Der Kaiserstuhl-Karbonatit

Von Simone Zartner

Der Kaiserstuhlvulkan befindet sich im südlichen Oberrheingraben, nordwestlich von Freiburg und liegt somit in der Rheinebene, nahe an der Grenze zur Vorbergzone (Abb.1). Der Vulkankomplex weist in SW-NE-Richtung eine Länge von etwa 16 km und eine Breite von 12 km Breite auf. Der Kaiserstuhl bildete einst einen typischen Stratovulkan, dessen Krater jedoch aufgrund Erosion seit dem Ende des Vulkanismus vor 15 Ma nicht mehr erhalten ist. Die höchste Erhebung des Kaiserstuhls ist der Totenkopf mit 558 m. Sieht man von der Überdeckung durch Lösssedimente ab, besteht die Oberfläche des Kaiserstuhls heutzutage zu drei Viertel aus Laven und Pyroklastiten.

Abb. 1: Oberrheingraben (aus Henningsen, Katzung, 2006)

Im Bereich des Kaiserstuhls laufen zwei Schwächezonen zusammen: Eine streicht NW-SE und erreicht vom Bodenseegebiet, über das Hegau-Vulkangebiet und dem Grundgebirge des Schwarzwaldes den ORG. Die andere ist der SSW-NNE-streichende Oberrheingraben. Der Magmenaufstieg erfolgte entlang dieser Zonen. Darunter beobachtet man im Erdmantel eine domartige Aufwölbung. Die aufgewölbte Mantel-Kruste-Grenze befindet sich hier in 24 km Tiefe, dagegen befindet sie sich außerhalb des Rheingrabens in einer Tiefe von mehr als 30 km. Dieser Manteldom wird als Hauptursache für den Kaiserstuhl-Vulkanismus angenommen.

Vorkommen

Die Karbonatite treten am Kaiserstuhl als große Intrusionen, als kleinere Gänge und als Tuffe im Zentrum des Vulkankomplexes auf (siehe Abbildung 2 und 3). Die Karbonatite der Intrusionen haben eine Flächenausdehnung von etwa 1 km^2. Sie sind hypabyssischer Entstehung; die Magmen sind also oberflächennah im Schlot steckengeblieben und auskristallisiert. Die Gänge weisen Mächtigkeiten von wenigen Zentimetern bis zu einem Meter auf (HUBBERTEN et al., 1988).

Die karbonatitischen Tuffe im Kaiserstuhl sind als Aschen- und Lapillituffe vertreten. Diese zeigen kugelförmige karbonatitische Partikel auf, eingelagert in einer sekundären kalzitischen Matrix. Die Tuffe belegen, dass es vereinzelt zum Auswurf von karbonatitscher Schmelze an die Oberfläche kam (LGRB, 2003).

Chemische und mineralogische Zusammensetzung

Die Karbonatite des Kaiserstuhls sind in ihrem Mineralbestand relativ variabel; deutliche Unterschiede zeigen sich zwischen den größeren karbonatitischen Intrusionen und den schmalen, jüngeren Gängen. Als Mineralbestandteil treten im Wesentlichen Kalzit, Glimmerminerale (häufig Phlogopit), Forsterit, Magnetit und Apatit auf. Die Karbonatite der großen Intrusionen sind mittel- bis grobkörnig ausgebildet und weisen in der Regel eine helle Farbe auf. Zusätzlich ist ein Lagenbau erkennbar; Hauptmineral ist Kalzit (90 – 95 Vol-%). Man bezeichnet die Gesteine der größeren Intrusionen auch als Sövite, bei den kleineren Gängen handelt es sich um Alvikite (HUBBERTEN et al., 1988).

