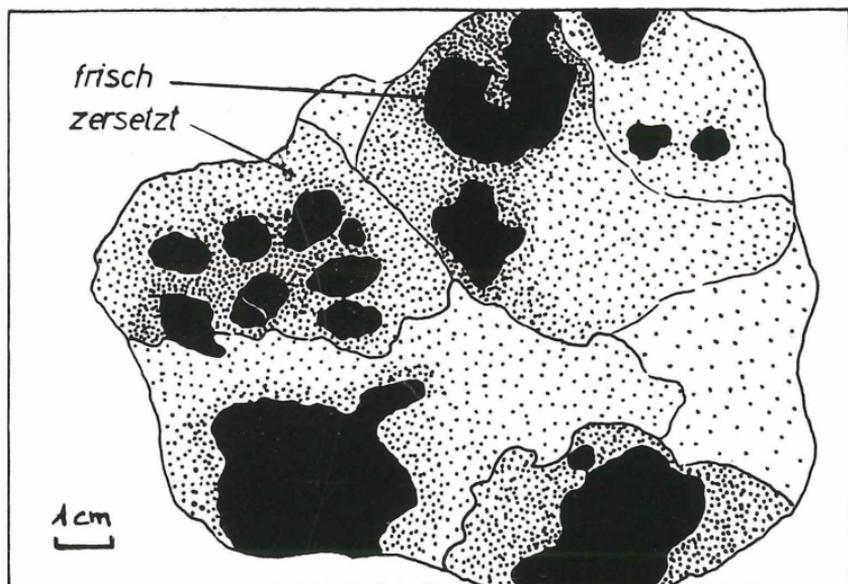
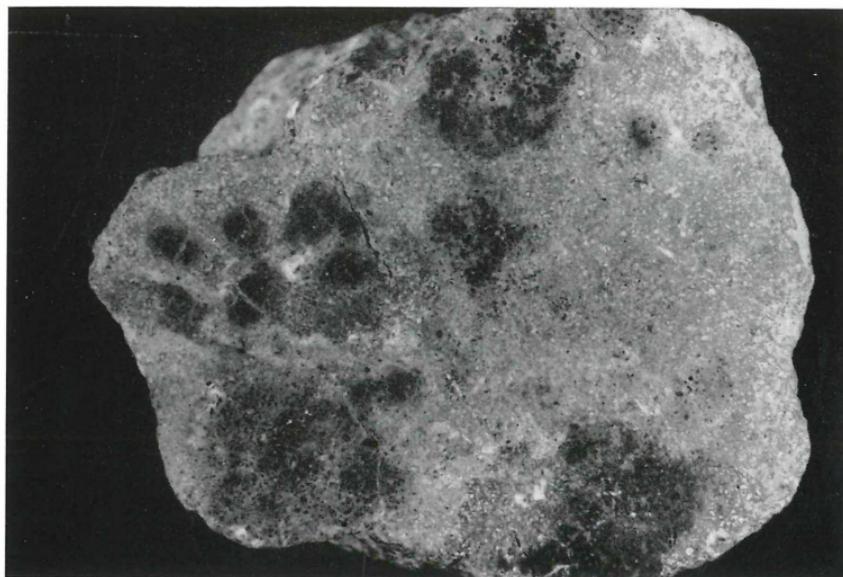


Abb. 4 und 5.

Wurfschlackenagglomerat. Humberg, Steinbruch Ia. — Sekundäre Umwandlung der glasigen Außenzonen der Komponenten verwischt die ehemaligen Grenzen

beim Aufschlag noch feststellen. Photo und Skizze eines gesägten Agglomeratstückes sollen diese Erklärungen verdeutlichen (Abb. 4 und 5).

Der scheinbar genetische Unterschied zwischen den vergleichsweise eindeutigen Wurf Schlackenagglomeraten des Bruches Ib und den Pyroklastika des Bruches Ia wird somit auf die verschieden starke sekundäre Umwandlung zurückgeführt.

Die beschriebenen Umwandlungen können im Extrem auch die Restkerne der Schlacken oder Bomben erfassen und auflösen. Das Schlackenagglomerat nimmt dann das Aussehen eines homogenen, feinkörnigen, graugrünen Aschentuffs an. Aber auch hier lassen sich an günstigen Stücken noch schwache Färbungsunterschiede erkennen, welche die ehemaligen Grenzen heute völlig zersetzter Komponenten angeben. Auch beweisen kontinuierliche Übergänge zu wenig veränderten Agglomeraten den ehemals gleichen Charakter der Gesteine (Abb. 6).

Diese extremen Umwandlungen sind vor allem im Kontakt mit Strömen, Gängen und größeren Auswurfsmassen zu finden und sind demnach ein Produkt pneumatolytischer Durchgasung und des Angriffs hydrothermalen Agentien.

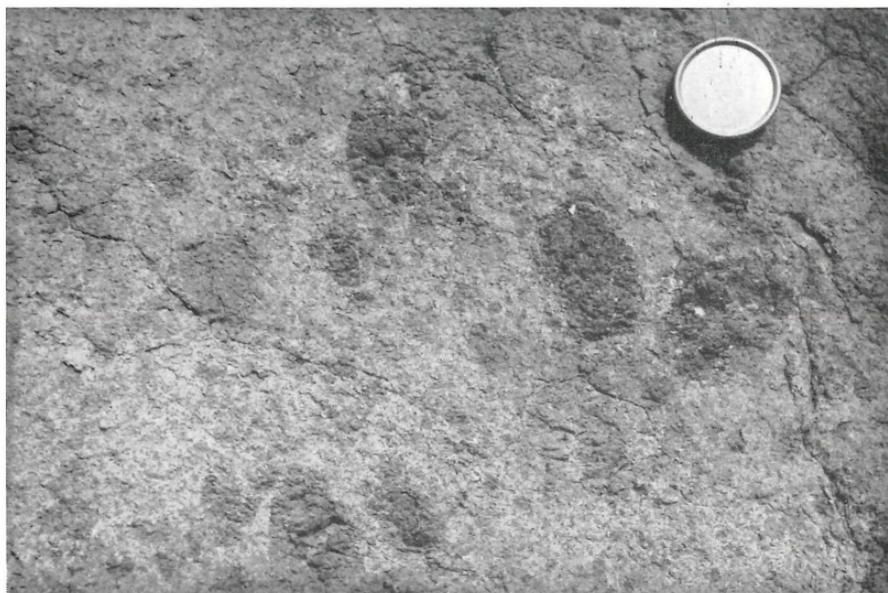


Abb. 6.

