

Das Leucitophyrvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl – eine historische und mineralogische Betrachtung

Simon Spürgin, Tobias Weisenberger & Joachim Hörth

Stichwörter

Kaiserstuhl, Leucitophyr, Gang, Analcim

Zusammenfassung

Am Strümpfekopf bei Bickensohl im Kaiserstuhl wurde ein neuer Leucitophyrgang (phonolithischer Leucitit) aufgefunden. Leucitophyre sind eine Seltenheit im Kaiserstuhl; neben dem hier beschriebenen Leucitophyrgang wurden in den letzten 200 Jahren erst vier gesicherte Vorkommen beschrieben, darunter der bekannte Leucitophyrgang am Eichberg bei Oberrotweil. Der Gang am Strümpfekopf durchschlägt einen mittelkörnigen Essexitkörper (16,2 Ma) und gehört somit zu den jüngeren Bildungen des Kaiserstuhlvulkanismus. Der Mg-Wert (0,2) weist auf deutliche Fraktionierung hin. Der Leucitophyr enthält 42,4 Vol-% Phänokristalle in sehr feinkörnig bis glasig ausgebildeter, grünlich-grauer Matrix, hauptsächlich Leucit-Einsprenglinge >1,4 mm sowie eine zweite, kleinere Leucitpopulation (0,2-0,6 mm). Als weitere Mineralphasen treten Sanidin, Ägirin-Augit, Melanit, Apatit sowie Akzessorien (Magnetit, Biotit, Calcit) auf. Der Leucit ist vollständig zu Analcim umgewandelt, ebenso ist der Feldspat sehr stark alteriert. Verschiedene Befunde (u.a. Habitus und Einschlüsse im Analcim, Mineralchemismus, Risse in und um die Aggregate, Gesteinsalteration) sichern die Interpretation des Analcims als sekundäre Alterationsphase und Pseudomorphose nach primärmagmatischem Leucit.

Anschrift der Verfasser:

Simon Spürgin, Hans G. Hauri Mineralstoffwerk, Bergstr. 114, 79268 Bötzingen, spuergin@gmx.de
Tobias Weisenberger, Mineralogisch-Geochemisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Albertstr. 23 b, 79104 Freiburg, tobias.weisenberger@minpet.uni-freiburg.de
Joachim Hörth, Schwarzwaldstr. 77, 77815 Bühl, jogi.hoerth@t-online.de

The leucitophyre dike from Strümpfekopf, Kaiserstuhl volcano

Key Words

Kaiserstuhl, leucitophyre, dike, analcime

Abstract

A new leucitophyre dike (phonolitic leucitite), which are very rare in the Kaiserstuhl, was found at Strümpfekopf near the village of Bickensohl. Beside this locality, only four leucitophyre descriptions are confirmed during the last 200 years of research; one of them the well-known dike from Eichberg (Oberrotweil). The dike at Strümpfekopf cuts a 16.2 million years old, medium-grained essexite and therefore belongs to the younger products of volcanism in the Kaiserstuhl. The Mg-value (0.2) indicates considerable fractionation. The dike contains 42.4 vol-% phenocrysts in very fine-grained to vitreous matrix, essentially leucite >1.4 mm and a second leucite population of 0.2-0.6 mm. Additional phenocryst phases are sanidine, aegirine-augite, melanite, apatite and accessories (magnetite, biotite, calcite). Leucite is completely decomposed to analcime, sanidine is also heavily altered. Different observations (e.g. shape and inclusions in analcime, mineral chemistry, cracking, rock alteration) confirm the secondary origin of analcime pseudomorphs after primary magmatic leucite.

1. Einleitung

Leucitophyrgesteine sind im Kaiserstuhl eine große Seltenheit, weshalb hier ein bisher unpubliziertes Vorkommen am Strümpfekopf bei Bickensohl beschrieben werden soll, welches 1999 von J. Hörth entdeckt wurde. Während phonolithische Leucitophyre im Kaiserstuhl eine Rarität bilden, weisen Leucitophyre bei den Ergussgesteinen in der Peripherie des Kaiserstuhls eine erhebliche Verbreitung auf.

1.1 Geologischer Rahmen

1.1.1 Der Oberrheingraben

Der 30-50 km breite Oberrheingraben ist eine aktive, NNE-SSW streichende tektonische Großstruktur, die über etwa 300 km von Frankfurt im Norden bis Basel im Süden verfolgt werden kann. An beiden Enden bestehen Verbindungen zu weiteren kontinentalen Grabensystemen, dem Rhönegraben und den Gräben am Niederrhein und in Hessen.

Hinweise auf magmatische Aktivität findet man sowohl im Grabeninneren als auch an dessen Flanken. Seit der Oberkreide und während der Grabenöffnung im Känozoikum durchschlugen zahlreiche alkalibasaltische Gänge und Diatreme jüngere Sedimentschichten. Petrologisch handelt es sich hauptsächlich um primitive, unfraktionierte Zusammensetzungen (Olivinmelilithite und Olivinnephelinite), welche eine primäre, niedriggradige Aufschmelzung des unterlagernden Erdmantels reflektieren (KELLER 2001). Altersdatierung

gen zeigen, dass die Aktivität im Campanium vor 81 Ma (K/Ar-Geochronologie, LIPPOLT et al. 1976) begann und ihren Schluss- und Höhepunkt im Miozän vor 19-16 Ma mit der Entstehung des Kaiserstuhls im südlichen Oberrheingraben fand.

Der Kaiserstuhl liegt direkt am Schnittpunkt einer NNW-SSE streichenden Verwerfung des Oberrheingrabensystems mit dem WNW-ESE streichenden Dreisamgraben, welcher die westwärtige Verlängerung des Bonndorfer Grabens darstellt (HÜTTNER 1996, SCHREINER 1996). Diese Konfiguration erleichterte den Magmenaufstieg im Bereich eines deformierten Krustensegments (BOURGEOIS et al. 2007).

1.1.2 Der Kaiserstuhl

Der Kaiserstuhl (Abb. 1) erhebt sich etwa 270 m über die Oberrheinische Tiefebene (Totenkopf 557 m. ü. M.) und hat eine Ausdehnung von rund 16 x 12 km. Die westlichsten Oberflächenaufschlüsse liegen direkt am Rhein.

Es können drei Haupteinheiten des Kaiserstuhls unterschieden werden:

1. Ein prävulkanischer Horst im Osten, welcher aus Sedimentiten (Kalke und Mergel) des Juras und des Paläogens besteht. Diese sind heute teils von Vulkaniten bedeckt;
2. Das eigentliche Vulkangebäude, ein komplexer Stratovulkan, und einige parasitäre Eruptionszentren (Breisach, Sasbach), bestehend aus Laven und Pyroklastiten;
3. Größere subvulkanische Magmatitkörper und Gänge (Essexit, Phonolith, Karbonatit) sowie Diatrembrekzien des zentralen Kaiserstuhls, welche in die Oberflächenvulkanite und die Sedimentite des östlichen Kaiserstuhls intrudierten.

Im zentralen Kaiserstuhl wurden mehrere hundert Meter des Vulkangebäudes durch Erosion abgetragen. Somit stehen heute im Zentralbereich stratigraphisch tiefere, am Westrand des Kaiserstuhls hingegen höhere vulkanische Gesteine an (z.B. WIMMENAUER 2003).

Der Kaiserstuhlvulkan ist ein Alkaligesteins-Karbonatit-Komplex (KELLER 2001). Es wird angenommen, dass die Kaiserstuhlvulkanite von zwei unterschiedlichen Stammmagmen abzuleiten sind (KELLER 1984, 2001, SCHLEICHER & KELLER 1991). Dabei handelt es sich einerseits um ein primäres olivinnephelinitisches Magma, welches man an vielen Stellen im Oberrheingraben vorfindet und das im Kaiserstuhl am Limberg-Lützelberg-Komplex (bei Sasbach) in primärer Form, sowie als leicht fraktionierter Basanit ("Limburgit") auftritt. Die Karbonatite sowie die Melilithite ("Bergalith") werden auch als Derivate dieses Stammmagmas gedeutet. Die zweite Ausgangszusammensetzung ist hypothetischer Natur. Hierbei handelt es sich um ein initial fraktioniertes und eventuell durch krustale Gesteine kontaminiertes K-basanitisches Magma, welches nicht an der Erdoberfläche auftritt. Die hiervon abgeleiteten Extrusiva und Intrusiva werden in zwei petrographisch unterscheidbare "Familien" mit unterschiedlicher Fraktionierungsgeschichte unterteilt. Die *essexitische Familie* umfasst hauptsächlich Leucit- und Olivintephrite sowie Essexite, die *phonolithische Familie* höher differenzierte Mitglieder wie Phonolith und leukokrate Ganggesteine. Die an einigen Stellen beobachtbare Wechselfolge von Tufflagen beider Familien lässt auf gleichzeitige Präsenz, aber eine räumliche Trennung beider Magmensysteme im Untergrund schließen (WIMMENAUER 1962a).

Altersdatierungen (zusammengestellt in WIMMENAUER 2003) belegen den Beginn der vulkanischen Aktivität vor 19 Ma. Die Eruption der Tephrite fand zwischen 18,2 und 16,5 Ma statt, und die subvulkanischen Gesteine des zentralen Kaiserstuhls intrudierten zwischen 18,4 und 15,3 Ma. Den Abschluss fand der Oberflächenvulkanismus mit der Entstehung des Limberg-Lützelberg-Komplexes vor 16,2 Ma (KRAML et al. 2006).

