

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br. — Pfannenstiel Gedenkband —	67	S. 405—424	8 Abb.	5 Tab.	Freiburg, 1977
---	----	------------	--------	--------	----------------

## Neuere Befunde über den Untergrund des Kaiserstuhls

von

W. Wimmenauer, M. Bakhshwin, I. Baranyi & C. Hsiao  
Freiburg i.Br.

### Zusammenfassung

Im flacheren Untergrund des Kaiserstuhl-Zentrums tritt *Ledmorit*, ein Gestein der Foid-syenit-Gruppe, in weit größerer Mächtigkeit auf, als bisher bekannt war. — Gravimetrische und magnetometrische Untersuchungen lassen vermuten, daß im Untergrund der Karbonatitintrusion beträchtliche Massen eines magnetitreichen Gesteins vorliegen, für das bestimmte, an der Oberfläche gefundene Varianten des Karbonatits Modelle darstellen können. — Die subvulkanischen Breccien des zentralen und östlichen Kaiserstuhls enthalten neben Gesteinen, die auch an der Oberfläche vorkommen, Bruchstücke von Pyroxeniten, Hornblenditen und Tawiten sowie Mineralkomponenten vermutlich ultrabasisch-magmatischer Herkunft. — Fenitwürflinge in Tuffen und Breccien an der Peripherie des Kaiserstuhls lassen darauf schließen, daß das Kristallin des Untergrundes verbreitet metasomatische Umwandlungen erfahren hat, die wahrscheinlich von Karbonatitmagma verursacht sind.

### Abstract

Ledmorite, a member of the foid-syenite group, seems to constitute a considerable portion of the shallow underground in the centre of the Kaiserstuhl. — Gravimetric and magnetometric studies indicate the presence of important bodies of magnetite-rich rock, probably a particular facies in the deeper parts of the carbonatite intrusion. — The subvolcanic breccias of the central and eastern Kaiserstuhl contain, apart from rocks and minerals known from the surface, fragments of pyroxenite, hornblendite, and tawite and also mineral constituents from an ultrabasic magmatic source (olivine, clinopyroxene, Cr-spinel). — Fragments of granite, gneiss, and various fenites are found in tuffs and breccias, mostly on the periphery of the Kaiserstuhl. It may be concluded, that the crystalline basement was subject to metasomatic transformations, originating from carbonatitic (and alkaline) magmas.

Der hier vorgelegte Bericht faßt im wesentlichen die Ergebnisse solcher Untersuchungen zusammen, die nach dem Erscheinen der „Geologischen Exkursionskarte des Kaiserstuhls 1:25 000“ (1959) veröffentlicht wurden und auf Verhältnisse

---

Anschrift der Verfasser:

p. a. Prof. Dr. W. WIMMENAUER, Mineralogisches Institut, Albertstr. 23 b, D-7800 Freiburg i.Br.

und Vorgänge im Untergrund dieses Vulkans Bezug nehmen. Insbesondere werden die Resultate der petrographischen Arbeiten von M. BAKHASHWIN über die Gesteine der Forschungsbohrung Kaiserstuhl, I. BARANYI über die subvulkanischen Breccien und C. HSIAO über die Fenite in gekürzter Form mitgeteilt.

Die Autoren sind der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung dieser Arbeiten im Rahmen des „Unternehmens Erdmantel“ zu Dank verpflichtet. — Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gestattete freundlicherweise die Verwendung von Daten der „Karte der Anomalien der erdmagnetischen Totalintensität der Bundesrepublik Deutschland“.

## 1. Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungen

Im Zuge der intensiven geophysikalischen Erforschung des Oberrheingrabens sind auch für den tieferen Untergrund des Kaiserstuhls bemerkenswerte Ergebnisse erzielt worden. So wurde mittels refraktionsseismischer Messungen im südlichen Grabenbereich eine relativ geringe Tiefenlage der Krusten-Mantel-Grenze festgestellt; sie liegt in der Gegend des Kaiserstuhls etwa in 24 bis 25 km Tiefe. Im Querprofil erscheint hier eine ursprünglich als „Kissen“ bezeichnete Aufwölbung mit einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 8,1 km/s (Abb. 1, modifiziert nach Fig. 10 in RHINEGRABEN RESEARCH GROUP 1974; siehe auch FUCHS 1974). Diese Geschwindigkeit ist etwas niedriger, als sie in Gesteinen des obersten Erdmantels bei normaler Tiefenlage sein würde. Nach ALTHAUS (1974) ist dies die Folge der bei verringertem Druck eingetretenen Bildung von Plagioklas aus dem sonst feldspatfreien Mantelgestein.

ILLIES (1974) sieht in dem „Kissen“ einen sich seit der Kreidezeit ausbreitenden Manteldiapir, von dem die Magmen des Kaiserstuhls und der ihn in etwa 100 km Umkreis umgebenden Vulkanite (Lothringen, Vogesen, Schwarzwald, Hegau, Urach) ausgingen (Abb. 2). Aus zahlreichen radiometrischen Datierungen der Gesteine haben BARANYI, LIPPOLT & TODT (1976) eine Chronologie dieses Prozesses abgeleitet. Der Kaiserstuhl-Vulkanismus ist mit Altern von 18 bis 16 Ma ein relativ junges Ereignis.

Eine gravimetrische Anomalienkarte von THIELE (1974) ergab für das Zentrum des Kaiserstuhls eine deutliche positive Anomalie und eine relativ ruhige, etwas ungleichmäßig abklingende Scharung der Isoanomalien nach dem Gebirgsrand hin (Abb. 4). Im Südwesten des Kaiserstuhls (Raum Breisach-Ihringen-Tuniberg) zeigte sich schon bei früheren Aufnahmen ein steiler Abfall der g-Werte, was auf die dort besonders große Mächtigkeit des Quartärs der Grabenfüllung zurückgeführt wird.

Wie zu erwarten, tritt der Kaiserstuhl auf der Karte der magnetischen Totalintensität mit starken Anomalien hervor (Abb. 4, vgl. auch BOSUM & HAHN 1970). Die stärkste, durch Magnetometrie vom Flugzeug aus gemessene Anomalie liegt am Neunlindenberg, dem höchsten Gipfel des Kaiserstuhls (+ 564 Gamma); eine negative Anomalie von -266 Gamma bei Ihringen. — Magnetometrische Bodenmessungen im Kaiserstuhl-Zentrum durch VERFAILLIE (1964) ergaben

eine kräftige magnetische Anomalie am Westgipfel des Badberges. Sie läßt sich durch eine plattenförmige, nach N einfallende Masse eines magnetitreichen Gesteins erklären, die sich über mehrere hundert Meter in die Tiefe erstreckt und an der Lokalität „Unterbaderberg“ nahe an die Erdoberfläche kommt. Der an dieser Stelle spärlich auftretende magnetitreiche Karbonatit (mit bis zu 25 Vol.-% Magnetit) könnte ein Ausläufer dieser Masse sein. Das von THIELE (siehe oben) ermittelte Schweremaximum liegt allerdings nicht bei dieser magnetischen Anomalie, sondern zwischen Vogtsburg und Schelingen, wo nur gelegentlich Bruchstücke von Magnetitschlieren im Karbonatit vorkommen. Über Magnetitanreicherungen im Karbonatit der Bohrung Badberg I und der Forschungsbohrung am Badloch berichteten BARANYI (1970) und BAKHASHWIN. Weitere bemerkenswerte Modellfälle von magnetitreichen Differentiaten im Karbonatit sind die von L.IGONIN\* und BAKHASHWIN gefundenen Kugelkarbonatite von der Nordwestseite des Badberges (nördlich Punkt 331,4, vgl. S. 416).

Da — von der Forschungsbohrung 1970 im Zentrum abgesehen — Tiefbohrungen im engeren Bereich des Kaiserstuhls fehlen, sind Aussagen über den Bau des flacheren Untergrundes (d.h. der Grabenfüllung und ihrer Lagerung) nur begrenzt möglich. Unter Berücksichtigung aller Informationsquellen kam BREYER (1974) zu einem Profil des sedimentären Kaiserstuhl-Untergrundes, das in Abb. 3 wiedergegeben ist. Danach befindet sich das Mesozoikum vom Schwarzwaldrand bis in den westlichsten Kaiserstuhl (Jechtingen) in relativ hoher Lage; erst dort bricht es abrupt bis in mehr als 1 km Tiefe ab. Nach diesem Modell wäre für den zentralen Kaiserstuhl mit einer Tiefenlage des Kristallins von nur 1 km, für die nahe am Rhein gelegenen Teile des Vulkans (Limburg, Sponeck, Breisach) aber mit mehr als doppelt so großen Tiefen zu rechnen.