Stark sekundär verändertes Wurf Schlackenagglomerat. — Humbergwestseite

### Die Lagergangsfrage

In den Schlackenagglomeraten des Humberges fallen die geringmächtigen, bisher als Ströme gedeuteten Lagen schwarzer Tephritlava auf, deren Mächtig-



Abb. 7. Lagergang in Schlackenagglomeraten des Humberges

keit selten 1 m übersteigt, aber oft bis auf 25 cm abnimmt, deren seitliche Erstreckung jedoch stellenweise über 20 m weit aufgeschlossen ist (Abb. 7). Diese Größenverhältnisse sind für echte Lavaströme unwahrscheinlich. Außerdem sind gerade dünnflüssige Laven durch Seil- und Stricklavaformen ausgezeichnet, während diese Lavalagen glatte Ober- und Untergrenzflächen besitzen. Der Verdacht, es könne sich bei diesen dünnen Lavalagen um Lagergänge handeln, liegt also nahe, zumal Lagergänge innerhalb eines Vulkanbaues zu den häufigen Erscheinungen gehören (RITTMANN 1933, 1960) und zum Beispiel der Sommawall am Vesuv zu mehr als einem Viertel seines Volumens aus solchen Lagergängen besteht.

Im allgemeinen gilt vor allem das Fehlen von Basis- und Deckschlacken als Kriterium für einen Lagergang. Da aber auch echte Lavaströme in diesem Gebiet oft relativ glatte Ober- und Unterflächen besitzen, soll dieses Argument hier nicht überbewertet werden. Wichtiger sind demgegenüber zwei Befunde:

- a) Veränderung der Agglomerate im Hangenden und im Liegenden der Lagergänge
- b) Die Lagerungsverhältnisse.

Zu a) Die Schlackenagglomerate sind in der Nachbarschaft der Lagergänge in der beschriebenen extremen Weise umgewandelt, so daß heute eine im Mittel 50 bis 100 cm mächtige Umwandlungszone die Lagergänge im Hangenden und Liegenden begleitet. Durch die Kontakteinwirkungen sind

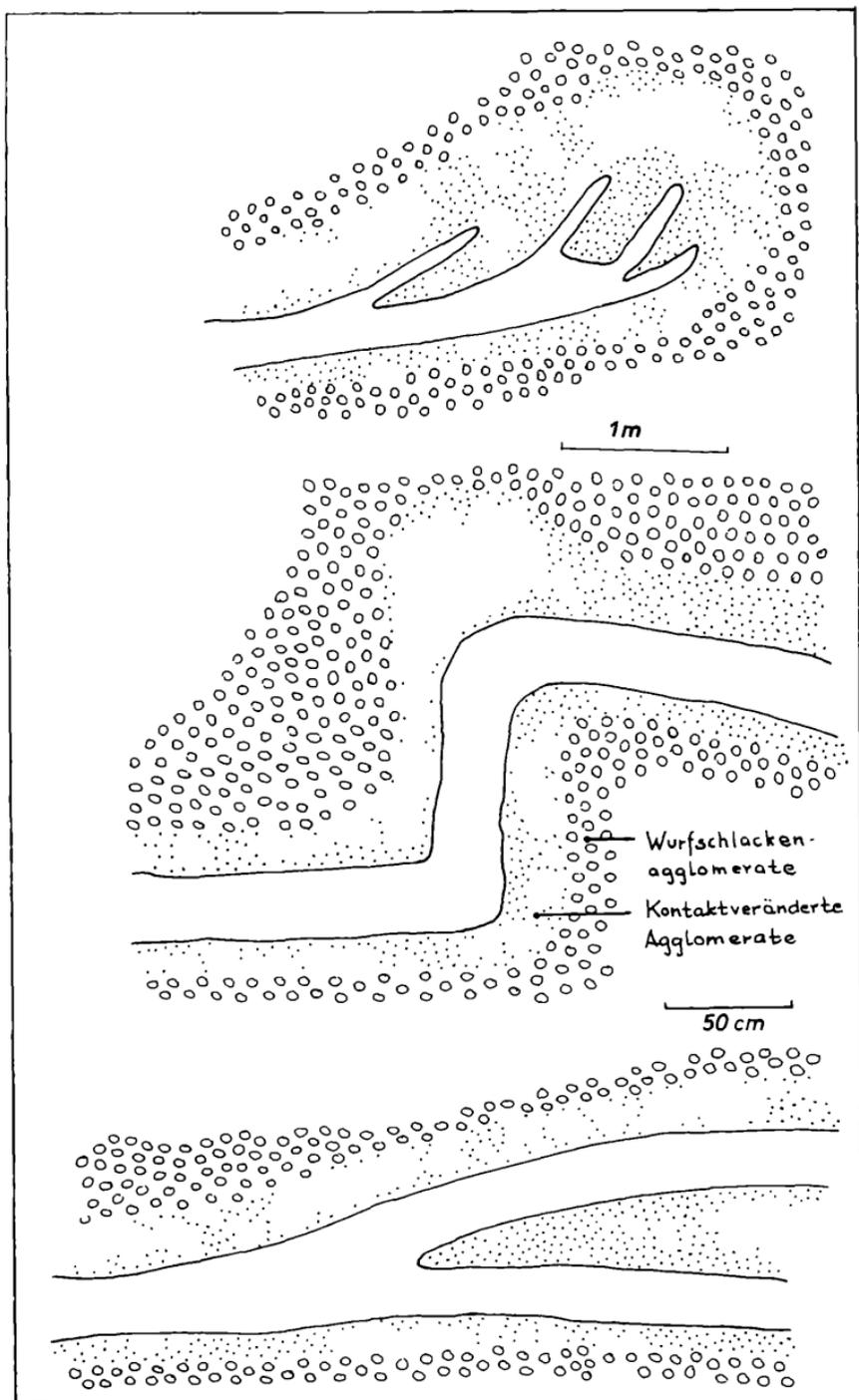


Abb. 8—10. Lagerungsformen der Lagergänge des Humberges

die Schlacken derart zersetzt, daß das Gestein den Eindruck eines feinkörnigen, graugrünen oder bräunlichen Aschentuffs macht. Bei seitlichem Auskeilen des Ganges setzt sich die Umwandlungszone öfters noch 2 bis 3 m in der horizontalen Verlängerung des Sills fort, so daß anzunehmen ist, daß die Lava nicht mehr in die Fuge eindringen konnte, wohl aber eine Durchgasung vom Ende des Lagerganges her stattfand.

Zu b) Die Abbildungen 8 bis 10 zeigen einige typische Lagerungsformen der dünnmächtigen Lavalagen der Humburgbrüche. Jedes einzelne Beispiel kann nicht als Fließform eines Lavastromes gedeutet werden. Abb. 8 zeigt das Ende eines Lagerganges im Bruch I a. (Auch auf Abb. 1 zu sehen.) Offensichtlich war die Fuge für den Gang nicht weiter wegsam, so daß er sich in einzelne Apophysen aufspalten mußte. Das Sillende ist von einer Aureole völlig zersetzten agglomeratischen Nebengesteins umgeben, also extreme Umwandlung der Agglomerate an einem Punkt, wo sich der Lagergang staute.

In Abb. 9, aufgenommen an der südlich an den Bruch I a anschließenden Steinbruchwand Ib, springt ein Lagergang über in eine andere Fuge. Er bildet dabei zweimal einen rechten Winkel. Wie zu erwarten, ist die Umwandlung der umgebenden Wurf Schlackenagglomerate an der Staustelle, bevor der Gang die neue Fuge gefunden hatte, am stärksten.