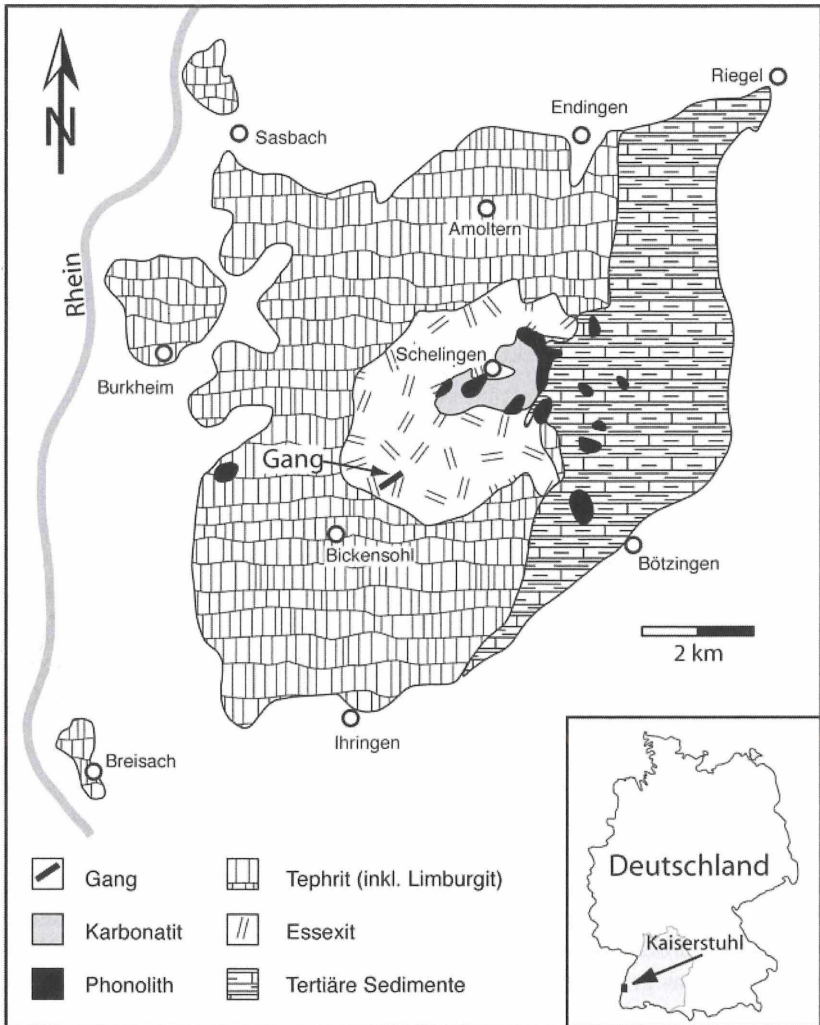


Abb. 1: Vereinfachte geologische Karte des Kaiserstuhls (nach WIMMENAUER 1962b und SIGMUND 1996). Die Leucitophyr-Lokalität am Strümpfekopf ist dargestellt (Gang).

1.2 Die Ganggesteine des Kaiserstuhls

Der vulkanische Kaiserstuhl, insbesondere sein zentraler, subvulkanischer Bereich, ist von mehreren Generationen von Ganggesteinen durchschlagen. An einigen Stellen, etwa am Horberig bei Oberbergen, ist das Nebengestein nur noch in kleinen Schollen zwischen den zahlreichen Gängen vorhanden (WIMMENAUER 1962a). Im Allgemeinen verlaufen die Gänge radial zum Zentrum des Kaiserstuhls. Die meisten Ganggesteine stellen geochemische Äquivalente sowohl der Intrusiva als auch der Laven und Pyroklastite dar. Anhand ihrer petrographischen Erscheinung werden auch sie der essexitischen bzw. der phonolithischen Familie zugeordnet.

Die Ganggesteine der *essexitischen Familie*, Essexitporphyre und Theralite, enthalten makroskopische Phänokristalle von Augit, untergeordnet Plagioklas und Magnetit in einer feinkörnigen Matrix. Alkalifeldspat, Titanomagnetit und gelegentlich Leucit, Biotit und Amphibol sind mikroskopisch zu beobachten.

Die bis zu 10 m mächtigen, porphyrischen Ganggesteine der *phonolithischen Familie* können anhand ihres Feldspat/Foid-Verhältnisses in drei Typen unterteilt werden:

Phonolithische Gänge sensu stricto haben ein Feldspat-Foid-Verhältnis von $>1:1$ und weniger als 20 % mafische Minerale;

Tinguaite, mit einem Feldspat-Foid-Verhältnis zwischen $1:1$ und $1:10$, können bis zu 30 % mafische Minerale enthalten;

Hauynophyre und Leucitophyre haben ein Feldspat-Foid-Verhältnis von $<1:10$, der Gehalt an mafischen Mineralen entspricht dem der Tinguaite.

Mafische Minerale in diesen Gesteinen sind Ägirin-Augit, Melanit, Wollastonit, Titanit und Apatit; häufige Phänokristalle sind in allen drei Typen Feldspäte, Foide, Ägirin-Augit sowie Melanit (WIMMENAUER 1962a).

1.3 Historische Betrachtung der Leucitophyrvorkommen im Kaiserstuhl

Trotz der Seltenheit Kaiserstühler Leucitophyre hat dieses Gestein bei der geologischen Erforschung des tertiären Vulkangebirges vor den Toren Freiburgs im 19. Jahrhundert eine bedeutende Rolle gespielt, weshalb hier ein Exkurs in dessen Erforschungsgeschichte erfolgen soll.

Damals war im Wesentlichen nur ein Leucitophyrgang am Kaiserstuhl bekannt, nämlich am Eichberg bei Oberrotweil. Über diesen Gang schreibt Adolf KNOP in seiner Kaiserstuhlmonographie 1892:

„Dieses Gestein ist eines der berühmtesten des Kaiserstuhls geworden“, „Handstücke von diesem Gestein dürften wohl in allen bedeutenderen Sammlungen zu finden sein. Auch ist dasselbe vielfach Gegenstand petrographischer und mineralogischer Untersuchungen geworden“

So findet dieses Ganggestein Erwähnung in allen Kaiserstuhlarbeiten des 19. Jahrhunderts. In verschiedenen Arbeiten aus dieser Zeit tauchen vereinzelt auch noch andere Vorkommen auf, so bei Bischoffingen, in der Umgegend von Oberbergen und am Badberg, die aber später nicht mehr auffindbar waren und keine Bestätigung mehr erhalten haben.

Der Gang am Eichberg, bzw. seine Hinterlassenschaft als Lesesteine wurde 1812 von C.J. Selb entdeckt und fand die erste Erwähnung bei LEONHARD & SELB (1812) in den „Mineralogischen Studien Band 1“ unter dem Titel „*Melanit und Leucit in Deutschland entdeckt*“:

„Das Breisgau, namentlich die Gegend des sogenannten Kaiserstuhles, ist sehr reich an interessanten Trappgebirgsarten. Ich werde vielleicht im nächsten Bande der Studien, Gelegenheit nehmen, eine von daher erhaltene, sehr instruktive geognostische Suite näher beschreiben. Jetzt ist nur eine vorläufige Nachricht von der Auffindung einiger Mineralien, welche man bis jetzt noch nicht mit Gewissheit als Produkte des vaterländischen Deutschlands kannte. Ich meine den Melanit und den Leucit. Der Melanit – welchen wir bis jetzt nur vom Vesuv, von Frascati und von Albano in der Gegend von Rom erhielten – kommt in der Gegend von Rothweil, unweit des erwähnten Kaiserstuhles im Breisgau vor. Er trägt alle Kennzeichen, welche ihm, der bis daher vorhandenen Beschreibungen zur Folge, eigen sind. Ich besitze ihn in losen, ungemein deutlichen Krystallen: Sehr regelmäßige Granat-Dodekaeder; an allen Kan-

ten schwach abgestumpft, und eingewachsen in einer etwas aufgelösten grünsteinartigen Gebirgsart, welche, durch die ganze Masse, zahllose Leucit-Krystalle eingemengt enthält. Der Leucit – bisher am häufigsten, aber doch nicht ausschließlich, unter den Auswürflingen der Vulkane der Gegend von Neapel und in denen des ehemaligen Kirchenstaates gefunden – kommt am genannten Orte im Breisgau in Begleitung des Melanites vor und vereinigt in sich das Charakteristische der vom verstorbenen Karsten sogenannten unebenen Art der Leucit-Gattung, das heißt er ist: gelblichweiß, das zum graulichweißen sich mehr oder weniger neigt, seine Krystallform ist die achtseitige Doppel-Pyramide, mit vier, auf die abwechselnden Seitenkanten aufgesetzten Flächen, etwas flach zugespitzt, die Krystalle sehr klein und einzeln und zu mehreren zusammen in die erwähnte grünsteinartige Gebirgsart eingewachsen, er ist matt, im Bruch uneben, von kleinem Korne, das zuweilen schon dem splittrigen nahe kommt, hat konzentrischschalige abgesonderte Stücke, ist undurchsichtig, hart, das wegen des aufgelösten Zustandes mitunter schon ans halbharte grenzt, oft auch vollkommen in dasselbe übergeht und sehr spröde.“

ITTNER beschreibt 1820 ausführlich das Leucit- und Melanitvorkommen am Eichberg bei Oberrotweil, was ihn allerdings nicht davon abhält, als „Neptunist“ und Anhänger der Lehre Werners, dem Kaiserstuhl seinen bereits Ende des 18. Jahrhunderts von Ph. Fr. de DIETRICH (1783) und H. de SAUSSURE (1794) erkannten vulkanischen Ursprung abzusprechen. Ittner war sich seiner Sache so sicher, das er sich sogar steinigen lassen wollte, mit „Kaiserstühler Vulkangesteinen“, falls dort solche gefunden werden sollten. Die Antwort von SELB kam dann 1823:

„Ueberhaupt spricht sich wohl nirgends die Vulkanität des Basaltes überzeugender aus, als hier und in der Gegend von Sasbach, wovon weiter oben. So findet man am Eichelberg bei Rothweil, an dessen Abfall nach der Straße, außer dichtem graulich-schwarzem, aschgrauen, kleinporösen Basalt, der den Feuertyp unläugbar an sich trägt, und nach Gefühl und Auge, als gebrannte Masse erscheint. Uebrigens ist der Eichelberg, auch Loretoberg genannt, reichlich kultiviert, und größtentheils mit Reb- gewächsen bepflanzt, wodurch denn manches Bemerkenswerthe des Anorganischen dem Auge entzogen wird; daher findet man daselbst auch die grünsteinartigen Laven – Hauy's Laves lithoides feldspathiques et amphiboliques, - in welchem die Leucite vorkommen, nur Geschiebweise, und kennt bis jetzt ihren Fundort nicht, der aber höchst wahrscheinlich nicht ferne seyn mag.“