## 2. Herkunft und Differentiation der Kaiserstuhl-Magmen

Als Ausgangsmagma für den Kaiserstuhl nimmt WIMMENAUER (1963, 1966) ein stark untersättigtes alkalisches Basaltmagma etwa von der Zusammensetzung der Olivinnephelinite an. Aus ihm hat sich durch Differentiation die Mannigfaltigkeit der Kaiserstuhl-Teilmagmen einschließlich der Karbonatite entwickelt. Die Assimilation von (saurem) Krustenmaterial kann in diesem Prozeß stellenweise modifizierend mitgewirkt haben; dafür sprechen u.a. fenitisierte Granit- und Gneiseinschlüsse in den Phonolithen. Die Abspaltung des Karbonatitmagma ist vermutlich durch Entmischung einer solchen Schmelze aus dem silikatischen Ausgangsmagma bewirkt worden; dies würde den experimentellen Befunden von KOSTER VAN GROOS, WYLLIE und anderen Autoren entsprechen. Ein mögliches Analogon im kleinen Maßstab bieten die von HURRE (1976) beschriebenen „karbonatitischen“ Ocelli, die in einigen im Schwarzwald gelegenen alttertiären Olivinnephelinitgängen vorkommen. — Wegen des mehrfachen

\*Persönliche Mitteilung.

Abb. 1—3:

Modelle des Untergrundes im Bereich des Kaiserstuhls nach geophysikalischen Befunden (1, 2, 3) und Bohrungen (3).

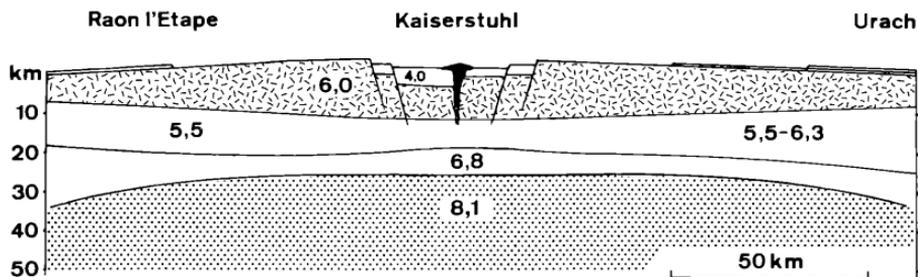


Abb. 1:

Profil des Untergrundes im Südabschnitt des Oberrheingrabens, modifiziert nach Abb. 10 aus THE RHINEGRABEN RESEARCH GROUP 1974. Die Zahlen bedeuten seismische Geschwindigkeiten in km/s. Unregelmäßige Strichsignatur: Oberkruste; Punktraster: oberster Erdmantel.

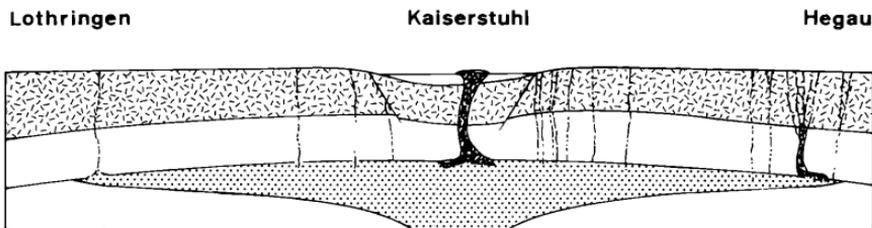


Abb. 2:

Profil des Untergrundes im Südabschnitt des Oberrheingrabens, nach ILLIES 1974. Unregelmäßige Strichsignatur: Oberkruste; Punktraster: Mantel diapir.

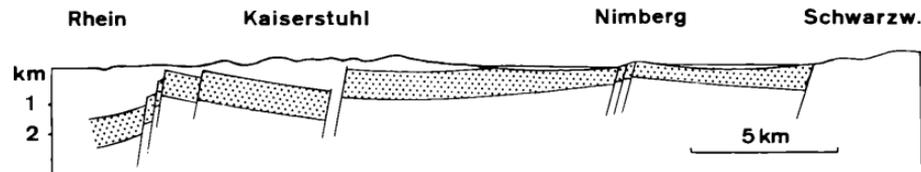


Abb. 3:

Lage des Mesozoikums (Punktraster) im Untergrund des Kaiserstuhlgebietes. Profillage WNW—ESE. Nach BREYER (1974).

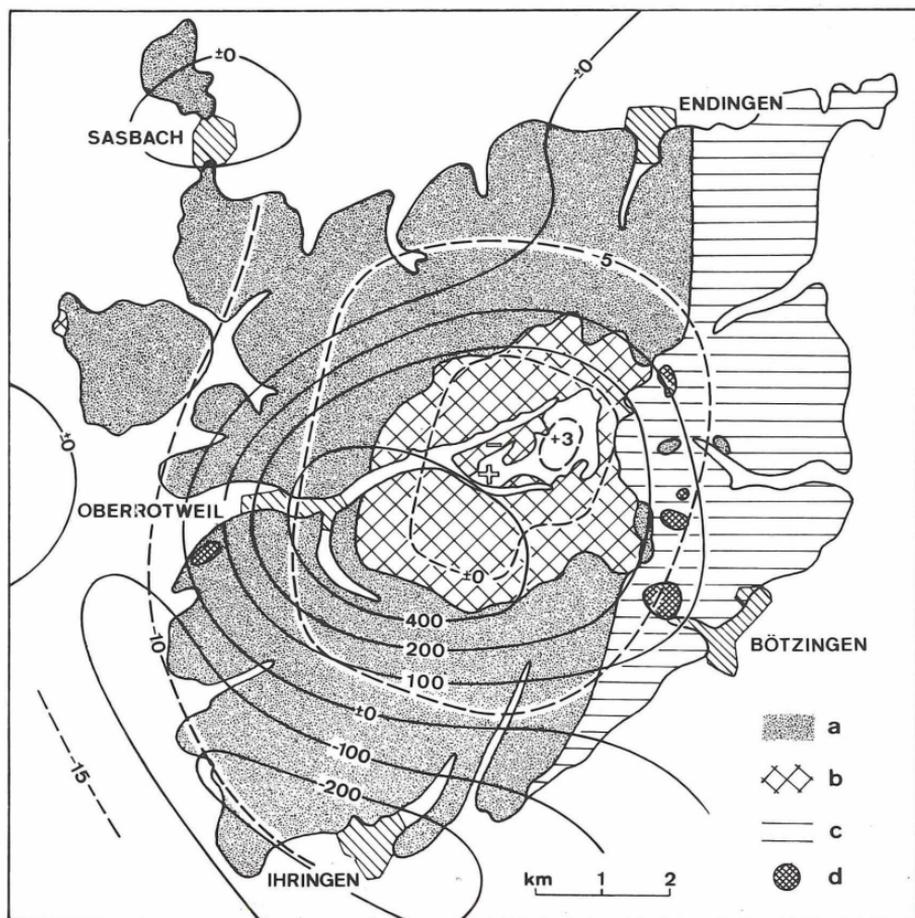


Abb. 4:

Karte der Bouguer-Anomalien (unterbrochene Linien) und der Anomalien der erdmagnetischen Totalintensität im Kaiserstuhl. Nach THIELE (1974) und der Karte der Anomalien der erdmagnetischen Totalintensität der Bundesrepublik Deutschland (1971). Plus- und Minuszeichen im Kaiserstuhl-Zentrum bezeichnen die Lage der örtlichen magnetischen Anomalie am Unterbadberg nach VERFAILLIE (1964).

- a = Laven und Pyroklastite;
- b = subvulkanische Gesteine des Zentrums;
- c = Oligozän und Jura;
- d = Phonolithstöcke.