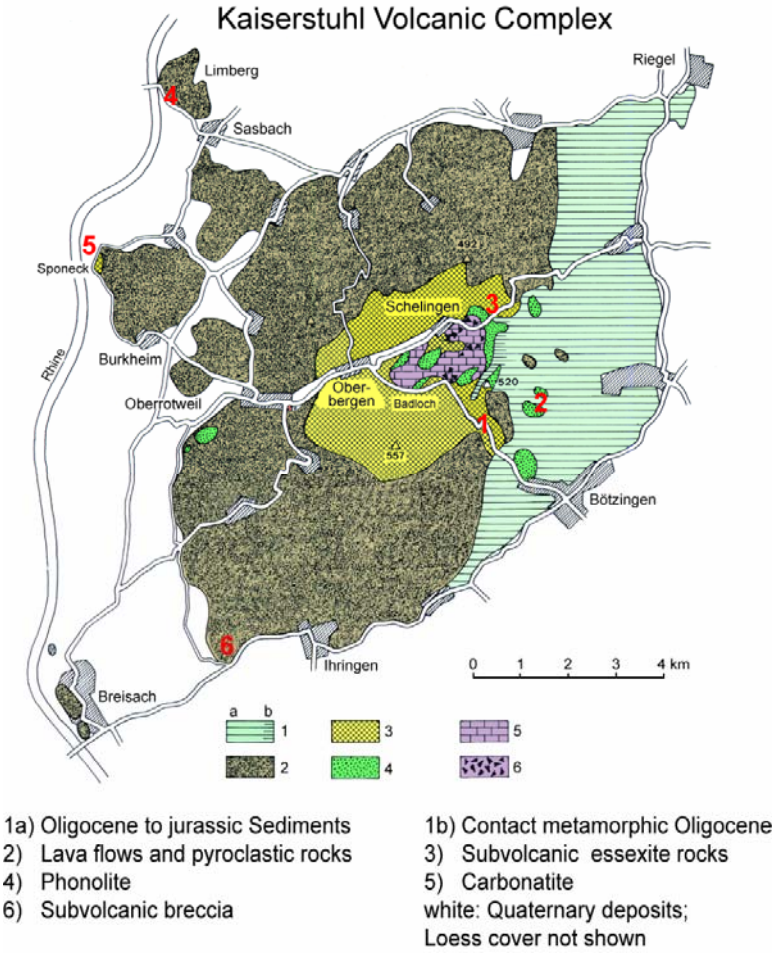

Abb. 2: Geologische Übersichtskarte des Kaiserstuhls (Exkursionsführer: Geologie vom Schwarzwald und Kaiserstuhl, 2004. Nach Brügmann)

Tabelle 1 zeigt chemische Einzelanalysen von verschieden Karbonatittypen des Kaiserstuhls. Typisch sind die hohen Gehalte an CaO und CO_2 und die sehr niedrigen Werte von SiO_2, Al_2O_3 und Na_2O verglichen mit anderen Gesteinen. Bemerkenswert sind die hohen Gehalte von inkompatiblen SEE. Besonders auffällig sind hohen Konzentrationen an Strontium, Barium und Niob; so können diese Elemente in eigenen akzessorischen Phasen auftreten, z.B.

Zirkonolith ($CaZrTi_2O_7$), Dysanalyt (Nb-Perowskit), Pyorchlor ($[Na, Ca]_2[Nb, Ti, Ta]_2O_6[OH, F, O]$) oder Titanit.