EISENLOHR beschäftigt sich dann 1829 mit dem Kaiserstuhl, wo ein eifriger und geschäftstüchtiger Mineralienhändler die Aufschlussmöglichkeiten bereits verbessert und den Gang freigelegt hat. Er schreibt:

„Der Eichelberg, welcher das Rothweiler Thal von dem Bischoffinger scheidet, ist am untern Theile mit Dammerde bedeckt und angebaut; weiter oben hat aber J. N. Schüble die Felsmasse angebrochen und dadurch die eigentliche Lagerstätte des Leucitgesteines aufgedeckt, das man bisher nur in Rollstücken auf dem Felde gefunden hatte. Es besteht aus einer grünlichgrauen Feldsteinmasse, die mit Leucitkrystallen übermengt ist, nur wenige Augite enthält und nicht auf den Magnet einwirkt. Es besitzt keine bedeutende Härte, ein spec. Gewicht von 2,4, ist oberflächlich meist aufgelöst, in der Tiefe hart und dem am Kapellenberg vorkommenden Dolerit ähnlich. ... Die Leucitkrystalle sind in großer Menge vorhanden, meist aber klein, selten findet man Krystalle von 2''' Durchmesser, oft sind sie kaum durchs Mikroskop erkennbar. An der Oberfläche des Gesteins sind sie meist verwittert und zu Kaolin umgewandelt, so dass man häufig nur die zurückgelassenen Eindrücke bemerkt. In größerer Tiefe sind sie frisch und durchscheinend, werden jedoch an der Luft bald mit einer weißen Rinde überzogen. Bitterkalk findet sich häufig in Drusenräumen; Hornblende, meist mit dem Gestein innig gemengt, kommt in ziemlich großen Nestern vor; seltener zeigen sich Melanit und glasier Feldspat und nur zuweilen bemerkt man Spuren zersetzten Chrysoliths.“

Das Leucitophyrvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl

SCHILL veröffentlicht 1854 in seiner Arbeit eine Gesteinsanalyse des Leucitophyrs und 1855 findet sich bei Gustav LEONHARD in den „Die Mineralien Badens nach ihren Vorkommen“ eine Leucit-Analyse von SCHILL (1855). 1856 veröffentlicht dann STAMM eine Analyse des angeblichen Leucits vom Eichberg in den Annalen der Chemie und Pharmazie mit dem Ergebnis, das es sich um Analcim handelt. Darauf schreibt F. Sandberger (STAMM 1856, in einer Anmerkung dazu):

„Die in vorstehender Analyse untersuchten Krystalle sind bis vor kurzer Zeit allgemein für Leucit gehalten und vielfältig mit dem Vorkommen dieses Minerals im Albanner Gebirge verglichen worden, um so mehr, als in den sie umschließenden Gesteinen ebenfalls häufig Melanit eingewachsen erscheint. Die obige Analyse beweist, dass diese Ansicht irrig war und sie zum Analcim gerechnet werden müssen, welcher in den übrigen, durch glasigen Feldspath porphyrtartigen Trachytgängen des Kaiserstuhles auf Drusenräumen in Begleitung von Kalkspath, z. B. an den Thalwänden zwischen Schelingen und Oberbergen, bei Oberschaffhausen, häufig ist, in der Grundmasse eingewachsen bei diesen Gesteinen aber nicht vorkommt. Mit der Widerlegung des Vorkommens von Leucit am Kaiserstuhl schwindet eine seither oft hervorgehobene Analogie dieser Erhebungsmasse mit eigentlich vulkanischen Gebieten, der Melanit allein bleibt für eine solche noch übrig, und auch dieser beweist nicht viel, da Granat auch sonst in Basalten, z. B. bei Neunkirchen auf dem nassauischen Westerwalde, in Körnern eingewachsen getroffen wird. Das Vorkommen von Analcim in eingewachsenen Krystallen ist, wenn auch nicht das gewöhnliche, doch keineswegs ohne Beispiel in anderen Gegenden; der längst bekannte Analcim-Dolerit oder Analcimit der Cyclophen-Inseln stimmt vielmehr in dieser Beziehung mit den Analcim-Trachyten des Kaiserstuhls völlig überein.“

Diese Anmerkung wird 1858 von BLUM heftig angegriffen, der schon richtig erkannt hat, dass die aufgelöste grünsteinartige Felsart nicht mehr in frischem Zustande vorliegt, sondern bereits durch Verwitterung Mineralumbildungen im Gange waren und hier verwitterter Leucit vorliegt. BLUM (1885) vergleicht die Analysen von SCHILL (1854) und STAMM (1856) und bemerkt:

„Die Resultate jener Analyse sind sehr interessant und wichtig, geben jedoch keinen Beweis für die Ansicht, welche Herr Professor Sandberger, auf sie gestützt, aussprach; denn obwohl sie der Zusammensetzung des Analcims entsprechen, so ist damit noch nicht gesagt, dass dieses Mineral sich gleichzeitig mit dem es umschließenden Gestein gebildet habe, vielmehr geht aus dem zersetzten Zustande des letzten, in welchem J. Schill einen Wassergehalt von 7,16 % nachgewiesen hat, deutlich hervor, dass auch das eingeschlossene Mineral verändert worden sey, und dass das, was jetzt Analcim ist, früher Leucit war.“

Weiterhin stellt er fest, dass die von Sandberger (STAMM 1856) zum Vergleich herangezogenen Analcime der Cyclophen-Inseln auf Klüften und nicht im Gestein eingewachsen vorkommen und dass bei Untersuchungen von RAMMELSBERGER (1856) bei Leuciten der Rocca Monfina ähnliche Verhältnisse der Umwandlungen des Leucits festgestellt wurden.

Herr G. ROSE bestätigte 1858 auf der März-Sitzung der deutschen geologischen Gesellschaft in Berlin im Wesentlichen die Analyse von Stamm und vergleicht die Verhältnisse mit den Vorkommen der Rocca Monfina, wo ähnliche Analyseergebnisse der Leucite gefunden wurden. H. FISCHER erläutert dann 1862 die sonstige Paragenese des „Eichbergtrachytes“:

„In dem Trachyte des Eichbergs bei Rotweil, worin Melanite, Leucite, auch Hornblendearten bis zu 1 ½ Zoll Länge und fast 1 Zoll Breite liegen, trifft es sich an vielen Stellen, dass die sonst in demselben reichlich zerstreuten schwarzen Nadeln (Amphi-

bol?, Augit?, sichere Bestimmung ist kaum möglich) sich mit den eben so reichlich einzeln zerstreuten weissen, verwittert aussehenden, durch Befeuchtung besser erkennbaren Oligoklas-Kryställchen näher und zonenweise in regelmässiger Verwachsung zusammenfinden und dann ganz das Aussehen von Bröckelchen einer eingeschlossenen fremden Felsart nachahmen, während die Erscheinung auf obige Weise erläutert, gar nicht Befremdetes an sich hat. In einer solchen Zone fand ich auch honiggelbe Kryställchen von Sphen, der ausserdem im Dolerit des Hoberiges gefunden wird, und Apatitnadeln.“

Mit seinen Untersuchungen am Leucitophyr vom Eichberg entwickelte Julius SCHILL (1853/1854) als erster deutscher Autor den Gedanken der magmatischen Differentiation (zitiert aus WIMMENAUER 1981):

„Die Gewichtsverschiedenheit und verschiedene Schmelzbarkeit der Mineralien in gewissen Beziehungen zueinander konnten ebenfalls durch durchschnittliche Zusammensetzungen der Gesteine,....modificieren. Schon die Betrachtung deutlich ausgeschiedener Mineralien in krystallinischen Gesteinen lehrt, dass sich einzelne Mineralien, gleichsam wie in einem Vorrecht zur ungehinderten Ausbildung nach den Bedürfnisse der Krystallisation, in der Masse unbeschränkt einräumten, während andere nur jene Räume einnehmen durften, welche zwischen den ersten Besitznehmenden übrigblieben, somit dass letztere sich an die ersteren anlegten und sie umgaben. Die erstlich ausgeschiedenen Mineralien sind entweder dicht oder sparsam klumpenweise, oder auch gewissen Richtungen nachziehend, in der Masse vertheilt, oder es sind die kleinen Krystalle nur hier und die grösseren dort zu treffen, obgleich alle aus der gleichen Masse und in ihr ausgeschieden wurden. Diese bekannten Thatsachen setzen voraus, dass sich die zuerst abgeschiedenen Mineralien während ihrer Bildung in einem freien Zustand befanden und selbst gegen die Umgebung sich durch ihren Aggregatzustand und ihr Gewicht äussern konnten; was wieder nur sich ereignen konnte, wenn sich die Gesteinsmasse in einem flüssigen, zähen oder teigartigen Zustand befand und der Krystall wenigstens dem Erstarren nah war. In dieser Zeit konnte z.B. der Leucit durch sein geringeres specifisches Gewicht die oberen Gegenden eines eisenoxydulreichen leichtflüssigen trachyitischen Gesteines durchziehen und dieses, wie am Eichberg bei Rothweil zum Leucit-Porphyr herbilden; die schwere Schmelzbarkeit dieses Minerals begünstigte die zahlreiche Ausscheidung von Krystallen von ihrer Kleinheit.“

In einer Abhandlung zum Wandel der wissenschaftlichen Anschauung der Gesteine des Kaiserstuhls schreibt WIMMENAUER (1981) zu Schills Beobachtung und dessen Erklärungsversuch:

„In einer etwas umständlichen Sprache, letztlich aber doch mit großer Klarheit, sind hier das Zustandekommen der porphyrischen Struktur magmatischer Gesteine mit idiomorphen Einsprenglingen in einer Grundmasse und das Prinzip der gravitativen Kristallisationsdifferentiation geschildert. Das an früh gebildeten, idiomorphen Leuciteinsprenglingen reiche Gestein vom Eichberge wird durch Aufstieg dieses relativ leichten Minerals und dessen Anreicherung im oberen Teil einer nicht näher beschriebenen Magmakammer gedeutet. Wenn auch die Ausführungen SCHILLS chronologisch nicht die ersten ihrer Art sind (schon 1844 hatte C. DARWIN Beobachtungen über das Absinken der Erstausscheidungen in Eruptivgesteinen mitgeteilt), so scheinen sie doch ganz aus eigenen Beobachtungen und Überlegungen zu entspringen; sie öffnen auf jeden Fall neue Gesichtspunkte für die Interpretation der Gesteine im Kaiserstuhl.“

Im 20. Jahrhundert wurden dann noch einige weitere phonolithische Leucitgesteine beschrieben, die nicht unerwähnt bleiben sollen. Trotzdem bleiben Leucitophyrvorkommen im Kaiserstuhl eine große Rarität. SOELLNER beschreibt 1912 eine von ihm entdeckte Leucitophyrbreccie am Burgberg bei Burkheim, die in der Folgezeit als verschollen galt und von Jörg KELLER 1963 wieder aufgefunden wurde. 1913 beschreibt SOELLNER einen

Leucitnephelintinguaitporphyr als Lesesteinfund aus der Umgebung von Ihringen. Lothar ZOTZ berichtet 1924 über bis faustgroße Xenolitheinschlüsse eines leucitophyrartigen Gesteines mit bis 12 mm großen Leuciten in einem Phonolithvorkommen bei Eichstetten.