An mehreren Stellen der Nordseite des Bruches I a teilt sich ein Lagergang für eine kurze Strecke oder endgültig in zwei Äste (Abb. 10), welche dann Schlackenagglomerat in allen Phasen der Umwandlung einschließen.

Dieses sind Bilder, wie sie an vergleichbaren rezenten oder subrezenten Bildungen, z. B. am Sommawall oder an der Südküste Vulcanos immer wieder zu beobachten sind.

## **Eruptionszentren, Eruptionsmechanismen und Gestalt des Sponeckvulkans**

### **Der Bau des Humberges**

Die Deutung der pyroklastischen Gesteine des Humberges als Wurf Schlacken wirft sofort die Frage nach den Eruptionszentren auf, denn nach der Fazies der Agglomerate dürften die Schlacken einen Transportweg von nur wenigen hundert Metern gehabt haben.

Es lassen sich nach dem Grad der sekundären Mineralumwandlungen und Verfestigung drei sich überlagernde, jeweils einer Eruptionssphase angehörende Einheiten von Wurf Schlackenagglomeraten unterscheiden (Abb. 1, 11, 14).

A) An der Basis des Bruches I a sind die ältesten Vulkanite des Gebietes aufgeschlossen. Die geringe Aufschlußmächtigkeit erlaubt keine Aussage über den großräumigen Verlauf der Lagerung. Diese Gesteine können als Nebengestein, in das der Sponeck-Essexit intrudierte, aufgefaßt werden (vgl. S. 126). Die Wurf Schlackennatur ist in dieser Serie am undeutlichsten.

- B) Darüber liegt die Gesteinsgruppe „Wurfschlackenagglomerate mit Lagergängen“ Die Aufschlußmächtigkeit beträgt ca. 30 m. Umwandlung des instabilen Glases in Calcit und Zeolithe erzeugt das Aussehen von Tuffbreccien mit feinkörniger Grundmasse.

Trotz starker tektonischer Zerstückelung läßt sich aus dem Einfallen der Agglomeratschichten und dazu konkordanten Lagergängen ein Sektor eines Kraterrundes rekonstruieren, dessen Zentrum nur 200—250 m im SW in den Altrheinalluvionen zu liegen käme. Die Fazies der Schlacken und die intensive Lagergangsbildung bestätigen diese Nähe der Ausbruchsstelle.

Die Bruchtektonik dieser Abfolge hat G. STÖBER (1955) beschrieben. Dem sei hinzugefügt, daß die NNE, ESE und SE gerichteten Störungen die Lagergänge in den meisten Fällen versetzen, also jünger sind als diese. Andererseits läßt sich ein deutlicher Wechsel in Mächtigkeit und Horizontbeständigkeit der Sills beim Kreuzen solcher Linien feststellen. Zur Zeit der Sillintrusionen haben sich tektonische Linien, besonders die NNE-Richtung, also schon mechanisch ausgewirkt, die Tektonik hat somit schon intravulkanisch begonnen.

- C) An der Steinbruchswand Ib wird die Lagergangserie überlagert von den nächstjüngeren Pyroklastika, deren charakteristisch geringere Verfestigung und deutlichere Natur der Ablagerung als Lavawurfprodukte auf S. 111 beschrieben ist. Lagergänge fehlen. Die Lagergänge und Agglomeratschichten der unterlagernden Einheit werden durch die Auflagerungsfläche diskordant geschnitten. Die jüngsten Wurfschlackenagglomerate des Humberges haben sich also erst nach den Sillintrusionen und nach einer teilweisen Zerstörung des Kegels der Lagerganggruppe gebildet. Daß in diesem jüngsten Schlackenkegel keine Verstellungen sichtbar sind und besonders die im Nachbarbereich so markant vertretene NNE-Richtung fast völlig fehlt, ist ein Hinweis dafür, daß diese Vulkanite auch erst nach den Hauptphasen der Bruchtektonik gebildet wurden.

Mit großer Eindeutigkeit ist die Ausbruchsstelle dieser Wurfschlackeneinheit zu erkennen: Die Schlackenlagen bilden in ihrem Einfallen einen Kegel, dessen Spitze eingemuldet ist (Abb. 11 bis 13). Die schematische Skizze (Abb. 12) zeigt einen Schnitt durch einen Schlackenkegel, der den zum Schlot gerichteten Innenhang des Kraters schneidet, den Schlot selbst jedoch nicht. Abb. 13 zeigt die auf dem Schnitt basierende Deutung der Verhältnisse im Bruch Ib. An zwei Stellen ist der aus älteren Schlackenagglomeraten (= Lagergangserie) gebildete Rand der Ausbruchsstelle zu sehen. Die Schichten fallen in die Wand ein, also NE. Nur wenige Zehner von Metern in dieser Richtung liegt die unmittelbare Ausbruchsstelle.

In der Einmuldung der Schichten, die nach dieser Rekonstruktion den zum Schlot gerichteten Innenhang des Kraters markieren und damit dem Schlot am nächsten liegen müssen, finden sich nun erstaunlich große ausge-

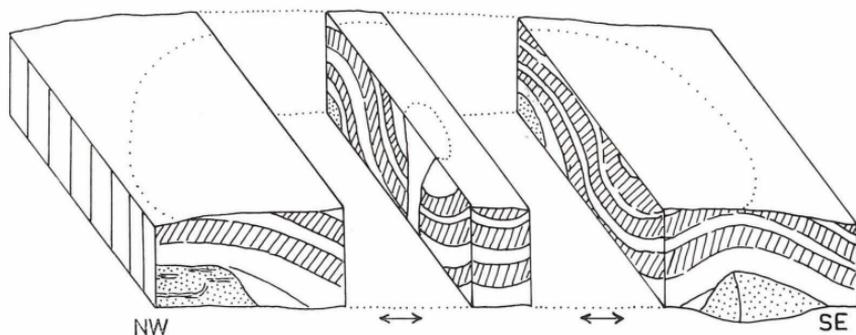
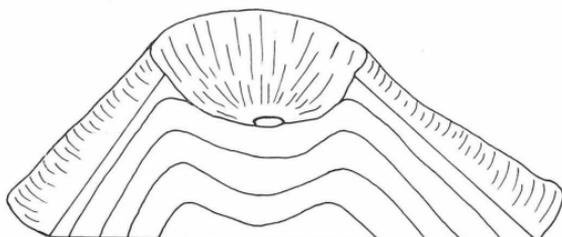
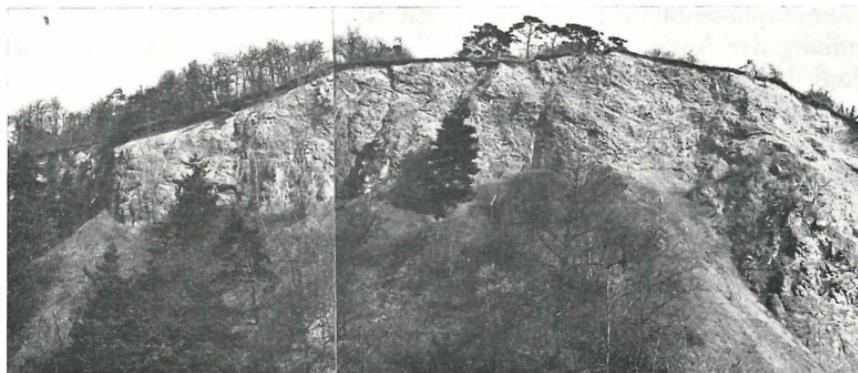