Abwechselns von Förderungen der phonolithischen und essexitisch-tephritischen Gesteinsfamilie im Kaiserstuhl kam WIMMENAUER (1963) zu der Vorstellung wenigstens zweier über längere Zeit selbständiger Herde im Untergrund, in denen die beiden (selbst schon differenzierten Hauptmagmen) jeweils eine eigene Entwicklung durchmachten; dies scheint im Untergrund des Zentrums zeitweise der Fall gewesen zu sein.

KELLER (1964, 1965) zeigte indessen am Beispiel der Tuffe und Laven von Burkheim, Sponeck und vom Henkenberg, daß auch örtliche, episodische Differentiationen von phonolithischen Teilmagmen aus einem tephritischen Magma zustande gekommen sind; daran war Gastransport wesentlich beteiligt.

Petrographische und geophysikalische Beobachtungen deuten an, daß sich im flacheren Untergrund des Kaiserstuhl-Zentrums magnetitreiche Differentiate des Karbonatitmagmas konzentrierten (vgl. S. 407 und 416).

### 3. Der Gesteins- und Mineralinhalt der subvulkanischen Breccien

Die subvulkanischen Breccien des inneren und östlichen Kaiserstuhls sind Produkte explosiver Tätigkeit des Vulkans. Durch die schon fortgeschrittene Erosion sind sie heute in einem mehrere hundert Meter unter der damaligen Oberfläche liegenden Niveau aufgeschlossen. Die subvulkanischen Breccien im Zentrum des Kaiserstuhles wurden anscheinend unmittelbar vor dem Aufdringen der größeren Karbonatitkörper gebildet. Sie enthalten bereits seltene Fragmente von Karbonatit, werden aber auch ihrerseits von den Karbonatiten intrudiert. Der Gesteins- und Mineralinhalt der Breccien ist von BARANYI (1977) eingehend untersucht worden. Danach bestehen die typischen subvulkanischen Breccien aus folgenden Arten von Komponenten:

- a) Bruchstücke aller älteren, in der Umgebung auch zutage tretenden Kaiserstuhlgesteine: Essexite, Theralithe, zugehörige Ganggesteine, Phonolithe und Verwandte, Karbonatite;
- b) Bruchstücke basischer und ultrabasischer Gesteine: Hornblendite, Pyroxenite, Tawite (Hauyn + Pyroxen) sowie seltene Peridotite (umgewandelt) und Einzelminerale der letzteren (umgewandelte Olivine, Picotit, Cr-Diopsid). Die Hornblendite bestehen aus gewöhnlicher und Titanhornblende; Titanaugit und Biotit können hinzukommen. Der Mineralbestand der Pyroxenite (Jacupirangite) ist: Agirinaugit oder Titanaugit, Apatit, Titanomagnetit + Hauyn (meist umgewandelt). Mit der Zunahme des Hauyns gehen die Jacupirangite in Tawite über.
- c) Mineralbruchstücke: Phlogopit, Diopsid, basaltische Hornblende, oft fast idiomorph, bis cm-groß;
- d) Bruchstücke von Granit und Gneis aus dem Untergrund, z. T. fenitisiert (siehe Abschnitt 5);

- e) Bruchstücke der sedimentären Grabenfüllung;
- f) Eine fein- bis mittelkörnige Matrix, bestehend aus Mineraldetritus aller oben genannten Komponenten sowie Biotit, Chlorit, Calcit, Zeolithen und Apatit als Neubildungen. Der Biotit findet sich besonders in der nächsten Nachbarschaft der Karbonatitintrusionen.

Von den oben aufgeführten Komponenten sind die der Gruppe b) anstehend nicht bekannt; sie finden sich aber z. T. als Einschlüsse in anderen Magmatiten des Kaiserstuhls: Peridotit im Olivinnephelinit am Lützelberg; Hornblendit, Jacupirangit und Tawit besonders in den Stock- und Gangphonolithen. Die drei letztgenannten Gesteine können wegen ihres Vorkommens mit großer Wahrscheinlichkeit in eine besonders enge genetische Verbindung mit den foidsyenitisch-phonolithischen Gesteinen gebracht werden, etwa als Kumulate der frühgebildeten Mineralphasen dieser Magmen. Hierfür sprechen auch ihre relativ geringen Cr- und Ni-Gehalte, durch die sie sich von den Gehalten der Gesamtbreccien deutlich abheben. Mit den ultrabasischen Magmen des Kaiserstuhls können sie aus dem gleichen Grunde nicht in Zusammenhang gebracht werden.

Anzeichen für eine Beteiligung von Komponenten ultrabasischer Gesteine liefern dagegen die häufigen Olivinpseudomorphosen sowie Mineralbruchstücke von Diopsid, Cr-Diopsid und Picotit; basaltische Hornblende und Phlogopit gehören vielleicht auch zu dieser Gruppe. Die recht hohen mittleren Cr- und Ni-Gehalte der Breccien lassen den beträchtlichen Anteil der „ultrabasischen“ Komponenten am Gesamtbestand erkennen.

Die Mineralassoziation Olivin-Diopsid(-Chromdiopsid)-Picotit tritt in den Olivinnepheliniten des Kaiserstuhls (Lützelberg, Limberg) und seiner weiteren Umgebung in Gestalt von Peridotiteinschlüssen und Xenokristallen verbreitet auf. Es könnte also auch für die subvulkanischen Breccien an ein ultrabasisch-alkalisches Magma als Bringer der genannten Mineralkomponenten gedacht werden, jedoch sind Gesteinsfragmente, die ein solches Magma selbst repräsentieren würden, in der Breccie bisher nicht nachgewiesen. Die Zuordnung der Mineralkomponenten tiefer Herkunft bleibt somit noch ein Problem. Es kommt hinzu, daß Bruchstücke von Grabensedimenten und Grundgebirge in den Breccien selten sind. Daraus kann geschlossen werden, daß die explosiven Prozesse der Breccienbildung diese Formationen kaum tangierten (geringe Herdtiefe) oder nur eine geringe Förderkraft hatten.

#### 4. Die Gesteine der Forschungsbohrung Kaiserstuhl

Im Jahr 1970 wurde im Steinbruch im Badloch im Zentrum des Kaiserstuhls eine 500m tiefe Forschungsbohrung niedergebracht; ein vorläufiges Profil wurde von I. BARANYI aufgenommen (Darstellung bei KIRCHHEIMER 1973, Abb. 17). Der Bohrpunkt liegt nahe dem morphologischen Südrand des Badberg-Karbonatites, der als mehrere hundert Meter dicke Platte schräg von N nach S aufgestiegen ist. Das nur 100m östlich des Badloches anstehende Liegende dieses Teils der Intrusion ist Ledmorit, ein aus Alkalifeldspat, Hauyn, Ägirinaugit und

Melanit bestehendes, körniges subvulkanisches Gestein. In seiner Begleitung kommen auch hellere, zersetzte Alkalisyenite vor (die „intrusiven phonolithischen Gesteine“ der Geologischen Exkursionskarte). Es war zu erwarten, daß auch die Bohrung dieses Liegende erreichen würde (Abb.5).

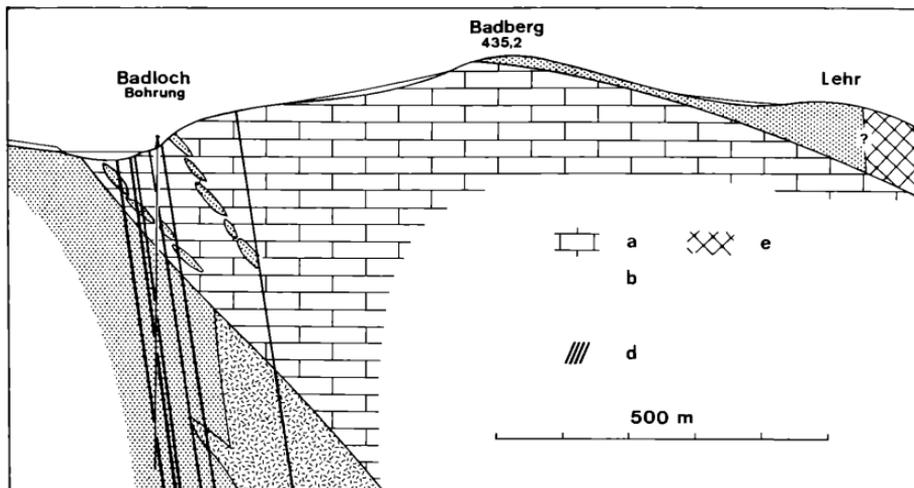


Abb.5:

Hypothetisches SSW—NNE-Profil durch den Badberg (zentraler Kaiserstuhl).