2. Analytische Methoden

Quantitative Mineralanalysen wurden an einer CAMECA SX 100 Elektronenstrahl-Mikrosonde durchgeführt. Haupt- und Nebenelemente in den Mineralen wurden 20 Sekunden mit einer Beschleunigungsspannung von 15 kV und einem Probenstrom von 8 nA gemessen. Na wurde stets zuerst gemessen, um Verluste während des Meßvorgangs zu minimieren. Zur Kalibration wurden natürliche und synthetische Standards verwendet.

Gesamtgesteinsanalysen wurden an einem Philips PW 2404 Röntgenfluoreszenzspektrometer durchgeführt. Sämtliche Analysen wurden am Mineralogisch-Geochemischen Institut der Universität Freiburg durchgeführt.

3. Der Neufund vom Strümpfekopf

Der unauffällige, grünlichgraue bis leicht rötliche, maximal 20 cm mächtige Leucitophyrangang befindet sich etwa 500 m nordöstlich der Ortschaft Bickensohl (R 34.00026, H 53.28143) zwischen dem Totenkopf (557 m) und dem Strümpfekopf (427 m). Der Aufschluss liegt am Rand eines Wirtschaftsweges im Weinberg (Abb. 1, 2). Erst bei näherer Betrachtung des Aufschlusses fallen die bis zu 1 cm großen "Leucite" auf (Abb. 2), welche den Verlauf des Ganges markieren. Der nahezu senkrecht stehende Gang (Einfallen 89° N) streicht NE-SW (34°) und ist mit unebenen Kontaktflächen in einen mittelkörnigen, mattgrauen Essexitkörper größerer Ausdehnung eingelagert, welcher dem subvulkanisch-intrusiven Bereich des zentralen Kaiserstuhls zuzurechnen ist. Somit ergibt sich für den Leucitophyr ein jüngerer Alter als für den Essexit, den LIPPOLT et al. (1963) bei Oberbergen auf 16,2 Ma (K-Ar-Methode) datierten.

Das Gestein ist stark alteriert und weist zahlreiche durch Eisenoxide rot gefärbte Klüfte auf (Abb. 2). Diese helfen bei der Unterscheidung vom Nebengestein, da die roten Klüftbelegungen im Essexit weitgehend fehlen, dieser seinerseits aber von zahlreichen, bis zu 2 mm mächtigen, überwiegend calcitgefüllten sekundären Adern durchzogen ist. Die Grundmasse des Ganges ist in frischeren Partien von grünlicher bis grauer Farbe.

Die milchigweißen "Leucit"-Kristalle sind stark verwittert (s.u.). Häufig kann nur noch ein Negativabdruck mit typischem Leucithabitus (Deltoid-Ikositetraeder) auf der Gesteinsoberfläche beobachtet werden.

3.1 Petrographie

Der Leucitophyr von Bickensohl ist ein porphyrisches Gestein mit Phänokristallen von Leucit, Ägirin-Augit, Sanidin, Melanit und Apatit in einer sehr feinkörnigen bis glasigen, grünlichgrauen Matrix. Leucit und Sanidin sind sehr stark alteriert und nahezu vollständig durch sekundäre, Pseudomorphosen bildende Aggregate aus Analcim und einem weiteren Zeolith, vermutlich Laumontit und Phillipsit, sowie Tonmineralen und Calcit ersetzt. Anisometrische Einsprenglinge (Ägirin-Augit, Sanidin und Apatit) sind schwach parallel orientiert und bilden eine undeutliche Fließtextur. Mafische Einsprenglinge sind stellenweise glomerophyrisch akkumuliert.



Abb. 2: Das Leucitophyrvorkommen nahe Bickensohl. a: Der Aufschluss mit dem vertikal stehenden Leucitophyr in Essexitischem Nebengestein (Person als Maßstab). b: Detailaufnahme des Gangs. c: Stark verwitterte Oberfläche des Leucitophyrs mit roten Kluftbelägen. d: Frischer Leucitophyr (poliert) mit weißem Leucit/Analcim bis 8 mm Durchmesser und kleineren Melanitkristallen.

Das Leucitophyrvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl

Tab. 1: Phänokristalle und Matrix des Leucitophyrs.

	Vol-%	Korngröße (mm)		
		min	max	Ø
Leucit klein *	17,2	0,2	0,6	0,2-0,4
Leucit groß *	8,3	1,4	10	2,8
Ägirin-Augit	6,4	<0,1	2,1	0,4-0,5
Alkalifeldspat **	5,6	0,2	2,5	1,1
Melanit	3,9	0,1	2,4	0,4-0,6
Apatit	0,5	<0,1	0,6	
Akzessorien	0,5			
Summe Phänokr.	42,4			
Matrix	57,6			

* ersetzt durch Analcim

** ersetzt durch Laumontit, Tonminerale & Calcit

Der modale Mineralbestand des Gesteins (Tab. 1) wurde durch Auszählen von rund 2000 Punkten unter dem Mikroskop bestimmt. Bezogen auf die Einsprenglingsphasen (42,4 Vol-%) ist die Farbzahl des Gesteins $M = 26,6$. Mit einem Leucitanteil von 82,0 % am Foid-Alkalifeldspat-Verhältnis und dem Fehlen von Plagioklas ergibt sich nach QAPF-Klassifikation und Nomenklatur (LE MAITRE 2002) eine Lage in Feld 15a (phonolithischer Leucitit). Aufgrund der textuellen Eigenschaften und der historischen Verwendung für Gesteine mit reichlich Leuciteinsprenglingen bevorzugen wir den Namen „Leucitophyr“ (nach LE MAITRE 2002).

3.1.1 Leucit/Analcim

Das Zeolithmineral Analcim bildet sekundäre, feinkörnige Aggregate, welche als Pseudomorphosen nach primärem Leucit in Erscheinung treten. Der typische Leucithabitus (Deltoid-Ikositetraeder) mit gut ausgebildeten {211}-Flächen ist deutlich zu erkennen. In dieser Arbeit ist daher von „Leucit“ als primärmagmatischem Mineral die Rede, während, wenn die Alteration und Pseudomorphosenbildung thematisiert wird, von „Analcim“ gesprochen wird. Eine Diskussion der Analcimgenese findet sich in Kapitel 5.

Der isometrische Leucit (25,5 Vol-% des Gesteins) ist mit Abstand der überwiegende Einsprenglingstypus (60 Vol-% aller Phänokristalle gehören hierzu) des Ganges. Auffällig ist die bimodale Korngrößenverteilung. Ein Drittel aller Leucite hat Durchmesser zwischen 1,4 und 10 mm (Tab. 1), während die restlichen zwei Drittel eine Einsprenglingspopulation mit Korngrößen von 0,2 bis 0,6 mm, meist jedoch <0,4 mm, bilden (Tab. 1). Während die großen Leucitkristalle an den Ecken leicht gerundet sind, weisen die kleineren Leucite keine solchen Anzeichen von Korrosion auf.

Die feinkristallinen Pseudomorphosen von Analcim nach Leucit erscheinen im Dünnschliff weißlich bis grau. Risse in diesen Aggregaten sowie in ihrer Umgebung deuten auf die Volumenzunahme von knapp 10 % hin, welche aus der Umwandlung von Leucit in Analcim resultiert (s.u.).

Tab. 2: Mineral- und Matrixanalysen (Mikrosonde).

	Ägirin- Augit	Melanit		Analcim	Analcim (nach Stamm 1856)	Matrix (Durschnitt aus 5 Analysen)
SiO ₂	49,06	32,73	SiO ₂	55,43	54,03	52,56
TiO ₂	0,58	6,29	TiO ₂	0,00		0,41
Al ₂ O ₃	2,73	2,27	Al ₂ O ₃	22,68	22,55	19,15
Fe ₂ O ₃	18,88	25,98	FeO	0,46	1,35	4,74
MnO	0,69	0,41	MnO	0,00		0,28
MgO	7,01	0,36	MgO	0,01	0,57	0,70
SrO			SrO	0,00		0,46
CaO	21,01	32,21	CaO	0,02	2,90	1,74
Na ₂ O	1,66	0,11	Na ₂ O	12,77	10,14	3,60
K ₂ O	0,12	0,03	K ₂ O	0,40	0,71	4,66
Summe	101,73	100,39	Summe	91,77	92,23	88,57*
Si	1,890	2,746	Si	32,445	31,765	
Al ^{IV}	0,110		Al	15,646	15,624	
Ti ^{IV}		0,254	Ti	0,000		
Al ^{VI}	0,014		0,224	Mg	0,009	0,497
Fe ³⁺	0,193	1,510	Fe ²⁺	0,225	0,662	
Ti ^{VI}	0,017		0,143	Mn	0,000	
Mg	0,403	0,045	Sr	0,000		
Fe ²⁺	0,355		0,131	Ca	0,013	1,831
Mn	0,022	0,029	Na	14,492	11,554	
Ca	0,867		2,896	K	0,299	0,533
Na	0,124	0,018	O	96	96	
K	0,006		0,003			
O	6	12				

*Summe beinhaltet Spuren von BaO

Die chemische Zusammensetzung und die Formel des Analcims sind in Tab. 2 dargestellt. Na⁺ ist mit bis zu 14,492 Atomen pro Formeleinheit (A.p.F.) das dominierende Kation außerhalb der Tetraeder. Analcim enthält neben Na⁺ kaum weitere Kationen, lediglich K⁺ weist Gehalte von bis zu 0,299 A.p.F. auf. Der H₂O-Gehalt beträgt 8,23 Gew-% (als Differenz zu 100 %).