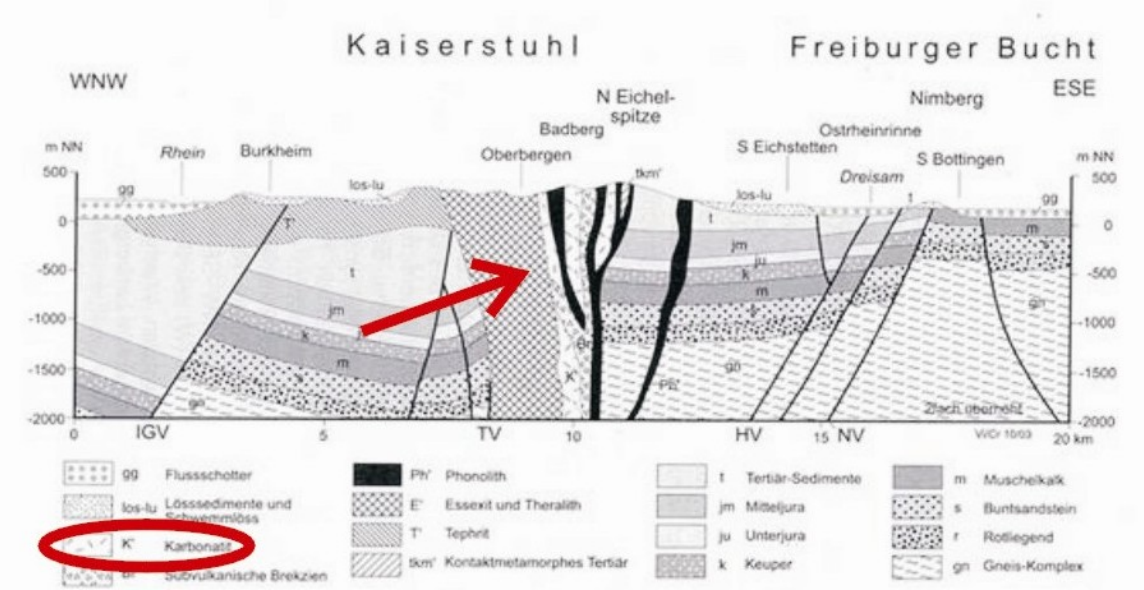

Abb. 3: Geologischer Schnitt durch den Kaiserstuhl nach HÜTTNER, R. in: LGRB (2003)

Entwicklung und Alter der Gesteine des Kaiserstuhls

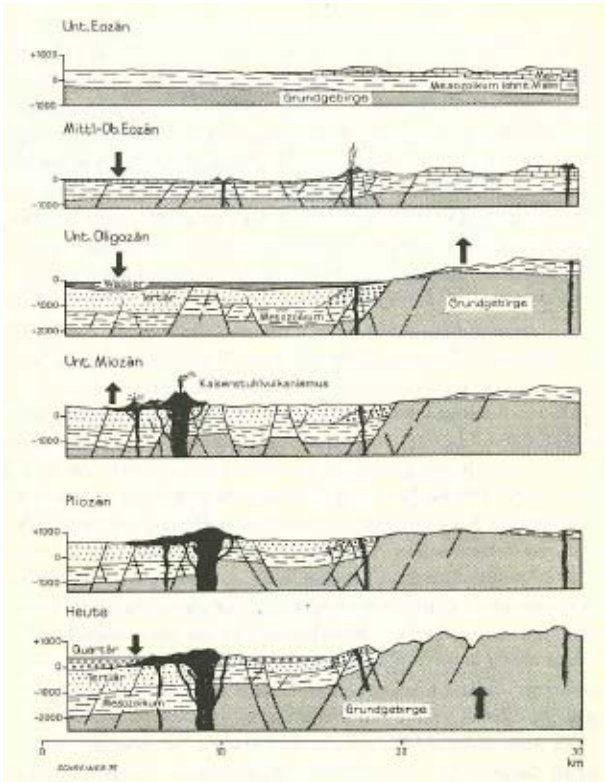

Abb. 4: Entwicklungsschema des südlichen Oberrheingrabens (Schreiner, 1977 – In: Pflug, 1982)

Das Vulkangebirge des Kaiserstuhls baute sich während des frühen Miozäns, insbesondere dem Burdigalium und dem unteren Langhium, auf (Abb. 4). Die Vulkanite des Kaiserstuhls weisen ein Alter von 15 bis 19 Ma auf (siehe Tabelle 2), das anhand von K-Ar-, Rb-Sr- und Spaltspuren-Messungen datiert wurde (Lippolt et al., 1963; Baranyi et al., 1976; Wagner, 1976; Schleicher, 1986; Kraml et al., 1995). Sie sind demzufolge relativ jung im Vergleich zu anderen Vulkaniten im Oberrheingraben.

Tab. 1: Chemische Analysen von Karbonatiten des Kaiserstuhls. Hauptelemente (oben) in Gewichts-%, Nebenelemente (unten) in ppm. Werte in Klammern: ergänzt nach den jeweils angegebenen Quellen. (aus LGRB, 2003)