Abb. 11—13. Bruch Ib mit den jüngsten Wurfgeschlackenagglomeraten des Humberges. — Rekonstruktion der Ausbruchsstelle

worfene Tephritmassen, Riesensbomben von mehreren m<sup>3</sup> Rauminhalt, unter denen die unterlagernden Schichten beim Aufschlag eingedellt wurden. Die Sprengkraft des tephritischen Magmas reichte jedoch offensichtlich nicht aus, solche Massen über den Kraterrand hinauszuerwerfen.

In den Schlacken liegen häufig nur noch weiche, hellgelbe Tonminerale als Pseudomorphosen der Augite vor. Starke Durchgasung steigert diese

Pseudomorphosenbildung. Genau wie die Riesenbomben erreicht diese Umwandlung der Augite in dem Bereich ihr Maximum, der nach dem Schichtverlauf dem Krater am nächsten lag. Damit ist die vermutete Nähe der Ausbruchsstelle erneut bestätigt. KNOP (1890) beschreibt vom Limberg analoge Umwandlungen der Augite, die auch dort an Zonen starker Durchgasung geknüpft sein sollen.

Zusammenfassend läßt sich über den Bereich des Humberges sagen, daß er ein Zentrum vulkanisch-magmatischer Tätigkeit bildet.

In ältere, vorwiegend pyroklastische Gesteine intrudierte der Sponeckessexit. Auf dieser Einheit baute sich — vor oder nach der Essexitintrusion — ein Schlackenkegel mit intensiver Lagergangbildung auf, dessen Zentrum südlich der Sponeck in den Altrheinalluvionen lag, von dem also nur noch die Osthälfte erhalten ist. Nach der teilweisen Zerstörung dieses Kegels — wohl durch das Zusammenspiel von Tektonik und Erosion — bildete sich ein weiterer, kleinerer Wurf Schlackenkegel mit seinem Zentrum in den noch heute höchsten Teilen des Humberges.

### Der Bau des Haberberges und des Burgberges

Südöstlich schließt sich an den Humberg der Haberberg an, dessen Hochfläche um 50 m höher liegt als die des Humberges. Die ungefähr NNE gerichtete Steilstufe zwischen beiden Hochflächen ist das auffallendste morphologische Element des Gebietes. Tektonik ist die einzig mögliche Erklärung für diesen Abbruch. STÖBER (1955) vermutet nach den Kluftmaxima eine NNE-Störung, die den Humberg gegen den Bereich des Bruches II, und eine zweite, gleichgerichtete, die den Haberberg gegenüber dem südlich anschließenden Burgberg abgesenkt hat.

Dieses Bild eines gestaffelten Einbruchs des Zentrums gegenüber den südlichen und südöstlichen Teilen des ehemaligen Kegels ergibt sich auch aus der Abfolge: Sowohl im Nordteil des Bruches II als auch im Bruch III treten die Schlackenagglomerate der Lagergangserie — hier ohne Lagergänge und in kraterfernerer Fazies — trotz des steten Südfallens in gleicher und höherer Lage als am nördlich gelegenen Humberg auf (Abb. 14).

Ablagerungen des jüngsten Humbergkegels fehlen in diesen ehemals tieferen Teilen des Vulkanaußenhangs. Da dieser jüngste Kegel sich erst nach den Hauptphasen der Humbergtektonik gebildet hat (vgl. S. 118), kann das Fehlen dieser Ablagerungen am Haberberg damit erklärt werden, daß sich der jüngste Schlackenkegel am Humberg erst gebildet hat, nachdem der Humberg längs des NNE-Abbruches des Haberberges eingebrochen war.

Nach dem Einfallen der Schlackenagglomerate des Haberberges und des Burgberges handelt es sich um den Südosthang des Sponeckvulkans, dessen Zentrum südwestlich der Humbergbrüche lag. Über diesen südöstlichen Außenhang ergossen sich — aufgeschlossen im Südteil des Bruches II und am Burgberg — mächtige tephritische Lavaströme, deren Dimensionen fast in der Größenordnung der Limburgitströme am Limberg liegen.

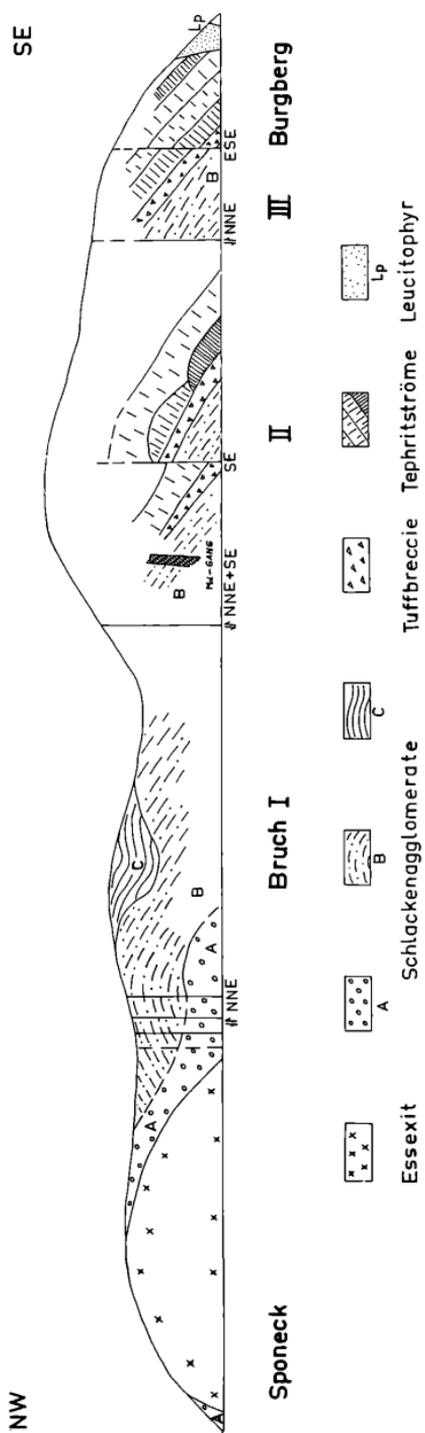


Abb. 14. Schematisches NW-SE Profil Sponeck—Humberg—Haberberg—Burgberg

Sowohl im Bruch II als auch am Burgberg — es liegen jeweils vier bis über 10 m mächtige Ströme übereinander — unterscheiden sich die unteren Ströme der Abfolge petrographisch vom Typus der normalen Kaiserstühler Leucittephrite. Häufig ist das Auftreten von Ägrin-haltigen grünen Kernen in den Titanaugiten. Der unterste Strom am Burgberg ist ausgezeichnet durch den hohen Anteil mikrolithischer Rhönit-Leisten (SOELLNER 1907), und im mächtigsten Strom im Bruch II fallen Biotitsehsecke bis 2 cm  $\phi$  auf. Erst die höheren Ströme der Abfolge sind als Normaltephrite anzusprechen.