3.1.2 Ägirin-Augit

Der makroskopisch sehr dunkle Ägirin-Augit stellt den nächsthäufigen Einsprenglingstyp dar (6,4 Vol-%). Die Korngröße variiert zwischen <0,1 und 2,1 mm und liegt im Mittel bei 0,4-0,5 mm. Die Kristalle sind idiomorph-prismatisch. Bei günstigen Schnittlagen konnte das Längen/Breitenverhältnis der Individuen bestimmt werden, der Durchschnitt liegt bei 3,7.

Im Dünnschliff erscheint Ägirin-Augit pleochroitisch von grün nach gelb. Große Körner sind zoniert (Abb. 3) mit einem hellgrauen, unregelmäßig geformten und nahezu nicht pleochroitischen Kern, in welchem auch Einschlüsse von Magnetit und Biotit auftreten. Eine feine Wachstumszonierung kann in den äußeren pleochroitischen Bereichen üblicherweise beobachtet werden.

Das Leucitophyrvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl

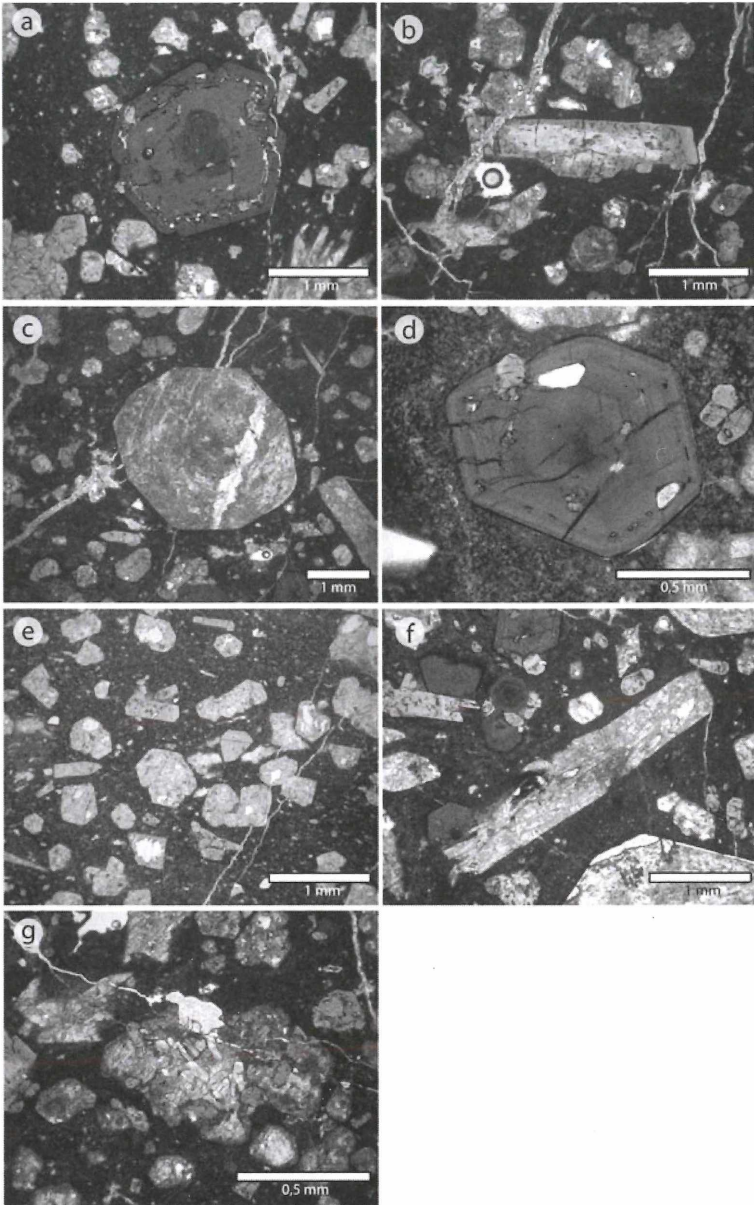


Abb. 3: Der Leucitophyr im Dünnschliff (Hellfeld). a: Brauner, zonierter Melanit mit irregulärem Kern und zahlreichen Einschlüssen. b: Zonierter Ägirin-Augit mit grauem, nicht pleochroitischem Kern. c: Idiomorpher Leuciteinsprengling (feinkörniger Analcim pseudomorph nach Leucit, Expansionsrisse aufgrund der Volumenzunahme durch die Transformation). d: Brauner, zonierter Melanit mit Einschlüssen von Klinopyroxen (grün) und Apatit (hell). e: Kleine Leucit- und Ägirin-Augit-Einsprenglinge. f: Sanidin, pseudomorph umgewandelt. g: Apatit (leicht bläulich) und Calcit (mit ange deuteter Spaltbarkeit) als Einschlüsse.

Die Formelzusammensetzung des Ägirin-Augits, welche sich aus der chemischen Analyse in Tabelle 2 (bezogen auf 4 Kationen und 6 O A.p.F.) ergibt, lautet $(\text{Ca}_{0,87}\text{Na}_{0,12})(\text{Mg}_{0,40}\text{Fe}^{2+}_{0,35}\text{Fe}^{3+}_{0,19})(\text{Si}_{1,89}\text{Al}_{0,12})\text{O}_6$. Weitere Komponenten untergeordneter Bedeutung sind Ti, Mn (beide 0,02 A.p.F.) und K (0,01 A.p.F.). WIMMENAUER (1962a) beobachtete im Ägirin-Augit aus phonolitischen Gängen im Kaiserstuhl eine Zunahme der Ägirinkomponente vom Kristallkern zum Rand. Aufgrund der optischen Eigenschaften ist dies auch bei dem hier untersuchten Ägirin-Augit zu vermuten.

3.1.3 Sanidin

Sanidinleisten (5,6 Vol-%) treten über den gesamten Korngrößenbereich von 0,2 bis 2,5 mm auf (Abb. 3). Größere Körner haben ein Längen/Breitenverhältnis von 5,0, welches mit abnehmender Korngröße kleiner wird. Obwohl eine nahezu vollständige Zersetzung zu Zeolithen, Tonmineralen und untergeordnet Calcit erfolgte, ist der idiomorphe Feldspathabitus durchweg erkennbar. Sanidin überwächst idiomorphen Apatit, Klinopyroxen und Granat (Abb. 3).

3.1.4 Melanit

Die isometrischen, schwarzen Rhombendodekaeder (3,9 Vol-%) von Melanit (titanhaltiger Andradit) haben einen mittleren Durchmesser von 0,4-0,6 mm, treten aber in allen Korngrößen von 0,1 bis 2,4 mm auf. Im Dünnschliff ist der Granat von kräftig brauner Farbe unterschiedlicher Tönung. Er ist durchweg idiomorph ausgebildet, mitunter allerdings leicht verzerrt, und weist lediglich {110}-Dodekaederflächen auf. Viele Körner haben einen irregulären oder diffusen dunkelbraunen Kern (Abb. 3). Die sehr engständige und gut definierte Farbzonierung des Melanits verläuft parallel zu dessen äußeren Umriss (Abb. 3). Zwei deutlich zu unterscheidende Wachstumszonen sind sehr reich an Mineraleinschlüssen, Ägirin-Augit + Apatit in einer älteren und ausschließlich Ägirin-Augit in einer jüngeren Zone (Abb. 3). Die jüngere Zone zeigt gelegentlich Anzeichen leichter Korrosion des Granates.

Die berechnete Formel des Melanits (8 Kationen gesamt, 3 T-Platz-Kationen und 12 O A.p.F., Tab. 2) lautet $(\text{Ca}_{2,90}\text{Fe}^{2+}_{0,13})(\text{Fe}^{3+}_{1,51}\text{Ti}_{0,15}\text{Al}_{0,22})(\text{Si}_{2,75}\text{Ti}_{0,25})\text{O}_{12}$. Weitere Komponenten sind Mg (0,05 A.p.F.), Mn (0,03 A.p.F.) und Na (0,02 A.p.F.).

3.1.5 Apatit

Apatit, 0,5 Vol-%, bildet hexagonale säulige Kristalle mit einer mittleren Größe von 0,2-0,6 mm, der maximale Durchmesser sechseckiger Querschnitte liegt bei 0,4 mm. Der gemittelte Wert für das Längen/Durchmesserverhältnis liegt bei 3,4. Feinkörniger (<0,1 mm) und mehr xenomorph ausgebildeter Apatit tritt häufig als Einschluss in Granat und gelegentlich in Sanidin auf.

3.1.6 Akzessorien

Als Akzessorien (0,5 Vol-%) im Leucitophyr treten Magnetit, Biotit, Calcit sowie eine weitere, stark doppelbrechende, nicht identifizierte Mineralphase auf. Kleine Körner <0,1 mm von Magnetit und selten Biotit sind in den Kernen großer, zonierter Ägirin-Augite eingeschlossen. Calcit, bis zu 0,2 mm groß, ist eine seltene Phase, welche anscheinend bei der Alteration von Sanidin entsteht.

Das Leucitophyrvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl

3.2 Kristallisationsabfolge

Texturelle Beobachtungen erlauben die Identifikation von Wachstumsbeziehungen zwischen den Phänokristallen des Leucitophyrs (Tab. 3). Aufgrund ihrer deutlichen Zonierung und häufigen Mineraleinschlüsse zeigen die mafischen Minerale klar unterscheidbare Wachstumsphasen. Leucit und Feldspat hingegen treten gewöhnlich isoliert in der Matrix auf, sind weitgehend frei von Mineraleinschlüssen und haben eine möglicherweise vorhandene Zonierung durch ihre starke Alteration verloren. Anhand der Beobachtungen lässt sich lediglich eine relativ späte Bildung im Vergleich zu den mafischen Mineralen annehmen.