- a = Karbonatit;
- b = Ledmorit, Alkalisyenit;
- c = subvulkanische Breccie;
- d = Tinguaitgänge;
- e = Essexit.

Die Bohrkern zeigen eine vielfache Wechsellagerung von Karbonatiten, Ledmorit, Alkalisyenit und Tinguaiten, letztere als Gänge, die als jüngste Bildungen die anderen Gesteine durchsetzen. Ferner sind die Karbonatite jünger als Ledmorit und Alkalisyenit, wie zahlreiche Gänge und Trümer beweisen. Überraschend war die starke Zersetzung aller silikatischen Gesteine bis zur Endteufe, wobei vor allem die Feldspatvertreter fast überall, aber auch die Mafite zum Teil umgewandelt wurden. Dies scheint teils die Wirkung der vom Karbonatit ausgehenden fluiden Lösungen, teils aber wohl auch jüngerer (thermalen) Wässer zu sein. Die nur 30m vom Bohrpunkt entfernten austretenden Quellen mit 21° C sprechen für den heute noch andauernden Aufstieg erwärmten Wassers aus der Tiefe.

Die Gesteine der Bohrung wurden von M. BAKHASHWIN genauer untersucht. Erstmals stand dabei ganz unverwittertes Karbonatitmaterial zur Verfü-

gung, das sich von den Gesteinen im Steinbruch Badloch vor allem durch die Erhaltung der Sulfide und die Natur des Glimmerminerals unterscheidet. Während der „Glimmer“ des zutage anstehenden Gesteins ein Hydrophlogopit mit Vermikuliteigenschaften ist, erscheint etwa ab 50m Tiefe ein Fe- und Ba-haltiger, vermöglicher Phlogopit (Analysentabelle 1).

Die Zerlegung von fünf Karbonatitproben in ihre Mineralfraktionen ergab die in Tab.2 angeführten Zusammensetzungen in Gew.-%.

Tab. 1: Chemische Analysen von Gesteinen und Mineralen des zentralen Kaiserstuhls.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	45.40	53.75	3.98	2.08	3.10	12.66	18.69	37.40	38.20
TiO <sub>2</sub>	0.96	0.10	0.07	0.04	Sp.	0.30	0.93	0.95	0.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.60	15.40	1.50	0.49	0.46	2.72	4.46	15.70	14.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.55	2.19	1.99	3.60	1.89	19.67	30.97	2.64	4.87
FeO	2.66	1.17			0.47	5.14	10.19	4.56	1.27
MnO	0.21	0.23	0.25	0.30	0.80	0.90	0.99	0.43	0.38
MgO	1.55	0.82	2.28	1.21	0.78	2.82	3.80	22.40	22.60
CaO	10.90	5.61	49.50	49.51	50.45	34.45	20.89	0.60	2.70
SrO	n. b.	n. b.	0.99	1.16	0.89	0.56	0.33	0.02	0.03
Na <sub>2</sub> O	2.86	1.10	0.29	0.40	0.28	1.05	1.88	1.34	0.20
K <sub>2</sub> O	6.31	10.60	0.63	0.51	0.21	0.04	0.04	9.00	4.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.14	3.52	1.62	2.45	1.59	1.59		
CO <sub>2</sub>	6.06	4.37	34.77	37.06	37.33	18.39	4.60		
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.38	3.75	0.49	0.21	0.71	0.43	0.20	2.88	8.45
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.60	0.18	0.08	Sp.	Sp.	0.15	0.15	0.15	0.32
S			0.55	2.29					
Summe	100.24	99.41	100.89	100.48	99.82	100.87	99.71	99.91	99.69

1: Ledmorit,

Forschungsbohrung Kaiserstuhl, 382, 5—382,8m. Mineralbestand in Vol.-%: Alkalifeldspat 40,2; Sodalith und Umwandlungsprodukte (Calcit, Zeolithe, Kaolin u. a.) 33,4; Melanit 11,9; Ägirinaugit 10,6; freier Calcit 2,8; Apatit 0,8; Erzminerale 0,3.

2: Alkalisyenit, Forschungsbohrung Kaiserstuhl, 397,1m. Alkalifeldspat 79,4; Sodalith und Umwandlungsprodukte 14,0; Ägirinaugit 5,2; Erzminerale 1,4; Apatit u. a. Akzesorien 0,1.

3: Karbonatit, Forschungsbohrung Kaiserstuhl, 181,0—181,4m. Calcit, Apatit, Phlogopit, Diopsid, Magnetit, Pyrrhotin, Pyrit, Pyrochlor, Dysanalyt.

4: Karbonatit, Forschungsbohrung Kaiserstuhl, 259,4—259,5m. Calcit, Apatit, Phlogopit, Pyrrhotin, Pyrit, Magnetit.

5: „Kugelkarbonatit“, Horberig, calcitreiche Matrix.

6: „Kugelkarbonatit“, Horberig, intermediäre Kugeln. Calcit, Melilith, Magnetit, Apatit, Diopsid, Akz.

- 7: „Kugelkarbonatit“ Horberig, calcitarmer Kugeln. Melilith, Magnetit, Calcit, Apatit, Akz.
- 8: Phlogopit aus frischem Karbonatit, Forschungsbohrung Kaiserstuhl. Die Summe enthält 1,64 % BaO.
- 9: Hydrophlogopit aus angewittertem Karbonatit, Steinbruch Badloch. Die Summe enthält 0,85 % BaO. Ein großer Teil des  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  liegt als limonitisches Pigment vor.

Tab.2: Mineralbestände von Karbonatiten des Kaiserstuhls

	Forschungsbohrung 1970				
	Steinbr. Badloch	77,1 -77,5m	180,0- 181,4m	259,4- 259,7m	Bohrng. Badloch II
Calcit	94,4	86,1	86,3	89,8	88,8
Apatit	2,5	8,2	5,5	1,4	4,9
Glimmer	2,7	3,5	3,7	4,6	3,0
Magnetit	-	1,1	}2,4	4,1	}2,0
Sulfide	-	0,7			
Diopsid	-	0,4	2,4	-	1,0
Koppit, Dysanalyt	Sp.	Sp.	Sp.	-	0,4
Andere	0,4	-	-	-	

Uranhaltiger Koppit tritt in den Karbonatitkernen der Forschungsbohrung 1970 und der älteren Bohrungen Badberg I und II (1966) mehrfach auf (KIRCHHEIMER 1973). Die höchsten  $\text{U}_3\text{O}_8$ -Gehalte des Minerals liegen bei 11,5 %, die der Gesteine bei 0,05 %.

Die Vormacht der mittel- bis großkörnigen Karbonatitgesteine besteht in der Bohrung bis etwa zur Tiefe von 150m. Sie sind von acht steilstehenden Tinguaitgängen durchsetzt. Bei 99m tritt erstmals Alkalisyenit auf. Ab 150m dominiert Ledmorit mit zahlreichen Gängen von grobkörnigem Karbonatit, Tinguait und Phonolith. Von 249 bis 325m wird sogar der größte Teil der Kernstrecke von Tinguaiten eingenommen. Ab 325m bis zur Endteufe ist wieder Ledmorit das vorherrschende Gestein. Karbonatitadern treten hier zwar verbreitet, aber mit geringem Volumen auf.

Die Ledmorite der Bohrung sind klein- bis höchstens mittelkörnige Gesteine von gleichkörniger bis porphyrischer Struktur. Hauptminerale sind:

Alkalifeldspat (meist frisch);

ein Mineral der Sodalithgruppe, stets zersetzt;

Melanit (idiomorph, oft zonar, einschlußreich);

Ägirinaugit;

Biotit, Calcit, Apatit, Titanit, Pyrit; als Umwandlungsprodukte des Sodalithminerals noch Analcim, Zeolithe und nicht näher identifizierte Tonminerale.