Geometrische Absonderungsformen fehlen im allgemeinen den Lavaströmen des Kaiserstuhls. Nur der Biotittephritstrom zeigt in seinen basalen 2 bis 3 Metern eine regelmäßig plattige Ausbildung. Die Ströme des Burgberges sind allenfalls grobbrecciös ausgebildet. Dieser Effekt wird aber nirgends so stark, daß von einer echten Blocklava gesprochen werden könnte.

Am Burgberg, 300 m westlich der Ruine Burkheim, wurde der SOELLNERSche Leucitophyr wiedergefunden. Dieser ist als Breccie entwickelt und durchbricht die höchsten Lavaströme der Abfolge diskordant mit senkrechten Grenzen. Es könnte sich demnach entweder um eine Gangbreccie oder um eine Schlotfüllung handeln. SOELLNER entschied sich aus Analogiegründen für die Erklärung als Gang, da ihm im Kaiserstuhl keine Oberflächenvulkanite der phonolithischen Familie bekannt waren.

Im näheren Umkreis dieses diskordant gelagerten Vorkommens wurden jedoch konkordant, zwischen den tephritischen Lavaströmen liegend, die zugehörigen leucitophyrischen Tuffe gefunden. Damit steht fest, daß die Deutung als Schlotfüllung zutrifft. In der Fußregion des Sponeckvulkans am Burgberg ist also die Ausbruchsstelle eines niedrigsilifizierten Gliedes der phonolithischen Assoziation mit zugehörigen Tuffen aufgeschlossen.

In der Abfolge des Haberberges und Burgberges schaltet sich zwischen die Schlackenagglomerate im Liegenden und die darübergeflossenen Lavaströme eine Tuffbreccie ein, welche zu den interessantesten Gesteinen des Gebietes zählt.

Der Vergleich dieser Breccie mit den Pyroklastika des Humberges macht den Unterschied zwischen den Produkten eines explosiven Durchbruchs und denen einer Schlackenwurf Tätigkeit erst richtig deutlich. Waren in den Schlackenagglomeraten nur völlig gleichartige Tephritkomponenten vorhanden, so finden sich hier heterogen zusammengewürfelt die verschiedensten Tephrite, Essexite, Essexitporphyrite, Tinguaiten und ähnliche phonolithische Ganggesteine, vereinzelt Kalke und andere Komponenten des nichtvulkanischen Untergrundes. Die nichttephritischen Komponenten sind das wichtigste Material für eine Alterskorrelation der vulkanischen Ereignisse mit dem magmatischen Geschehen im Gesamtkaiserstuhl.

Im Hangenteil schalten sich in die Tuffbreccie einige Lagen eines roten oder ockerfarbenen, feinkörnigen Tuffs ein. Die mächtigste dieser Lagen erreicht 50 cm Mächtigkeit und bildet den Hangendabschluß der Breccie. Das

reichliche Auftreten von Mineralien der phonolithischen Assoziation wie grüner Ägirinaugit, Melanit, Titanit, Leucit und Hauyn in diesen Feintufflagen erinnert an die beschriebenen, bisher nicht erklärbaren grünen Kerne der Augite in den darüberliegenden Tephritströmen. Die Möglichkeit eines Zusammenhangs soll im nächsten Kapitel diskutiert werden.

Die Tuffbreccie ist drei bis vier Meter mächtig, eine Sortierung der bis 1 m  $\phi$  erreichenden Komponenten ist nur angedeutet, die Breccie demnach als chaotisch zu bezeichnen.

Die Breccienkomponenten mit den größten Durchmessern findet man in der Umgebung des Punktes 180,0 der topographischen Karte 1:25 000. Dort ist gleichzeitig die Mächtigkeit von Tuffbreccie und hangender Feintuffschicht am größten. Nordwärts, sozusagen bei weiterem Ansteigen auf dem ehemaligen SE-Hang des Vulkans, nehmen Durchmesser und Mächtigkeit wieder ab. Bei Pkt 180,0 liegt die Projektion der Ausbruchsstelle in den Aufschluß. Nach dem SE-Einfallen der Breccie und der gleichen Fließrichtung der Lavaströme liegt der Schlot wenig nordwestlich in den Rheinalluvionen. Die Explosion und der Lavaausfluß haben also nicht terminal im Zentrum des Kegels am Humberg stattgefunden, sondern exzentrisch bis subterminal auf dessen Südosthang.

Da die Tuffbreccie nach einer längeren Schlackenwurfperiode die laterale Effusion mächtiger Lavaströme eingeleitet und offensichtlich den Weg für den Lavaausfluß freigemacht hat, ist die Bezeichnung *Schloträumungsbreccie* berechtigt.

### Die Entstehung der Schloträumungsbreccie

Durch die Deutung der tephritischen Pyroklastika des Gebietes als Wurf-schlackenagglomerate und nicht als explosive Sprengbreccien wird eine für ein tephritisches Magma durchaus normale, mittlere bis schwache Explosivität gefordert. Um so erstaunlicher ist, daß es daneben Schloträumungsbreccien gibt, für dessen Bildung große explosive Kräfte angenommen werden müssen.

Um diese Diskrepanz zu erklären, wurden die feinkörnigen Lagen im Hangenden der Tuffbreccie genauer untersucht und mit Hilfe von Schwermineralanalysen und Dünnschliffen dem erwähnten Auftreten von Mineralien der phonolithischen Assoziation nachgegangen. Dabei ergab sich folgendes Bild:

1) In den tieferen, ockerfarbenen Feintufflagen besteht die Schwermineralfraktion überwiegend aus zerbrochenen Titanaugiten der durchschlagenen Tephrite. Untergeordnet treten mit Ägirinaugit und Titanit auch Mineralien der phonolithischen Familie auf. Im Dünnschliff erkennt man analogerweise überwiegend feinerriebene Tephrittrümmer, untergeordnet jedoch glasige Partikel mit Einsprenglingen von grünem Ägirinaugit.

2) Über der Tuffbreccie und unmittelbar unter dem tiefsten Lavastrom

liegt ein roter Feintuff aus glasigen Lapilli und Glasaschen. Die Schwermineralanalyse ergab für die unmagnetische Fraktion über 0,2 mm  $\phi$ :

Ägirinaugit	69 % der Körner
Melanit	22 %
Titanaugit	8 %
Titanit, Apatit und Biotit	1 %

Makroskopisch häufiger Hauyn und Leucit haben offensichtlich die Aufbereitung mit mehrmaliger Benzin-Wasser-Sprengung nicht überstanden. So besteht die Leichtmineralfraktion ausschließlich aus gelbbraunen Glasfragmenten.