Magnetit (Mt) und Biotit (Bt) werden als früheste Phasen gebildet, gefolgt von Wachstumsperioden von Klinopyroxen (Cpx) und Melanit (Mel). Diese ältesten Cpx und Mel weisen Korrosion unterschiedlicher Intensität auf, bevor sie von jüngerem Cpx und Mel überwachsen werden und nun als irreguläre Kerne darin erhalten sind. Einschlüsse von Cpx und Apatit (Ap) in klar definierten Wachstumszonen des Granats weisen auf gleichzeitiges Kornwachstum hin. Die nachfolgende Mel- und Cpx-Wachstumsphase ist von einem schwachen Korrosionsereignis unterbrochen, während dem auch zahlreiche Cpx-Einschlüsse im Mel gebildet werden. Die Wiederaufnahme des Kornwachstums führt zur abschließenden Korngröße und -form von Cpx und Mel (Abb. 3).

Einsprenglinge von Leucit, gefolgt von Sanidin (Kfs) + Leucit (Lc) treten ab der Spätphase der Cpx-Bildung hinzu. Kfs erscheint als Zwickelfüllung in Cpx-Aggregaten (Abb. 3) und überwächst idiomorphe Kristalle von Mel (Abb. 3), Cpx und Ap. Als jüngste primärmagmatische Einsprenglingsgeneration tritt eine zweite, kleiner ausgebildete Lc-Population auf.

Die felsischen Bestandteile sind weitestgehend von jüngeren Sekundärmineralen (Analcim, vermutlich Laumontit und Phillipsit, Tonminerale und Calcit) verdrängt.

WIMMENAUER (1962a) beschreibt verschiedene Kristallisationsabfolgen von Phänokristallen in phonolitischen Ganggesteinen des Kaiserstuhls. Die verbreitetste Abfolge ist (Apatit, Titanit, Erz) – Ägirin-Augit – Melanit – Hauyn oder andere Foide (+Wollastonit) – Kalifeldspat. Diese ähnelt der in dieser Arbeit dargestellten Kristallisationsfolge (Tab. 3).

Tab. 3: Repräsentative relative Einsprenglings-Wachstumsbeziehungen. Erläuterungen im Text.

alt						jung				
Mt + Bt	→	Cpx	→	Ap + Cpx	→		Kfs			
Mt	→			Cpx	→	Mel, Mel#	→	Mel + Cpx	→	Lc + Kfs
		Cpx	→	Mel	→			Mel + Cpx	→	
				Ap + Cpx	→			Mel + Cpx	→	
				Cpx	→	Cpx, Cpx#	→	Cpx	→	Lc
				Ap + Cpx	→	Mel	→	Mel + Cpx	→	Lc + Kfs
(*)		Ap + Ttn + Erz			→	Cpx	→	Mel	→	Hy + Kfs
(*)						Kfs	→	Cpx	→	Hy
(*)						Cpx	→	Hy	→	Kfs

Mel: Melanit, Ap: Apatit, Bt: Biotit, Cpx: Klinopyroxen, Hy: Hauyn, Kfs: Kalifeldspat, Lc: Leucit, Mt: Magnetit, Ttn: Titanit, #: Korrosion

(*) Abfolgen in phonolitischen Gängen, aus WIMMENAUER (1962a)

4. Geochemie

Gesamtgesteinsanalysen des Leucitophyrs sowie des essexitischen Nebengesteins sind in Tabelle 4 gezeigt. Mit einem Mg-Verhältnis von 0,2 gehört der Leucitophyr zu den hochfraktionierten Gesteinen des Kaiserstuhls.

Zur Beurteilung der „Frische“ der tephritischen Gesteine des Kaiserstuhls verglich KIM (1985) das K/Rb-Verhältnis von Alkalivulkaniten weltweit und betrachtete ein Verhältnis von <175 als „auffällig niedrig“. Das K/Rb-Verhältnis des Leucitophyrs von 110 kann daher als Hinweis auf seine „Unfrische“ gesehen werden. Bei Darstellung der Daten im TAS-Diagramm nach LE MAITRE et al. (2002) liegt der Leucitophyr an der Feldgrenze Trachybasalt – basaltischer Trachyandesit (Abb. 4). Auch dies ist, wie neben dem K/Rb-Verhältnis auch der Vergleich mit dem Mineralbestand und die Diskussion zur Analcimgenese (Kap. 5) zeigen, auf die Gesteinsalteration zurückzuführen. Dadurch kann sowohl das Verhältnis der Alkalien untereinander ($K_2O/Na_2O = 2,64$) als auch deren Gesamtgehalt ($K_2O+Na_2O = 6,16$ Gew.-%) als stark verändert angenommen werden.

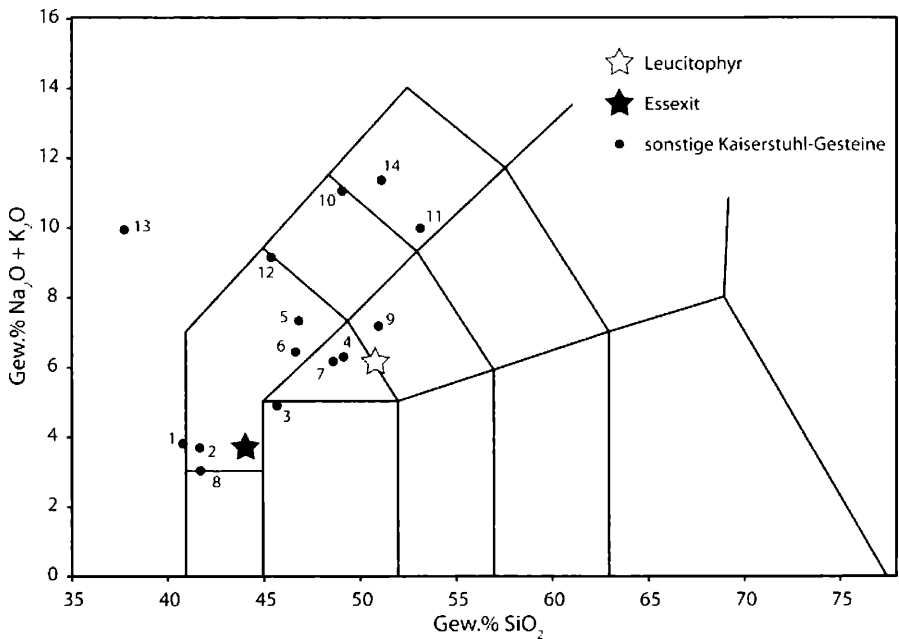


Abb. 4: TAS-Diagramm. Eingezeichnet sind der Leucitophyr und Essexit dieser Arbeit sowie verschiedene Kaiserstuhlgesteine. 1 Olivinnephelinit (KELLER 1990), 2 Limburgit $\lambda 1$, Limberg Stbr. I (KELLER 1990), 3 Tephrite (Mittel aus 80 Analysen des Tephrit-Haupttyps, KIM 1985), 4 Tephrite (Mittel aus 20 Analysen fraktionierter Tephrite, KIM 1985), 5 Essexit, Eichholz bei Oberbergen (KIM 1985), 6 Essexit, Krummer Graben bei Oberbergen (KIM 1985), 7 Essexitischer Gang, Föhrenberg bei Ihringen (KIM 1985), 8 Shonkinitporphyr, Horberig bei Oberbergen (RUCK 1987), 9 Gauteit, Horberig (RUCK 1987), 10 Phonolith, Föhberg, Bötzingen-Oberschaffhausen (ALBRECHT 1981), 11 Phonolithischer Gang, Horberig (KELLER 1984), 12 Tinguait, Strümpfekopf bei Bickensohl (WIMMENAUER 1962a), 13 Hauynophyr, Bohrung Steinreißer (BLUST 1993), 14 Foidsyenit, Forschungsbohrung Kaiserstuhl (BAKHASHWIN 1975).

Das Leucitophyrvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl

Der hohe Gehalt an K_2O und das Fehlen von frischen, kaliumreichen Einsprenglingsphasen deuten auf einen Verbleib des Kaliums in der Matrix. In Tabelle 2 ist ein Durchschnitt von 5 Mikrosondenanalysen gegeben. Der Kaliumgehalt liegt dabei bei 4,74 Gew-%, welcher zeigt, dass das Kalium aus der Gesamtgesteinschemismus (siehe Tabelle 4) in der Matrix vorhanden ist. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das durch die Umwandlung des Leucits in Analcim (analog dazu bei der Sanidinalteration) frei gewordene Kalium teilweise im Leucitophyr selbst gebunden ist und, in einer Gesamtbilanz, nicht in großer Menge aus dem Gestein abgeführt wurde.

Tab. 4: Gesamtgesteinsanalysen (RFA) des Leucitophyrganges und des Nebengesteins (Essexit).

	Leucitophyr	Essexit
Gew.%		
SiO ₂	50,77	44,02
TiO ₂	0,94	3,03
Al ₂ O ₃	17,45	14,29
Fe ₂ O ₃ ^{tot}	7,46	11,95
MnO	0,25	0,19
MgO	1,57	5,66
CaO	7,32	12,58
Na ₂ O	1,69	2,98
K ₂ O	4,47	0,72
P ₂ O ₅	0,34	0,64
GLV	6,52	2,80
Summe	99,50	99,22
ppm		
V	296	388
Cr	2	23
Ni	3	35
Cu	47	174
Zn	180	99
Rb	335	124
Sr	2969	1434
Zr	248	218
Ba	3065	1201

5. Analcim: primär oder sekundär?

Leucit und Analcim sind charakteristische Minerale in magmatischen siliziumarmen Alkaligesteinen. Die Kristallstruktur und Mineralform von Leucit (KAlSi_2O_6) und Analcim $\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ sind sehr ähnlich, bestehend aus einem Alumosilikatgerüst. Da Leucit und Analcim die gleiche Gerüststruktur aufweisen, wird Leucit seit 1997 (COOMBS et al. 1997) zur Gruppe der Zeolithe gezählt, obwohl er nicht alle charakteristischen Zeolitheigenschaften aufweist.