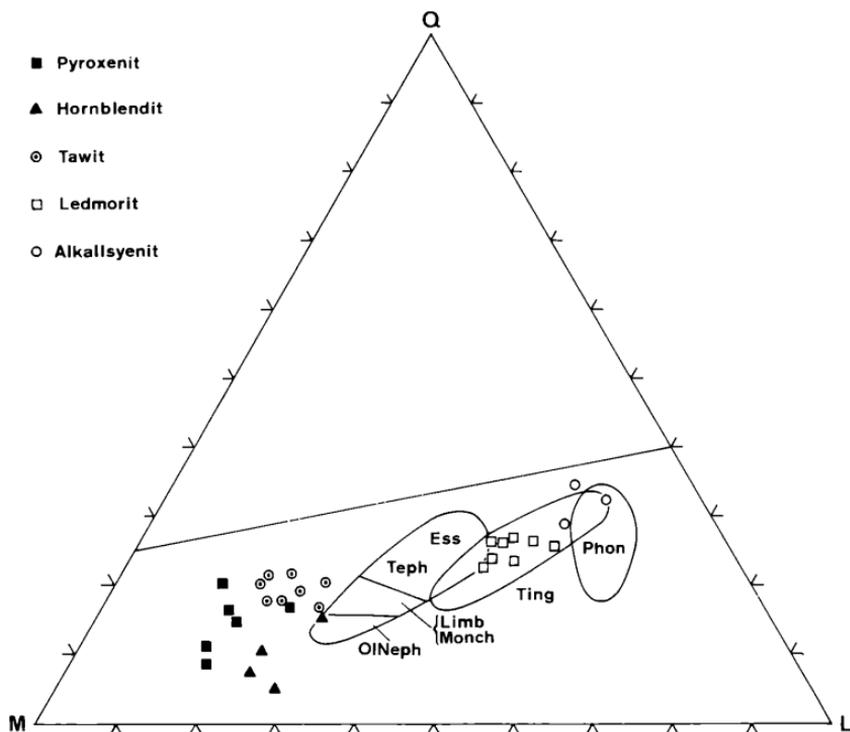


Abb.6:

QLM-Diagramm (NIGGLI-BURRI) der analysierten Gesteine aus der Forschungsbohrung Kaiserstuhl und der wichtigsten magmatischen Gesteine des gesamten Kaiserstuhls. Abkürzungen: Ess = Essexite und Theralithe, Limb = Limburgite, Monch = Monchiquite, OlNeph = Olivinnephelinite, Phon = Phonolithe, Teph = Tephrite, Ting = Tinguaite.

Der quantitative Mineralbestand eines typischen Ledmorites ist in Tab.1 angegeben. Die chemischen Analysen der Ledmorite sind durch die verbreiteten Sekundärminerale mehr oder weniger stark beeinflusst, so daß sie weder bei der Umrechnung in die CIPW-Norm noch in die RITTMANN-Norm Mineralbestände ergeben, die dem primären „trockenen“ Mineralbestand gut entsprechen. Die graphische Darstellung erfolgt daher nur in dem vereinfachenden QLM-Dreieck nach NIGGLI-BURRI, wo sie vermittelnde Positionen zwischen den Essexiten und Phonolithen einnehmen (Abb.6).

Die Alkalisyenite treten in verschiedenen Tiefen der Bohrung als mittelkörnige oder pegmatoide Schlieren und Gängchen im Ledmorit auf. Sie bestehen aus:

- Alkalifeldspat (K-reich, z.T. mit Perthitmischung);
- Ägirinaugit (meist zu Karbonaten zersetzt);
- Pseudomorphosen nach einem Mineral der Sodalithgruppe (Zeolithe, Analcim);
- Calcit, Melanit, Biotit, Pyrrhotin, Pyrit.

Der quantitative Mineralbestand eines typischen Alkalisyenites ist in Tabelle 1 angegeben.

Schlieren mit uranhaltigem Koppit treten nach KIRCHHEIMER (1974) im Ledmorit in verschiedenen Teufen, besonders zwischen 400 und 500 m auf. Die betreffenden Gesteinspartien enthalten besonders reichlich Pyrit.

Die Tinguait, Gangphonolithe und ein Mondhaldeit entsprechen in ihren Eigenschaften weitgehend den von Oberflächenaufschlüssen beschriebenen Gesteinen.

Von besonderem Interesse sind Mafititeinschlüsse des Ledmorits, die große Ähnlichkeit mit den entsprechenden Komponenten der subvulkanischen Breccien haben. Nach dem Mineralbestand können Melanit-Tawite und Pyroxenite mit verschiedenen Zusatzmineralen unterschieden werden. Das Vorkommen dieser Gesteine im Ledmorit unterstreicht ihre schon angenommene Zugehörigkeit zur foidsyenitisch-phonolithischen Familie des Kaiserstuhls.

Der hohe Anteil des Ledmorits im Bohrprofil bedingt eine nicht unerhebliche Änderung des Gesamtbildes des zentralen Kaiserstuhls; das bisher nur auf sehr kleiner Fläche bekannte Gestein tritt offenbar mit größerem Volumen im Untergrund auf. Es kommt hinzu, daß auch am NW-Hang des Badberges, also im Hangenden der Karbonatitintrusion, Ledmorit neu aufgeschlossen wurde. Für die „intrusiven Phonolithe“ der Geol. Exkursionskarte, die den Alkalisyeniten der Bohrung gleichen, kann angenommen werden, daß sie Differentiate des Ledmorits sind; eine metasomatische Entstehung im Sinne von SUTHERLAND (1967) ist weniger wahrscheinlich.

Die am NW-Hang des Badberges, etwa 100 m nördlich von Punkt 331,4 vorkommenden wenigen Blöcke von Kugelkarbonatit sind als Beispiele der in Karbonatiten möglichen Differentiationen bemerkenswert. Die Gesteine bestehen aus unterschiedlich verteilten, 0,1 bis 0,5 cm großen dunkleren „Kugeln“ (oft auch Ellipsoiden) in einer hellen, überwiegend calcitischen Matrix. Mineralbestandteile der Kugeln sind Magnetit, Melilith, Apatit, Diopsid, Phlogopit und Calcit in wechselnden Mengenverhältnissen. Nach dem Mineralbestand lassen sich „intermediäre“ und „calcitarme“ Kugeln unterscheiden (siehe Tabelle 1). Die „intermediären“ Kugeln zeigen meist einen konzentrisch-schaligen Aufbau; sie sind in dem betreffenden Gestein locker verteilt, während die „melanokraten“ Kugeln in dichter Packung mit nur wenig Calcitmatrix vorliegen. Die Umrechnung der chemischen Analysen in RITTMANN-Normen ergibt die auf der nachfolgenden Tabelle angegebenen Mineralbestände in Vol.-%.

Die im Mineralbestand ähnlichen magnetit- und melilithreichen Einlagerungen im Karbonatit vom Unterbadberg (vgl. S. 407) zeigen keine Kugeltexur; sie sind richtungslos-körnig ausgebildet.

Tab. 2 a: RITTMANN-Normen der Kugeln aus Kugelkarbonatiten

	intermediäre Kugeln	calcitarme Kugeln
Melilith	21,8	41,7
Calcit	50,2	14,0
Magnetit	22,4	25,9
Apatit	3,6	5,1
Olivin	–	7,6
Perovskit	0,2	0,7
Nephelin	1,7	5,0

## 5. Auswürflinge und Einschlüsse aus dem Grundgebirge

Gesteine des Grundgebirges (Gneise, Granite) und deren Umwandlungsprodukte treten im Kaiserstuhl als Einschlüsse in Phonolithen und als Auswürflinge in bestimmten Tuffen ziemlich häufig auf. Übersichten der Gesteinstypen und erste genetische Überlegungen finden sich bei EIGENFELD 1954 u. WIMMENAUER 1959, S.137–138; 1962, S.399–406 und 1963, S.261. Die wichtigsten Vorkommen von Grundgebirgsgesteinen sind: Phonolith von Oberschaffhausen (Gneise); Phonolith im Rippachtal bei Eichstetten (Granite); Tuffbreccie des „Eichstetter Vulkans“ (Gneise, Granite); polygener Tuff von Wasenweiler (Gneise); Phonolith von Niederrotweil (Gneise); Tuff  $t_3$  am Limberg (Gneise, Granite). HSIAO hat zahlreiche Grundgebirgsauswürflinge vom Limberg und von Eichstetten sowie die mit ihnen vorkommenden Fenite und Karbonatite untersucht.