Diese Mineralien weisen das glasige Material der Feintufflagen als zur phonolithischen Familie gehörend aus. Die wenigen größeren Lapilli (bis 2 cm  $\phi$ ) entsprechen völlig den Leucitophyren des Burgberges.

Aus diesen Produkten — Sprengbreccie, Feintufflagen, Glasaschentuff, Lavaströme — läßt sich das Eruptionsgeschehen auf der Südostflanke des Humbergkegels rekonstruieren:

Eine gewaltige schloträumende Explosion durchbrach die Wurf Schlackenagglomerate und lieferte die Tuffbreccie. Danach stand die Lava noch tief im Schlot, und die entweichenden Gase rissen vorwiegend feinerzriebenes Material der Schlotwände mit sich. Dieser Vorgang lieferte feinkörnige, okerfarbene Tufflagen. Daß sich gleichartige Lagen wiederholt im Hangenteil der Breccie einschalten, zeigt ein mehrfaches Einstürzen und erneutes Leerschließen des Schlotes an. Nach dem Höhersteigen des Lavaspiegels wurde auch zerspratzte Lava als Glaslapilli und Glasaschen ausgeworfen. Sie stammen aus den höchsten Teilen des im Zufuhrkanal vor der Explosion blockierten Magmas und sind nach den gefundenen Mineralien petrographisch als Leucitophyre anzusprechen. Die darauf ausgeflossenen, aus tieferen Teilen des Magmas stammenden Lavaströme sind Tephrite. Vereinzelt hatte auch hier schon die Bildung von Ägirinaugiten eingesetzt. Diese wuchsen nach der Explosion als Titanaugite weiter und liegen heute als grüne Kerne in den Augiten der Tephrite vor.

Solche Verhältnisse lassen sich zwanglos durch einen Plinianischen Ausbruch erklären. Darunter versteht man nach RITTMANN (1933, 1960) einen Ausbruch, in dessen Verlauf sich der Chemismus des gefördert Materials als eine Folge von Differentiationsvorgängen ändert, welche in dem im Zufuhrkanal stehenden Magma abliefen. Der von Plinius beschriebene Ausbruch des Somma-Vesuvus 79 n. Chr. ist typisch und namengebend dafür. Der Mechanismus dieser Vorgänge ist in einer komplexen Differentiation zu sehen. Gravitatives Absinken schwerer Kristalle ist verbunden mit einer durch Gastransport bewirkten Anreicherung pneumatophiler Elemente, besonders der Alkalien, in den oberen Teilen des Magmas. Damit erhöht sich die Explosivität dieses Magmas, bis es zu einem explosiven Durchbruch kommen kann.

Im Falle des tephritischen Magmas des Burkheim-Sponeck-Gebietes genügten diese Differentiationsvorgänge, um in den obersten Teilen des im Zufuhrkanal stehenden Magmas den Chemismus eines niedrigsilifizierten Gliedes der phonolithischen Familie zu erzeugen und somit die Bildung von Agirinaugit, Melanit, Titanit, Hauyn und Leucit zu veranlassen. Nach dem Ausräumen des Schlotes wurde das leucitophyrische Material völlig zerprätzt. Aus tieferen Teilen des im Schlot stehenden Magmas, wo vor der Explosion ein alkalireiches Milieu herrschte, aber noch nicht zur Bildung leucitophyrischer Gesteine ausreichte, stammen die Tephritströme mit aberantem Mineralbestand wie Agirinaugit, große Biotite und Rhönit. Das Auftreten von Rhönit bezeichnet RITTMANN (1960, p. 204) als deutlichen Hinweis auf pneumatolytische Differentiation.

Durch komplexe Differentiation, aber sicher ohne Assimilation, entstand aus einem tephritischen Magma ein Leucitophyr. Dies steht im Gegensatz zu der gegenwärtig anerkanntesten Differentiationsdeutung der Kaiserstuhlgesteine (WIMMENAUER 1963), nach der schon zu Beginn des magmatischen Geschehens zwei getrennte Herde eines alkaligabbroiden Magmas (= essexitische Familie) und eines foyaitischen Magmas (= phonolithische Familie) vorlagen.

Daß der Leucitophyr ein Glied der essexitischen Familie ist und sein den Gesteinen der phonolithischen Assoziation vollständig analoger Mineralbestand nur eine Konvergenzerscheinung darstellt, ist wenig wahrscheinlich. Der Leucitophyr schließt sich als niedrigstsilifiziertes Glied zwanglos an die Reihe Gangphonolith-Tinguait-Hauynophyr-leucitführender Hauynophyr an, so daß an einer gleichartigen Entstehung eigentlich nicht zu zweifeln ist. Der Hauptunterschied zwischen den einzelnen Ganggesteinen der phonolithischen Familie, der Silifizierungsgrad, kann in erster Annäherung vom Vorherrschen eines der beiden Differentiationsphänomene — Alkalianreicherung durch Gastransport oder gravitatives Absinken der Augite — abhängen. Theoretisch kann also jedes der phonolithischen Ganggesteine des Kaiserstuhls auf demselben Weg aus Tephritmagma abgeleitet werden, wie es für den Leucitophyr gezeigt wurde.

Erst genaueres Analysenmaterial wird jedoch Aufschluß in diese petrochemischen Fragen bringen und zeigen, ob die gefundene Schlotdifferentiation wirklich ein Modell im kleinen Maßstab für die Differentiation aller phonolithischen Ganggesteine aus Tephrit darstellt.

### **Zeitliches Verhältnis von Oberflächenvulkanismus und subvulkanischer Intrusivtätigkeit**

Der Untergrund des Geländes bei der Ruine Sponeck besteht auf 350—400 m NS- und 150—200 m WE-Erstreckung aus einem einheitlichen Stock eines holokristallinkörnigen Gesteines, das von älteren Autoren als „Dolerit“ und „Anamesit“ bezeichnet wurde und seit J. SOELLNER (1928) als ein sub-

vulkanisch erstarrtes und daher in Tiefengesteinsfazies vorliegendes Äquivalent der Tephrite aufgefaßt wird. Petrographisch handelt es sich um einen Essexit bis Theralith.

Seit SOELLNER die geologische Selbständigkeit dieser Gesteine erkannte, ist das Altersverhältnis Essexit zu Tephrit ein zentrales, immer wieder diskutiertes Problem der Kaiserstuhlgeologie geblieben. Dies gilt sowohl für den großen Intrusivkörper im Zentrum des Kaiserstuhls als auch für die als analoge Bildung betrachtete kleinere Masse an der Sponeck.

SOELLNER sprach von einer postvulkanischen plutonischen Phase des magmatischen Geschehens. Die Essexite seien nach Abschluß des Oberflächenvulkanismus in die Schlackenkegel intrudiert und somit jünger als die Tephrite.