Die Entstehung von Analcimeinsprenglingen in magmatischen Gesteinen wurde über die letzten zwei Jahrhunderte kontrovers diskutiert (z. B. STAMM 1856, KNIGHT 1904). Entstehen die Analcimkristalle als primäre Phasen aus einer Schmelze, oder werden diese sekundär durch postmagmatische Alteration von Leucit gebildet? Wie auch immer, Analcim-Pseudomorphosen nach Leucit sind in der Literatur oft beschrieben (z. B. STAMM 1856, KARLSSON & CLAYTON 1991, PUTNIS et al. 1994, GIAMPAOLO et al. 1997, PRELEVÍĆ et al. 2004).

Zwei Hypothesen entstanden, um das Auftreten von Analcim in magmatischen Gesteinen zu erklären:

- auf der einen Seite steht die primäre magmatische Kristallisation von Analcim aus einer Silikatschmelze. Zahlreiche Wissenschaftler haben sich mit dieser Hypothese beschäftigt (z. B. FERGUSON & EDGAR 1978, LUHR & CARMICHAEL 1981), wobei folgende Argumente für eine primäre Entstehung sprechen: (1) die Kristalle sind idiomorph, (2) das Gestein ist frisch und weitere Phasen, insbesondere Olivin und Glas, zeigen keine sichtbaren Anzeichen einer Alteration, (3) das Auftreten weiterer wasserhaltiger Minerale, wie z. B. Amphibol, deutet auf eine wasserhaltige Schmelze hin, und (4) der Differentiationsverlauf ist durch eine Natriumanreicherung gekennzeichnet (KARLSSON & CLAYTON 1991).
- auf der anderen Seite sprechen folgende Argumente gegen einen primären Ursprung: (1) das Gestein ist stark alteriert, (2) weitere wasserhaltige Minerale sind nicht vorhanden, (3) der Differentiationsverlauf ist nicht durch eine Natriumanreicherung gekennzeichnet (4) Sauerstoff- und Wasserstoffisotopenverhältnisse zeigen einen meteorischen anstatt einen magmatischen Ursprung an (KARLSSON & CLAYTON 1991) und (5) Textureigenschaften (z. B. "Schlackenkränzchen"-Textur, KIM 1985, s.u.).

Die Entstehung von Analcim-Pseudomorphosen nach primärem Leucit kann bei Temperaturen unterhalb des Solidus durch folgende einfache Kationen-Austauschreaktion beschrieben werden (WILKINSON 1977, PUTNIS et al. 1994): $\text{KAlSi}_2\text{O}_6 + \text{Na}^+_{\text{aq}} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{K}^+_{\text{aq}}$

Diese Transformation kann entweder während der Abkühlung des Magmas einsetzen oder im bereits verfestigten Gestein erfolgen (KARLSSON & CLAYTON 1991). GUPTA & FYFE (1975) haben gezeigt, dass die vollständige Umwandlung von Leucit zu Analcim innerhalb nur weniger Tage bei einer Temperatur zwischen 150 und 300 °C ablaufen kann und nur geringe Aktivierungsenergien erfordert.

Die Umwandlungsreaktion von Leucit zu Analcim ist mit einer zehnpromzentigen Volumenzunahme verbunden (PUTNIS et al. 2007). LINE et al. (1995) beobachten die feinkörnige Textur von Analcim, die sie als Resultat der Umwandlung von Leucit in kleine Analcimkristalle bzw. Strukturclustereinheiten deuten, welche die Volumenexpansion ausgleichen. Die Volumenzunahme kann aber auch anhand von Expansionsrissen um die Analcimkristalle ausgeglichen werden (KARLSSON & CLAYTON 1991). Dies deutet ferner auf eine Umwandlung im verfestigten Gestein hin.

STAMM (1856) stellte als erster Wissenschaftler die Hypothese auf, dass die Leucit-Kristalle des Kaiserstuhls durch sekundären Analcim ersetzt wurden. Er wollte die chemische Zusammensetzung von Leucit bestimmen, doch zu seiner Überraschung zeigten die von ihm gewonnenen Daten nur einen geringen Kaliumgehalt, aber stattdessen hohe Gehalte an Natrium und Wasser, welche gut mit den chemischen Analysen bisher bekannter Analcime übereinstimmten.

Anhand verschiedener Beobachtungen kann für den hier untersuchten Analcim aus dem Gang vom Strümpfekopf eine sekundäre Entstehung und generell ein späterer H_2O -Zutritt mit einem K^+ - Na^+ -Austausch angenommen werden:

(I) *Habitus der Analcimaggregate und Einschlüsse darin.* Wie oben beschrieben, zeigen die Analcimaggregate durchweg den Leucithabitus (Deltoid-Ikositetraeder). KIM (1985) beschreibt im Analcim des Kaiserstuhls die für Leucit typische "Schlackenkränzchen"-Textur, welche durch kleine konzentrisch angeordnete Pyroxen- und Glaseinschlüsse nahe der Mineralränder ausgezeichnet ist und während der magmatischen Kristallisation entsteht. Die Beobachtung dieser Textur in Gesteinen des Kaiserstuhls ist ein wichtiges Anzeichen für primäre Leucitbildung und die sekundäre Entstehung der feinkörnigen Analcimaggregate.

(II) *Chemismus des Analcims.* Der hohe Kaliumgehalt (Tab. 3) im Analcim (0,299 A.p.F.) ist ein typisches Relikt aus primär gebildetem Leucit ($KAlSi_2O_8$). Diese Beobachtung stimmt zudem gut mit Analysendaten bereits bekannter sekundärer Analcime überein (z. B. LUHR & KYSER 1989, KARLSSON & CLAYTON 1991). Das Fehlen von eindeutig magmatischen wasserhaltigen Mineralen im Leucitophyr deutet auf eine H_2O -arme Schmelze, aus welcher kein primärer Analcim auskristallisieren kann.

(III) *Risse um die Analcimkristalle.* Diese können nach KARLSSON & CLAYTON (1991) als Expansionsrisse, welche durch die Volumenzunahme während der Umwandlung von Leucit zu Analcim entstehen, erklärt werden (Abb. 3).

(IV) *Alteration des Gesteins.* Zusätzlich wird die Annahme der sekundären Analcimentstehung durch das Auftreten von weiteren Sekundärmineralen wie Zeolithen und Tonmineralen als Umwandlungsprodukte in dem stark alterierten Gestein (s. Kap. 4) gestützt. Das sehr niedrige K/Rb-Verhältnis des Leucitophyrs ist ebenfalls ein Hinweis auf die Mobilität des Kaliums und ein Anzeichen für dessen partiellen Austrag bei der Zersetzung von primärem Leucit.

Eingang des Manuskripts 29.03.2008

Angeführte Schriften

- ALBRECHT, A. (1981): Mineralogische Untersuchung des Phonoliths vom Fohberg, Kaiserstuhl, mit besonderer Berücksichtigung der mafischen und akzessorischen Minerale - Univ. Freiburg i. Br., Diplomarb. 146 S., Freiburg i. Br.
- BAKHASHWIN, M. (1975): Petrographie und geochemische Untersuchung der silikatischen Gesteine aus der Forschungsbohrung Kaiserstuhl 1970 - Univ. Freiburg i. Br., Diss. 98 S., Freiburg i. Br.

- BLUM, R. (1858): Mineralogische Mittheilungen: 3. Leucit vom Eichberg bei Rothweil im Kaiserstuhl-Gebirge - N. Jb. Miner. Geogn. Geol. Petrefaktenk., 1858: 287-293; Stuttgart
- BLUST, G. (1993): Petrographie und Geochemie der silikatischen Ganggesteine der Bohrung KB 3 Steinreisse - Univ. Freiburg i. Br., Diplomarb. 87 S., Freiburg i. Br.
- BOURGEOIS, O., FORD, M., DIRAISON, M., LE CARLIER DE VESLUD, C., GERBAULT, M., PIK, R., RUBY, N. & BONNET, S. (2007): Separation of rifting and lithospheric folding signatures in the NW-Alpine foreland Int. J. Earth Sci. 96: 1003-1031.
- COOMBS, D.S., ALBERTI, A., ARTIOLI, A., ARMBRUSTER, T., COLELLA, C., GALLI, E., GRICE, J.D., LIEBAU, F., MANDARINO, J.A., MINATO, H., NICKEL, E.H., PASSAGLIA, E., PEACOR, D.R., QUQRTIERI, S., RINALDI, R., ROSS, M., SHEPPARD, R.A., TILLMANN, E. & VEZZALINI, G. (1997): Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names - Can. Mineral. 35: 1571-1606.
- DIETRICH, Ph. Fr. de (1783): Description d'un volcan, découvert en 1774, près le vieux Brisach - Journ. Phys. 23: 161-184.
- EISENLOHR, O. (1829): Geognostische Beschreibung des Kaiserstuhls bei Freiburg im Breisgau - Univ. Karlsruhe, Diss. 124 S., Karlsruhe
- FERGUSON, L.J. & EDGAR, A.D. (1978): The petrogenesis and origin of the analcime in the volcanic rocks of the Crownsnest Formation, Alberta - Can. J. of Earth Sci. 15: 69-77.
- FISCHER, H. (1862): Ueber die Trachyte und Phonolithe des Höhgaues und Kaiserstuhles nebst ihren Mineral-Einschlüssen - Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 2: 407-438.
- GIAMPAOLO, C., GODANO, R.F., DI SABATINO, B. & BARRESE, E. (1997): The alteration of leucite-bearing rocks: a possible mechanism - Eur. J. Mineral. 9: 1277-1291.
- GUPTA, A.K. & FYFE, W.S. (1975): Leucite survival: The alteration to analcime - Can. Mineral. 13: 361-363.
- HÜTTNER, R. (1996): Tektonik im Grundgebirge – in Groschopf, R., Kessler, G., Leiber, J., Maus, H., Ohmert, W., Schreiner, A. & Wimmenauer, W.: Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50000, Freiburg i. Br. und Umgebung. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., 199-228.
- ITTNER, Fr. v. (1820): Beiträge zur Naturgeschichte des Kaiserstuhls in botanischer und mineralogischer Hinsicht. Teil II: Der Kaiserstuhl in mineralogischer Hinsicht Eleutheria 3: 1-48.