Der Tuff  $t_3$  am Limberg liegt zwischen lakustrinen Sedimenten des Obermiozäns und dem jüngsten dort bekannten Lavastrom, einem Sanidinnephelinit. Er ist meist feinkörnig und reich an tonigen und karbonatischen Bestandteilen wahrscheinlich sedimentärer Herkunft. Stellenweise treten viele zersetzte Phonolithbruchstücke auf; charakteristische Schwerminerale sind Augit, Melanit, Titanit und Apatit. Die nur noch schlecht aufgeschlossene vulkanische Breccie westlich von Eichstetten enthält viele Sedimentbruchstücke und Olivinancimit als magmatische Komponente. Augit, Hornblende, Magnetit und Apatit sind die charakteristischen Schwerminerale. Die hier vorkommenden Fenite sind meist frisch.

Im Tuff  $t_3$  am Limberg wurde eine breite Skala unveränderter und veränderter Grundgebirgsgesteine gefunden. Nach HSIAO sind acht Typen unterscheidbar:

- Reliktische Gneise (oft unfrisch, mit serizitisierten Plagioklasen): Plagioklas-Quarz-Biotit-Paragneise, Plagioklas-Quarz-Biotit-Muskovit-Paragneise, z.T. in quarzitische Gneise übergehend.
- Biotit-Andalusit-Paragneise mit Umkristallisationserscheinungen, die eine Wiederhitzung andeuten. Alkalifeldspat ist häufiger als Plagioklas. Andalusit erscheint in blastischen Einzelkörnern und Aggregaten, wahrscheinlich auf Kosten von Sillimanit.

- c) Ringitische<sup>1</sup> Fenite, aus Gneisen entstanden, selten. Der größte gefundene Block von 30 cm Durchmesser gehört diesem Typ an. Starke metasomatische Umwandlungen: Quarz verschwindet, Biotit geht in Ägirinaugit, Plagioklas in Alkalifeldspat über. Die Gneistextur bleibt erkennbar.
- d) Reliktische Granite (selten).
- e) Mäßig umgewandelte Granite. Der Quarzgehalt variiert zwischen 35 und 0 Vol.-%, Alkalifeldspat nimmt auf Kosten von Plagioklas stark zu. Einige der Gesteine zeigen die von VON ECKERMANN (1948) aus der „Thermal shock zone“ der Fenitaureole von Alnö beschriebenen Strukturen (z. B. körniger Zerfall des Quarzes und nachfolgende Rekristallisation). In einigen Fällen ist der Alkalifeldspat Sanidin; die Plagioklase haben Hochtemperatur-optik.
- f) Syenitische und calcitsyenitische Fenite. Diese Gesteine sind durch Vorherrschen von Alkalifeldspat (Sanidin oder Orthoklas) und das Fehlen des Quarzes ausgezeichnet. In den Calcitsyeniten können Calcit und Ägirinaugit bis zu 25 bzw. 33 Vol.-% erreichen.
- g) Ringitische Fenite granitischer Herkunft unterscheiden sich von der Gruppe f) durch höhere Anteile von Calcit und Ägirinaugit gegenüber Alkalifeldspat.
- h) Zwei Blöcke von Feldspatsövit, einer mit Ägirinaugit, der andere mit Hornblende, wurden am Limberg gefunden. Diese Gesteine (und die ringitischen Fenite) sind reicher an Apatit als die anderen Fenite. Sie sind von den Karbonatiten des Kaiserstuhl-Zentrums deutlich unterschieden; diese enthalten Phlogopit, Magnetit, Diopsid und Forsterit anstelle von Ägirinaugit oder Hornblende in den Karbonatiten vom Limberg.

Von den sehr variablen Gefügeeigenschaften der Fenite sei nur ein Fall (von Eichstetten) hervorgehoben, wo eine trachytoide Textur den Übergang in einen magmatischen Zustand anzudeuten scheint.

Chemische Analysen einiger Gneise, Granite und Fenite sind in Tab. 3 zusammengestellt. Abb. 7 und 8 zeigen die Verhältnisse einiger Hauptelemente und der wichtigsten modalen Mineralkomponenten. Von 40 Proben wurden Neben- und Spurenelemente bestimmt und mit den mittleren Gehalten der Karbonatite des Zentrums verglichen (Tab. 4). Die metasomatischen und fenitisierten Gesteine haben deutlich erhöhte Gehalte an karbonatit-spezifischen Elementen, wie Sr, Ba, Nb und Zr.

Genetische Folgerungen aus den Befunden sind nur begrenzt möglich, weil die Auswürflinge naturgemäß eine diskontinuierliche und mehr oder weniger zufällige Auslese der in der Tiefe vorhandenen Gesteinsvarietäten darstellen. Nichtsdestoweniger scheinen doch folgende Aussagen berechtigt:

<sup>1</sup> Ringit = feldspatführender Ägirinkarbonatit.

Tab.3:

Chemische Analysen von Gneis-, Granit- und Fenit ausgewürflingen aus dem Kaiserstuhl.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	72.60	63.70	71.30	61.90	54.80	24.00	18.60
TiO <sub>2</sub>	0.67	0.79	0.22	0.09	0.21	0.56	0.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.30	19.75	14.95	14.60	12.30	6.37	6.77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.72	1.21	1.05	0.83	5.82	2.68	2.03
FeO	1.70	4.24	0.81	0.16	1.28	0.93	1.58
MnO	0.20	0.20	0.07	0.11	0.40	0.86	0.34
MgO	1.10	1.87	0.21	0.38	1.03	2.04	1,51
CaO	1.02	0.85	1.60	7.82	8.50	34.85	38.40
Na <sub>2</sub> O	3.63	1.96	3.40	2.78	3.78	1.52	1.23
K <sub>2</sub> O	1.94	4.18	5.52	3.40	6.94	1.42	0.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.33	0.17	0.35	0.98	0.55	2.81	2.75
CO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.12	5.53	3.75	21.10	22.44
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.06	1.51	0.91	1.12	0.99	1.39	2.72
Summe	100.27	100.43	100.51	99.70	100.35	100.54	99.63

1: Biotit-Muskovitgneis, Limberg, Tuff t<sub>3</sub>2: Andalusitgneis, Limberg, Tuff t<sub>3</sub>

3: Thermisch beeinflusster Granit, Eichstetter Vulkan

4: Syenitischer Fenit, Limberg, Tuff t<sub>3</sub>

5: Syenitischer Fenit, Eichstetter Vulkan

6: Ringitischer Fenit, Limberg, Tuff t<sub>3</sub>7: Feldspatsövit, Limberg Tuff t<sub>3</sub>

a) Gneise und Granite im Untergrund des Kaiserstuhls erfuhren metasomatische Umwandlungen, die wahrscheinlich von Karbonatitintrusionen ausgingen.

b) Zufuhr von Karbonat und Alkalien und Wegfuhr von Kieselsäure erzeugten syenitische und calcitsyenitische Gesteine. „Echte“ Fenite entstanden durch Neubildung von Ägirinaugit auf Kosten von Biotit oder durch Zufuhr von Alkalien und Eisen.

Es ist bemerkenswert, daß sehr ähnliche Vorgänge auch an Gneis- und Granit-einschlüssen in den Phonolithen zu beobachten sind.