Nach PFANNENSTIEL (1933) fehlen für diese Auffassung einige wesentliche Befunde, vor allem Tephritschollen im Essexit. Nach den aufgefundenen Verhältnissen müßte die Altersabfolge gerade umgekehrt sein.

Die dritte theoretisch mögliche Deutung gab SCHNEIDERHÖHN (1949): Der Tephrit ist gleich alt wie der Essexit. SCHNEIDERHÖHN glaubte, einen lückenlosen Übergang zwischen Essexiten und Vulkaniten auskartiert zu haben, und stellte das reichlich schematische Bild eines streng einphasigen Vulkanismus auf. Die inneren Teile einer einheitlichen, großen Masse seien grobkörnig erstarrt, während die äußeren Partien Ströme und Tuffe bildeten.

Der Hauptgrund für die völlig verschiedenen Deutungen liegt darin, daß bisher an keiner Stelle im Kaiserstuhl ein Kontakt eines Tiefengesteins mit Tephriten beobachtet werden konnte.

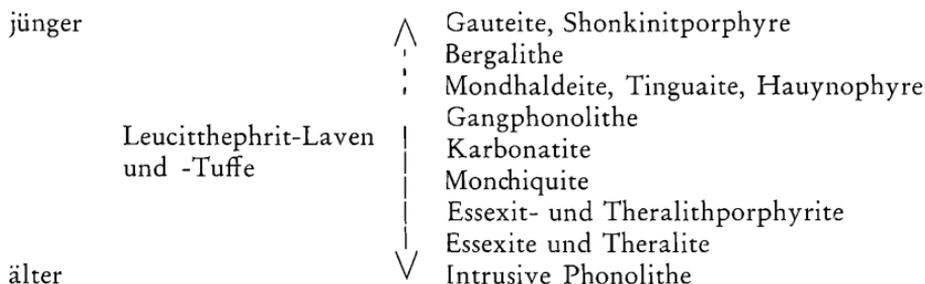
Nur etwa hundert Meter nördlich des Sponeckessexites fand neuerdings WIMMENAUER (1959) im Tephrit aufsetzende essexitische Gänge. Die Gesteine zeigen nicht die porphyrische Struktur selbständiger Essexitporphyritgänge, sondern sind holokristallinkörnig ausgebildet wie der Sponeckessexit, die Korndurchmesser sind jedoch infolge der schnelleren Abkühlung kleiner. Der Schluß, es handle sich um direkte Abzweigungen des Sponeckmassivs und somit um den Beweis der intrusiven Natur des Essexites, scheint demnach durchaus erlaubt.

Die Neuaufnahme (KELLER 1963) erbrachte, daß diese Gänge südwärts mit dem Essexitmassiv verbunden sind und somit seitliche Apophysen des Sponeckmassivs darstellen. Die Deutung WIMMENAUERS wird durch diesen Befund untermauert.

WIMMENAUER (1959, p. 97) stellte daher eine Altersabfolge auf, an deren Anfang der Oberflächenvulkanismus steht. Darauf folgen die subvulkanischen Intrusionen und dann die Bildung der verschiedenen Ganggesteine. WIMMENAUER schließt theoretisch die Möglichkeit nicht aus, daß auch zur Zeit der Intrusivtätigkeit der Oberflächenvulkanismus noch anhielt, Argumente dafür fehlten jedoch.

Auswürflinge von Essexit, Essexitporphyrit und Tinguait in der Schlot-räumungsbrecchie des Haberberges und Burgberges (vgl. S. 122) sind erstmals Beweise für diese Tatsache. Außerdem wurden bei Vergleichsbegehungen am Henkenberg Auswürflinge von Gangphonolith und Karbonatit gefunden.

Das Schema der zeitlichen Aufeinanderfolge der Ereignisse müßte also unter Einschluß des westlichen Kaiserstuhls so modifiziert werden, daß auch zur Zeit der jüngsten Gangbildungen der Oberflächenvulkanismus noch tätig war:



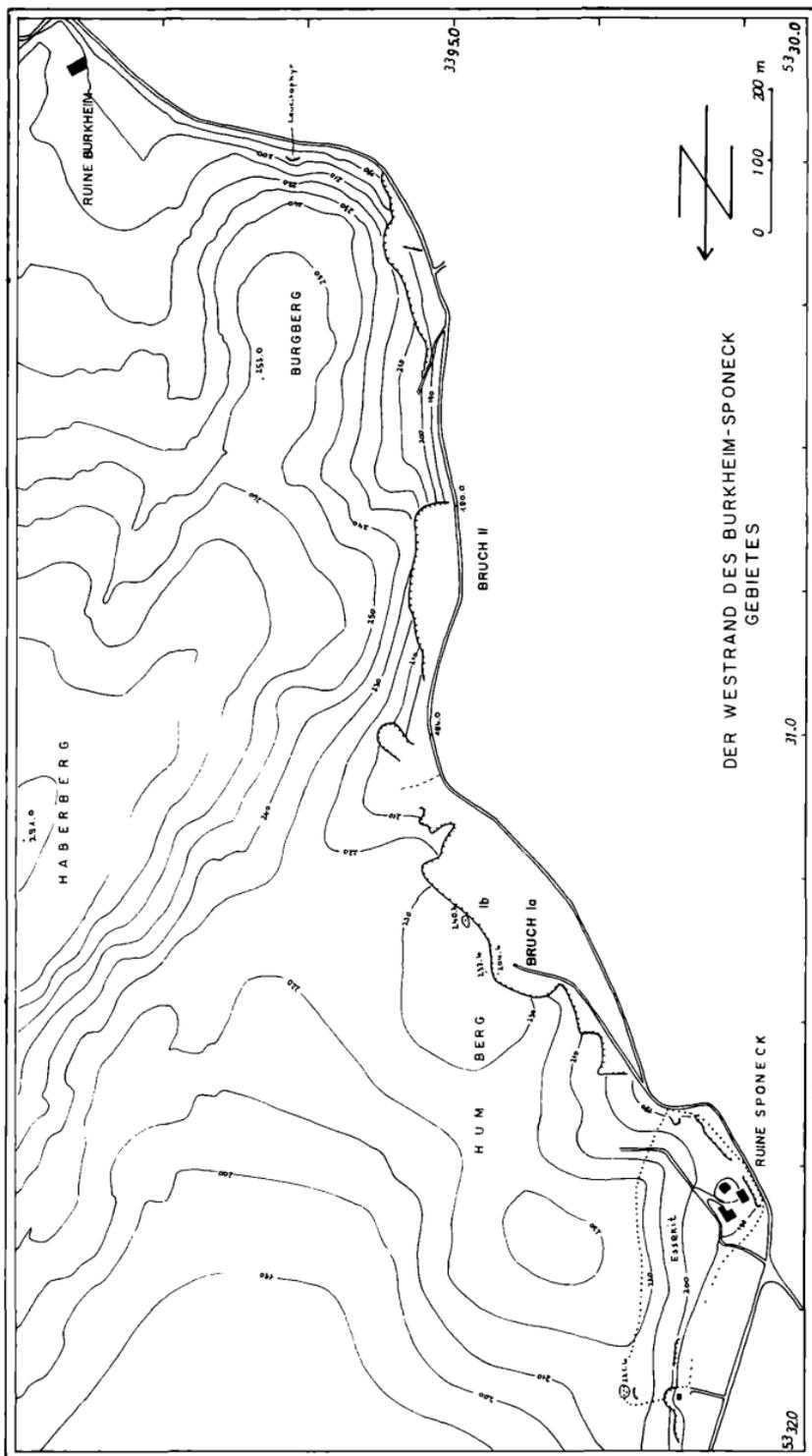
Sämtliche Gesteine, deren Einordnung nur durch Orientierung an den Tephriten erfolgt war, sind im Augenblick nicht mit Sicherheit einzuordnen. Die Eruptiva des Limberges, deren posttephritisches Alter bisher unwidersprochen ist, kämen zeitlich neben oder nach den jüngsten Ganggesteinen, eine Meinung, die auch schon bei SOELLNER (1928) zu lesen ist. Die zeitliche Begründung für das Fehlen von Ganggesteinen an der Limburg erscheint also ebenso wahrscheinlich wie die räumliche.