- KARLSSON, H.R. & CLAYTON, R.N. (1991): Alcalcime phenocrysts in igneous rocks: Primary or secondary? - *Am. Mineral.* 76: 189-199.
- KELLER, J. (1963): Der Vulkanismus des Burkheim - Sponeck - Gebietes im westlichen Kaiserstuhl - *Univ. Freiburg i. Br., Diplomarb.* 50 S., Freiburg i. Br.
- KELLER, J. (1964): Zur Vulkanologie des Burkheim-Sponeck Gebietes im westlichen Kaiserstuhl - *Ber. naturf. Ges. Freiburg i. Br.* 54/1: 107-130.
- KELLER, J. (1984): Geochemie und Magmenentwicklung im Kaiserstuhl - *Fortschritte der Mineralogie* 62, Beiheft 1, 116-118.
- KELLER, J. (1990): Kaiserstuhl alkaline-carbonatite rock complex – in Keller, J., Brey, B., Lorenz, V. & Sachs, P.: IAVCEI 1990 Pre-conference excursion 2A: Volcanism and petrology of the upper Rhinegraben (Urach-Hegau-Kaiserstuhl) 32-53.
- KELLER, J. (2001): Kaiserstuhl alkaline rock-carbonatite complex - Excursion notes, ESF Carbonatite Workshop, Breisach 29.
- KIM, J.S. (1985): Petrologie und Geochemie der tephritischen Gesteine im Kaiserstuhl (einschließlich Vergleichen mit deren intrusiven Äquivalenten) Univ. Freiburg i. Br., Diss. 184 S., Freiburg i. Br.
- KNIGHT, C.W. (1904): Alcalcite-trachyte tuffs and breccias from south-west Alberta, Canada – *Can. Rec. Sci.* 9: 265-278.
- KNOP, A. (1892): Der Kaiserstuhl - (Verlag von Wilhelm Engelmann), 530 S. Leipzig
- KRAML, M., PIK, R., RAHN, M., SELBEKK, R., CARIGNAN, J., & KELLER, J. (2006): A new multi-mineral age reference material for ^{40}Ar - ^{39}Ar , (U-Th)/He and fission track dating methods: the Limberg t3 tuff - *Geostandards and Geoanalytical Research* 30: 73-86.
- LE MAITRE, R.W. (ed.), STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., LE BAS, M.J., BONIN, B., BATEMAN, P., BELLINI, G., DUDEK, A., EFREMOVA, S., KELLER, J., LAMEYRE, J., SABINE, P.A., SCHMID, R., SØRENSEN, H. & WOOLLEY, A.R. (2002): *Igneous rocks. A classification and glossary of terms*, 2nd edition. Cambridge University Press, 236 S. Cambridge
- LEONHARD, G. (1855): *Die Mineralien Badens nach ihren Vorkommen* Stuttgart, 2. verm. u. verbess. Aufl: 22 S.
- LEONHARD, K.C. & SELB, C.J. (1812): Melanit und Leucit in Deutschland entdeckt - *Mineralogische Studien*, Bd. I: 54 ff.; Nürnberg
- LIPPOLT, H.J., GENTNER, W. & WIMMENAUER, W. (1963): Altersbestimmungen nach der Kalium-Argon-Methode an tertiären Eruptivgesteinen Südwestdeutschlands - *Jh. Geol. L.-Amt Baden-Württ.* 6: 507-538.
- LIPPOLT, H.J., HORN, P. & TODT W. (1976): Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingraben-Gebiets; IV, Kalium-Argon-Alter von

- Mineralen und Einschlüssen der Basalt-Vorkommen Katzenbuckel und Rossberg – N. Jb. Min. Abh. 127: 242-260.
- LINE, C.M.B., PUTNIS, A., PUTNIS, C.V. & GIAMPAOLO, C. (1995): The dehydration kinetics and microtexture of analcime from two parageneses - Am. Mineral. 80: 268-279.
- LUHR, J.F. & CARMICHAEL, I.S.E. (1981): The Colima volcanic complex, Mexico: Part II. Late-Quaternary cinder cones - Contr. Mineral. Petr. 76: 127-147.
- LUHR, J.F. & KYSER, T.K. (1989): Primary igneous analcime: the Colima minettes – Am. Mineral. 74: 216-223.
- PASSAGLIA, E. & SHEPPARD, R.A. (2001): Crystal chemistry of Zeolites – in Bish, D.L. & Ming, D.W.: Natural Zeolites: occurrence, properties, applications, 45, Mineralogical Society of America, Geochemical Society, 69-116.
- RAMMELSBERG, C.F.A. (1856): Ueber die chemische Zusammensetzung des Leucites, und seiner Zersetzungsprodukte - Monatsb. K. preuss. Akad. Wiss. 148-153.
- PERLEVIĆ, C., FOLEY, S.F., CVETKOVIC, V. & ROMER, R.L. (2004): The analcime problem and its impact on the geochemistry of ultrapotassic rocks from Serbia - Min. Mag. 68: 633-648.
- PUTNIS, C.V., GEISLER T., SCMMID-BEURMANN, P., STEPHAN, T. & GIAMPAOLO, C. (2007): An experimental study of the replacement of leucite by analcime - Am. Mineral. 92: 19-26.
- PUTNIS, A., PUTNIS, C.V. & GIAMPAOLO, C. (1994): The microtexture of analcime phenocrysts in igneous rocks - Eur. J. Mineral. 6: 627-623.
- ROSE, G. (1858): Ueber Leucite von Rothweil und Oberbergen im Kaiserstuhl - in Protokoll der März-Sitzung, verhandelt Berlin, den 3. März 1858, S. 94-95; Z. dt. geol. Ges. Berlin, 10: 093-096.
- RUCK, W. (1987): Untersuchungen an mafischen Mineralen in Kumulaten des Kaiserstuhls und deren Bedeutung für die Magmenentwicklung im Kaiserstuhl Univ. Freiburg i. Br., Diplomarb. 132 S., Freiburg i. Br.
- SAUSSURE, H.-B. de (1794): Observations sur les collines volcaniques du Brisgaw J. Phys., de Chimie et d'Histoire naturelle, 1: 325-362.
- SCHILL, J. (1853/1854): Das Kaiserstuhl – Gebirge Beitr. z. min. u. geogn. Kenntn. Großh. Baden, Heft 2: 21-42; Heft 3: 1-073, Taf. II; Stuttgart (Schweizerbart)
- SCHILL, J. (1855): Leucit aus dem Kaiserstuhl-Gebirge (Auszug) - N. Jb. Miner. Geogn. Geol. Petrefaktenk., 1855: 560; Stuttgart
- SCHLEICHER, H. & KELLER, J. (1991): Isotopengeochemie der Alkalivulkanite und Karbonatite des Kaiserstuhls: Aussagen zur Magmengenese und zur isotopischen

Zusammensetzung des Erdmantels Jahreshefte des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg 33: 33-57.

- SCHREINER, A. (1996): Tektonik der Vorbergzone und der Oberrheinebene – in Groschopf, R., Kessler, G., Leiber, J., Maus, H., Ohmert, W., Schreiner, A. & Wimmener, W.: Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50000, Freiburg i. Br. und Umgebung. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, 229-241.
- SELB, C. J. (1823): Andeutungen von Beweisen für die Vulkanität der Basaltberge in Schwaben, hergeleitet aus ihren Lagerungs-Verhältnissen und ihrer Stellung gegen die übrigen Gebirgs-Formationen Taschenb. f. d. gesamte Mineralog. (v. Leonhard), 17, 1. Abtl.: 3-54, 1 Taf.; Frankfurt a. M.
- SIGMUND, J. (1996): Diatrembreccien; Mantelxenolithe und Karbonatite in der Kernbohrung KB 2 im Kaiserstuhl - Univ. Freiburg i. Br., Diss. 154 S., Freiburg i. Br.
- SOELLNER, J. (1912): Über ein neues Vorkommen von Leucitophyr und Leucitophyrbreccie im Kaiserstuhl - Cbl. Miner. Geol. Paläont., 1912: 571-574.
- SOELLNER, J. (1913): Über Leucitnephelintingwaitporphyr aus dem Kaiserstuhl Cbl. Miner. Geol. Paläont., 1913: 367-372.
- STAMM, C. mit einer Anmerk. von SANDBERGER, F. (1856): Analyse des sogenannten Leucits (Analcim) vom Kaiserstuhl im Breisgau. – in Analysen von Mineralien des Großherzogthums Baden; mitgetheilt von Prof. Weltzien, Fortsetzung; Ann. Chemie Pharmazie, 99, N.R. Bd. 23: 287-289.
- WILKINSON, J.F.G. (1977): Analcime phenocrysts in a vitrophyric analcimite – primary or secondary? Contr. Min. Petr. 64: 1-9.
- WIMMENAUER, W. (1962a): Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Teil IV: Die Gesteine der phonolithischen Familie. Teil V: Die subvulkanischen Breccien N. Jb. Min. Abh. 98: 367-415.
- WIMMENAUER, W. (1962b): Zur Petrogenese der Eruptivgesteine und Karbonatite des Kaiserstuhls. - N. Jb. Min. Mh. 1: 1-11.
- WIMMENAUER, W. (1981): Die Gesteine des Kaiserstuhls im Wandel der wissenschaftlichen Anschauung - Aufschluss 32: 309-322.
- WIMMENAUER, W. (2003): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25000, Kaiserstuhl. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, 280 S., Freiburg i. Br.
- ZIRKEL, F. (1868): Ueber die mikroskopische Stuktur der Leucite und die Zusammenführung leucitführender Gesteine - Z. dt. geol. Ges. Berlin,-20: 97-152.
- ZOTZ, L.F. (1924): Über das Auftreten makroskopischer Leucite im Kaiserstuhl Cbl. Miner. Geol. Paläont., 1924: 225-226.

ZOBODAT - 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: 2008

Band/Volume: [98](#)

Autor(en)/Author(s): Spürgin Simon, Weisenberger Tobias, Hörth Joachim

Artikel/Article: [Das Leucitophyvorkommen vom Strümpfekopf im Kaiserstuhl - eine historische und mineralogische Betrachtung 221-244](#)