Die Gneis- (Granit-)Fenitserie des Kaiserstuhl-Untergrundes bietet sich dem Vergleich mit den Fenit-Auswürflingen im Böhmischem Mittelgebirge (KOPECKY et al. 1970) und mit der gut aufgeschlossenen Fenitaureole des Karbonatits von Alnö (VON ECKERMANN 1948) an (Tabelle 5). In diesem Schema besteht

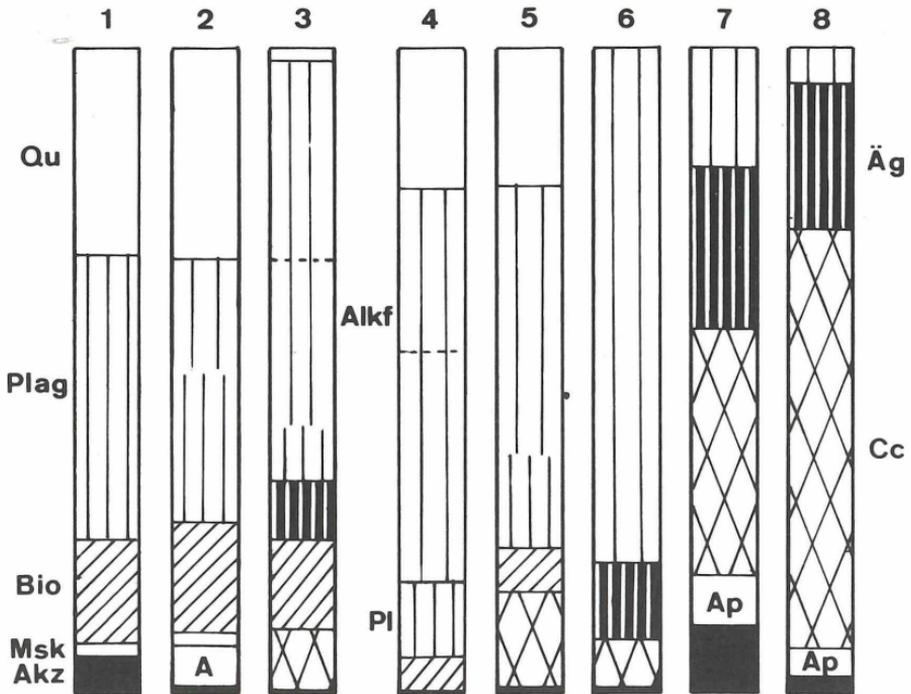


Abb.7:

Modale Mineralbestände von Gneisen, Graniten und Feniten aus dem Untergrund des Kaiserstuhls. Abkürzungen: Qu = Quarz, AlkF = Alkalifeldspat (die gestrichelten Querlinien trennen relictische (unten) von neugebildeten Alkalifeldspäten), Pl = Plagioklas, Bio = Biotit, Msk = Muskovit, Äg = Ägirinaugit, A = Andalusit, Ap = Apatit, Akz = Akzessorien, Cc = Calcit.

- 1: Biotit-Muskovit-Gneis, Limberg, Tuff  $t_3$
- 2: Andalusitgneis, Limberg, Tuff  $t_3$
- 3: Gneisfenit, Einschluß in Phonolith, Kirchberg
- 4: Granit mit Aufschmelzerscheinungen, Einschluß in Phonolith, Ruhsetal bei Eichstetten
- 5: Granitfenit, Limberg, Tuff  $t_3$
- 6: Syenitischer Fenit, Limberg, Tuff  $t_3$
- 7: Ringitischer Fenit, „Eichstetter Vulkan“
- 8: Feldspat-Sövit, Limberg, Tuff  $t_3$

allerdings eine Inkonsistenz zwischen den calcitsyenitischen Feniten des Kaiserstuhls und ihren Entsprechungen in derselben Reihe. Das „rheomorphe“ (nephelelinsyenitische) Stadium ist vielleicht durch die phonolithischen Komponenten des Tuffs  $t_3$  repräsentiert.

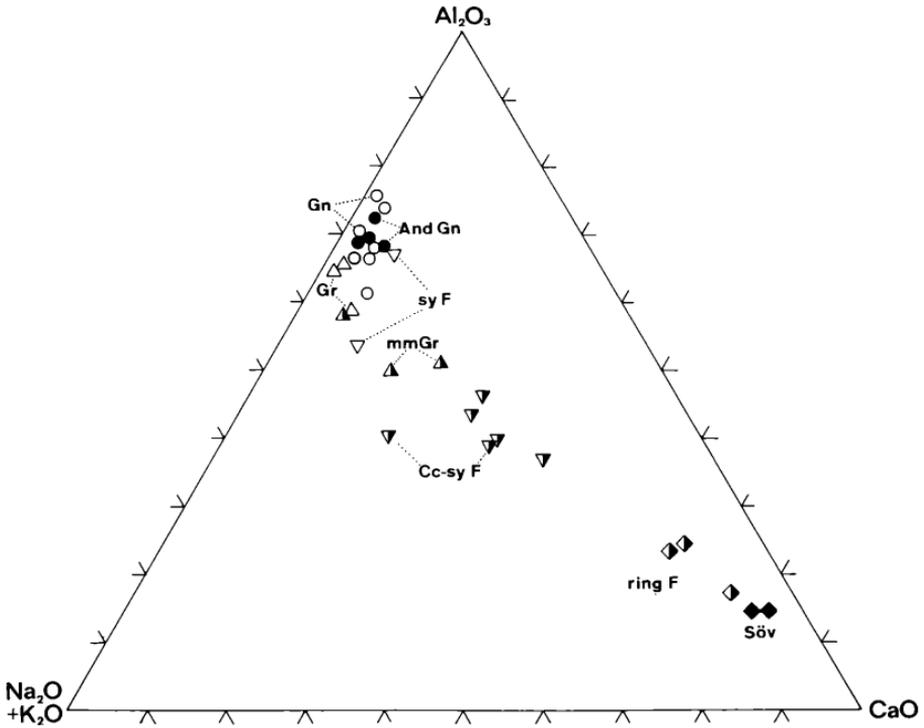


Abb. 8:

$\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{CaO}$ –( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )–Diagramm von Gneisen, Graniten und Feniten aus dem Untergrund des Kaiserstuhls.

Abkürzungen: Gn = Gneise, And Gn = Andalusitgneise, Gr = Granite (unverändert und thermometamorph), sy F = syenitische Fenite, mmGr = mäßig metasomatisch veränderte Granite, Cc-sy F = calcitsyenitische Fenite, ring F = ringitische Fenite, Söv = Feldspat-Sövite.

## 6. Schlußfolgerungen

- a) Im flacheren Untergrund des Badberg-Karbonatitkörpers tritt als liegendes Nebengestein Ledmorit mit Alkalisyenitschlieren in weit größerer Ausdehnung auf, als bisher bekannt war. Die Gesteine gehören aufgrund ihrer Mineralbestände und chemischen Zusammensetzung zur foidsyenitisch-phonolithischen Familie des Kaiserstuhls. Der Ledmorit ist ein intermediäres Mitglied dieser Familie; die Tinguaiten sind seine Gangäquivalente. In der Forschungsbohrung am Südfuß des Badberges wurden ab 50m Tiefe frische Karbonatite angetroffen, die sich von den zutage anstehenden Gesteinen durch das Auftreten von Pyrrhotin, Pyrit und Phlogopit (statt Hydrophlogopit) unterscheiden.

Tab.4:  
Nebenelemente in Gneis-, Granit- und Fenitwürflingen

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rb	250-850	350-600	230-1060	200-930	200	50-130	50-140	<10
Sr	60-480	280	120-720	2400	1200-2090	5400	3450	6800
Ba	250-950	400-1350	180-490	1000	1120-3480	970-1500	1000	2500
Zr	100-450	120-390	40-320	170-420	130-310	240	290	52
Nb	40	40	50-170	400	210-510	390-500	170	780

1: Biotit-Muskovitgneise (11);

2: Andalusitgneise (4);

3: Reliktische und mäßig metasomatische Granite (4)

4: Syenitische Fenite (2);

5: Calcitsyenitische Fenite (2);

6: Ringitische Fenite (3);

7: Feldspatsöbite (2).

8: Söbite des Kaiserstuhl-Zentrums (25) nach VAN WAMBEKE et al. 1964.

b) Die gravimetrische Vermessung des Kaiserstuhls ergab ein deutliches Schweremaximum im Raum Vogtsburg—Schelingen. Ein magnetitreicher Gesteinskörper im Untergrund der Karbonatitintrusion könnte die Ursache sein. Die durch magnetometrische Detailvermessung am westlichen Badberg gefundene lokale Anomalie kann ebenfalls durch die Annahme eines magnetitreichen Gesteinskörpers in wenigen hundert Metern Tiefe interpretiert werden. Die im gleichen Gebiet spärlich zutage tretenden Magnetit-Melilith-Karbonatite können als Modelle eines solchen Gesteins angesehen werden; sie sind als spezielle Differentiate des Karbonatits zu deuten. — Das Maximum der flugmagnetometrischen Karte fällt weder mit dem Schweremaximum noch mit dem Verbreitungsgebiet der Karbonatite zusammen.