WIMMENAUER (1963) unterteilte aufgrund der neuen Befunde die Tephrite in „Ältere Tephrit-Laven und -Tuffe“ und „Jüngere Tephrit-Laven und -Tuffe“ Wohl lief der Tephritvulkanismus in verschiedenen Phasen und mit Unterbrechungen ab. Ein bedeutender Hiatus, etwa angezeigt durch Verwitterungsbildungen, der eine solche Zweiteilung rechtfertigen könnte, ist jedoch bisher nirgends sichtbar.

### Gesamtbild des Sponeckvulkans

Im Komplex des Humberges, Haberberges und des Burgberges ist das Zentrum und der südöstliche Außenhang eines dem Kaiserstuhl westlich vorgelagerten Vulkankegels mit mehreren Ausbruchsstellen erhalten.

In ältere pyroklastische Gesteine ist an der Sponeck eine größere Essexitmasse intrudiert. Auf diesen ältesten Vulkaniten des Gebietes baute sich — vor oder nach der Essexitintrusion — ein Wurf Schlackenkegel auf, dessen Krater südlich der Sponeck bzw. westlich des Humberges lag und dessen südöstlicher Abhang bis an den Burgberg zu verfolgen ist. Sein Zentrum ist durch das Auftreten zahlreicher Lagergänge ausgezeichnet (= Lagergang-



serie), der Charakter der pyroklastischen Gesteine ist durch Mineralumwandlungen stark verschleiert. Schon postessexitisch sind mächtige, exzentrisch auf der Südostflanke des Vulkankegels ausgeflossene Tephritströme vorhanden. Diese Effusivperiode wurde durch eine schloträumende Plinianische Eruption eingeleitet. Die Produkte dieser Plinianischen Eruption sind eine Schloträumungsbreccie mit für die Alterskorrelation wichtigen Essexit- und Tinguaitauswürflingen und ein leucitophyrischer Glasaschentuff. Das leucitophyrische Material ist das Produkt einer Schlotdifferentiation des im Zufuhrkanal blockierten Tephritmagmas.

An NNE, ESE und SE gerichteten Störungen wurde der Vulkanbau in einzelne Schollen zerlegt. Es handelt sich vorwiegend um einen gestaffelten Einbruch des Zentrums gegenüber den südöstlichen Teilen des Kegels.

Als wohl jüngste Bildung entstand postessexitisch und posttektonisch im Bereich des ehemaligen Zentrums am Humberg noch ein kleiner, tephritischer Wurf Schlackenkegel.

### Angeführte Schriften:

- EISENLOHR, O.: Geognostische Beschreibung des Kaiserstuhls bei Freiburg im Breisgau. — Inaug.-Diss. Freiburg, 124 S., Karlsruhe 1829.
- KELLER, JÖRG: Der Vulkanismus des Burkheim-Sponeck-Gebietes im westlichen Kaiserstuhl. — Maschinenschriftl. Diplomarbeit Geol.-Pal. Institut Universität Freiburg, 50 S., 1963.
- KNOP, A.: Der Kaiserstuhl im Breisgau. Eine naturwissenschaftliche Studie. — 534 S., Leipzig 1892.
- PFANNENSTIEL, MAX: Die Geologie des Kaiserstuhls. — In: Der Kaiserstuhl, S. 18—127, Freiburg i. Br. 1933.
- RITTMANN, ALFRED: Die geologisch bedingte Evolution und Differentiation des Somma-Vesuv-Magmas. — Z. Vulk. 15, S. 8—94, Berlin 1933.
- Vulkane und ihre Tätigkeit. — Stuttgart, 2. Auflage 1960.
- SCHNEIDERHÖHN, HANS: Der Kaiserstuhl. — In: HOENES-MEHNERT-SCHNEIDERHÖHN: Führer zu petrographisch-geologischen Exkursionen im Schwarzwald und Kaiserstuhl, S. 31—45, Stuttgart 1949.
- SOELLNER, JULIUS: Über Rhönit, ein neues ängmatitähnliches Mineral und über das Vorkommen und die Verbreitung desselben in basaltischen Gesteinen. — Stuttgart 1907
- Über ein neues Vorkommen von Leucitophyr und Leucitophyrbreccie im Kaiserstuhl. — Zentr. Bl. Min. Geol. und Pal. 18, S. 571—574, Stuttgart 1912.
- Über essexitisch-thermalisch-monzonitische Tiefengesteine aus dem Kaiserstuhl und ihre Bedeutung für den Aufbau desselben, zugleich ein Überblick über die gesamten Entwicklungsphasen des ehemaligen Kaiserstuhlvulkans. — Mitt. Bad. Geol. Landesanst. 10, S. 1—93, Freiburg 1928.
- STOBER, GÜNTER: Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Kaiserstuhles und des Limberges. — Inaug.-Diss., 71 S., Freiburg i. Br. 1955 (maschinenschriftlich).

- WENTWORTH, CH. K., & WILLIAMS, H.: The Classification and Terminology of Pyroclastic Rocks. — Bull. Nat. Res. Council **89**, S. 19—53, Washington 1932.
- WIMMENAUER, WOLFHARD: Erläuterungen zur geologischen Exkursionskarte des Kaiserstuhls 1:25 000. — Freiburg 1959.
- Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Teile VI und VII, N. Jb. Abh. Miner. **99**, S. 231—276, Stuttgart 1963.

# 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: 1964

Band/Volume: [54](#)

Autor(en)/Author(s): Keller Jörg

Artikel/Article: [Zur Vulkanologie des Burkheim-Sponeck-Gebietes im westlichen Kaiserstuhl 107-130](#)