Tab.5:  
Vergleich der Fenite des Kaiserstuhls mit den Fenitwürflingen des Böhmisches Mittelgebirges und der Fenitaureole von Alnö (S).

Alnö	Böhm. Mittelgebirge	Kaiserstuhl
Thermodynamische „Schock“-Zone	Thermodynamisch veränderter Granodiorit	Thermodynamisch veränderter Granit und Gneis
Quarzsyenitischer Fenit	Granodioritischer Fenit	Alkaligranitischer Fenit
Syenitischer Fenit	Syenitischer Fenit	Syenitischer Fenit
Alkalifenit		Calcitsyenitischer und ringitischer F.
Alkali-Ultrafenit	Nephelinsyenit	Phonolith?
Rheomorpher Fenit		Feldspat-Sövit
Sövit	Sövit	Sövit

- c) Die subvulkanischen Breccien im zentralen und östlichen Kaiserstuhl haben neben den von der Oberfläche bekannten Gesteinen Bruchstücke von Pyroxeniten, Hornblenditen und Tawiten gefördert, die als mafitische Differentiate des foidsyenitisch-phonolithischen Magmas angesehen werden. Diese Annahme wird dadurch gestützt, daß die gleichen Gesteine auch als Einschlüsse oder Schlieren im Ledmorit der Forschungsbohrung vorkommen. — Die subvulkanischen Breccien enthalten ferner Mineralkomponenten, wie Olivin und Chromspinell, die auf Beteiligung einer ultrabasischen Magmenkomponente tiefer Herkunft schließen lassen. In Analogie zu den Schlottuffen der Umgebung des Kaiserstuhls kommt z. B. ein olivinnephelinitisches Magma mit Peridotiteinschlüssen in Frage.
- d) Tuffe und Schlotbreccien an der Peripherie des Kaiserstuhls haben Granite und Gneise aus dem kristallinen Untergrund gefördert. Die Gesteine sind teils unverändert, teils in verschiedensten Graden thermisch und metasomatisch verändert. Aus den am Limberg und bei Eichstetten gefundenen Fragmenten solcher Gesteine läßt sich eine Entwicklungsreihe zusammenstellen, die in großen Zügen den Gesteinstypen der klassischen Fenitäreole von Alnö (nach VON ECKERMANN) entspricht. Die hohen Karbonatgehalte der am stärksten umgewandelten Gesteinstypen, geochemische Kriterien (Nb- und Sr-Gehalte) und das (seltene) Vorkommen echter Karbonatitbruchstücke lassen darauf schließen, daß die Metasomatose von Karbonatitmagmen ausging. Indessen enthalten auch die Phonolithe von Oberschaffhausen und Niederrotweil Granit- und Gneiseinschlüsse, die z.T. in ähnlicher Weise metasomatisch verändert sind. Alle diese Befunde sprechen für verbreitete metasomatische Reaktionen bestimmter Magmen des Kaiserstuhls mit ihrem kristallinen Nebengestein und eine gewisse Verweilzeit in Herden in der Oberkruste. Weitergehende Aussagen über Lage, Gestalt und Größe dieser Herde sind noch nicht möglich.

### Schriftenverzeichnis

- ALTHAUS, E. (1974): Petrologische Gedanken zum Untergrund d. Rheingrabens. Approaches to Taphrogenesis, hrsg. v. J.H. ILLIES & K. FUCHS, 341—347, Stuttgart (Schweizerbart).
- BARANYI, I. (1970) Beiträge zur Petrographie der Gesteine aus Bohrungen am Badberg (Kaiserstuhl). — Mitt. - Bl. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, 10, 261—270.
- (1977): Petrographie und Geochemie der subvulkanischen Breccien des Kaiserstuhls. — Neues Jb. Miner. Abh., 128, 254—284.
- BARANYI, I., LIPPOLT, H. J., & TODT, W. (1976): Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingraben-Gebietes, II: Die Alterstraverse vom Hegau nach Lothringen. — Oberrhein. geol. Abh., 25, 41—62.

- BOSUM, W., & HAHN, A. (1970): Interpretation der Flugmagnetometervermessung des Oberrheingrabens. — Graben Problems, hrsg. v. J.H. ILLIES & S. MÜLLER, 219—223, Stuttgart (Schweizerbart).
- BREYER, F. (1974): Structure and development of the southern part of the Rhine graben according to geological and geophysical observations. — Approaches to Taphrogenesis, hrsg. v. J.H. ILLIES & K.FUCHS, 145—154, Stuttgart (Schweizerbart).
- VON ECKERMANN, H. (1948): The alkaline district of Alnö island. — Sveriges geol. Unders., Ser. Ca, 36, 176 S.
- EIGENFELD, R. (1954): Zur Genese von Alkaligesteinen. — Ber. phys.-med. Ges. Würzburg, 66, 95—114.
- FUCHS, K. (1974): Geophysical contributions to taphrogenesis. — Approaches to Taphrogenesis, hrsg. v. J.H. ILLIES & K.FUCHS, 420—432, Stuttgart (Schweizerbart).
- HURRLE, H. (1976): Ocelli- und Mandelbildung der ultrabasischen Basalte im Kalisalzlager Buggingen und im Kristallin des Schwarzwaldes. — Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 18, 19—38.
- ILLIES, H. (1974): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und der Rheingraben. — Ober-rhein. geol. Abh., 23, 1—24.
- KELLER, J. (1964): Zur Vulkanologie des Burkheim-Sponeck-Gebietes im westlichen Kaiserstuhl. — Ber. naturf. Ges. Freiburg i.Br., 54, 107—130.
- (1965): Eine Tuffbreccie vom Henkenberg bei Niederrotweil und ihre Bedeutung für die Magmatologie des Kaiserstuhls. — Ber. naturf. Ges. Freiburg i.Br., 55, 349—364.
- KIRCHHEIMER, F. (1973): Weitere Mitteilungen über das Vorkommen radioaktiver Substanzen in Süddeutschland. — Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 15, 33—126.
- KOPECKY, L., FIALA, J., DOBES, M., & STOVICKOVA, N. (1970): Fenites of the Bohemian Massif and the relations between fenitization, alkaline volcanism and deep fault tectonics. — Sbornik geol. Ved. (geol. Ser.), 16, 51—112.
- PFANNENSTIEL, M. (1933): Die Geologie des Kaiserstuhls. — Der Kaiserstuhl, hrsg. v. R.LAIS, 18—127, Freiburg i.Br. (Bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz).
- RHINEGRABEN RESEARCH GROUP (1974): The 1972 seismic refraction experiment in the Rhinegraben. — Approaches to Taphrogenesis, hrsg. v. J.H. ILLIES & K.FUCHS, 122—137, Stuttgart (Schweizerbart).
- SUTHERLAND, D.S. (1967): A note on the occurrence of potassium-rich trachytes in the Kaiserstuhl carbonatite complex, West Germany. — Miner. Mag., 36, 334—341.
- THIELE, P. (1974): Bouguer-Anomalienkarte für den Kaiserstuhl. — Approaches to Taphrogenesis, hrsg. v. J.H. ILLIES & K.FUCHS, 231—235, Stuttgart (Schweizerbart).
- VERFAILLIE, G. (1964): Levé magnétique en composante verticale du Badberg au Kaiserstuhl. — In: VAN WAMBEKE, L. et al., Les roches alcalines et la carbonatites du Kaiserstuhl, EURATOM Rapport, 1827 d, f, e, 211—22, Brüssel.
- WIMMENAUER, W. (1963): Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls, I—III, Neues Jb. Miner., Abh., 93, 133—173, 1959; IV, V, ebenda, 98, 367—415, 1962; VI, VII, ebenda, 99, 231—276.
- (1966): The eruptive rocks and carbonatites of the Kaiserstuhl (Germany). — In: Carbonatites, hrsg. v. O.F. TUTTLE & J. GITTINS, 183—204, New York, London, Sydney (Interscience Publishers).

# 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: 1977

Band/Volume: [67](#)

Autor(en)/Author(s): Wimmenauer Wolfhard, Bakhshwin M., Baranyi Istvan, Hsiao C.

Artikel/Article: [Neuere Befunde über den Untergrund des Kaiserstuhls 405-424](#)