	1	2	3	4	5	6
SiO_2	1,37	3,98	2,27	1,09	3,43	1,27
TiO_2	0,05	0,07	0,09	0,00	0,31	0,16
Al_2O_3	0,25	1,50	0,88	0,17	0,35	0,54
Fe_2O_3	3,18	1,99	4,59	0,91	2,97	2,24
FeO	-	-	-	-	-	-
MnO	0,42	0,25	0,45	0,46	5,04	0,32
MgO	3,05	2,28	1,28	0,31	9,43	0,58
CaO	48,60	49,50	47,50	52,20	17,73	52,36
Na_2O	0,10	0,29	0,03	0,00	0,21	0,12
K_2O	0,03	0,63	0,05	0,00	0,60	0,05
P_2O_5	2,87	3,52	1,98	1,23	0,08	1,47
H_2O	-	0,57	-	-	0,14	1,85
CO_2	37,20	34,77	37,30*	41,10*	28,55	37,40
Summe	**97,12**	**99,90**	**96,82**	**97,47**	**80,09**	**98,36**
Cr	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-
V	90	-	160	130	331	55
Zr	180	-	260	40	0	49
Nb	2400	(8300)	1500	890	67	565
Sr	9000	-	7660	7990	0,95%	4160
Ba	650	-	800	960	19,30%	1290

1 = Sövit, Orberg bei Schelingen, Stbr. V; mit 640 ppm La, 1100 ppm Ce, 230 ppm Nd und 60 ppm Y (Keller 1984a)

2 = Sövit, Forschungsbohrung Kaiserstuhl; mit 0,55 % S (Bakhashwin 1971)

3 = Alvikit mit Kammertextur, Kirchbck bei Obergergen, Randzone; * = Glühverlust (Katz 1989)

4 = Alvikit mit Kammertextur, Fundort wie 2, Zentralzone; * = Glühverlust (Kat 1989)

5= Magnesiokarbonatit mit Baryt, Bohrung KB2, Schelingen (Nr. 23, Kap. 12; Sigmund 1996). Die Summe der Oxide enthält 11,25 % SO_3. Mit 1,22 La, 0,55 % Ce und 0,31 % Nd

6 = Karbonatitische Lapilli, Henkenberg bei Niederrotweil (Keller 1990)

Im unteren Miozän beginnt die vulkanische Förderung von pyroklastischen Tuffen und Tuffbreccien unterschiedlicher Gesteinstypen. In der Hauptphase, die ins mittlere Miozän fällt, wurden hauptsächlich phonolithische Laven, sowie Leucit-Tephrite gefördert. Gegen Ende dieser Phase im Mittelmiozän intrudierten Essexite im Zentrum des Vulkankomplexes als subvulkanische Körper. Im Obermiozän intrudierten die Karbonatite, ebenfalls im Vulkanzentrum; man findet sie südlich von Schelingen.

Tab. 2: Auswahl an Altersbestimmungen an Gesteinen und Mineralen des Kaiserstuhl (LGRB, 2003)

Alter [Ma]	Methode	Gestein/Mineral	Autoren
19,0 ± 1,6	K-Ar	Olivin-Nephelinit, Eichstetter Vulkan	Baranyi et al. (1976)
17,8	K-Ar	Biotit im Tephrit, zw. Burkheim u. Sponeck	Lippolt et al. (1963)
17,4	K-Ar	Tephrit, Kirchberg bei Niederrotweil	Lippolt et al. (1963)
17,3 ± 0,1	K-Ar	Phlogopit im Karbonatit, Bohrung Nr. 27 Steinreiße	Kraml et al. (1995)
17,2± 0,1	Ar-Ar	Sanidin in Gangphonolith, Horberig	Kraml et al. (1995)
16,6	K-Ar	Essexit, Schelingen	Lippolt et al. (1963)
16,6	K-Ar	Sanidin in phonolithischem Tuff t3, Limberg	Lippolt et al. (1963)
16,2 – 16,5	Ar-Ar	Sanidin in phonolithischem Tuff t3, Limberg	Kraml et al. (2006)
16,2	K-Ar	Essexit, Frohntal bei Oberrotweil	Lippolt et al. (1963)
16,1	K-Ar	Biotit in Tephrit, zw. Burkheim u. Sponeck	Lippolt et al. (1963)
15,80 ± 0,5	Spaltspuren	Apatit in Karbonatit, Bohrung Nr. 28 am Badberg	Wagner (1976)
15,1	K-Ar	Phonolith, Kirchberg bei Niederrotweil	Lippolt et al. (1963)

Magmengenese

Der Kaiserstuhl weist eine Vielzahl von verschiedenen Vulkaniten auf, grundlegend werden zwei Familien unterschieden: Die Familie der Tephrite-Essexite und die Familie der Phonolite, zu der die Karbonatite eingegliedert werden können (siehe Abbildung 5).

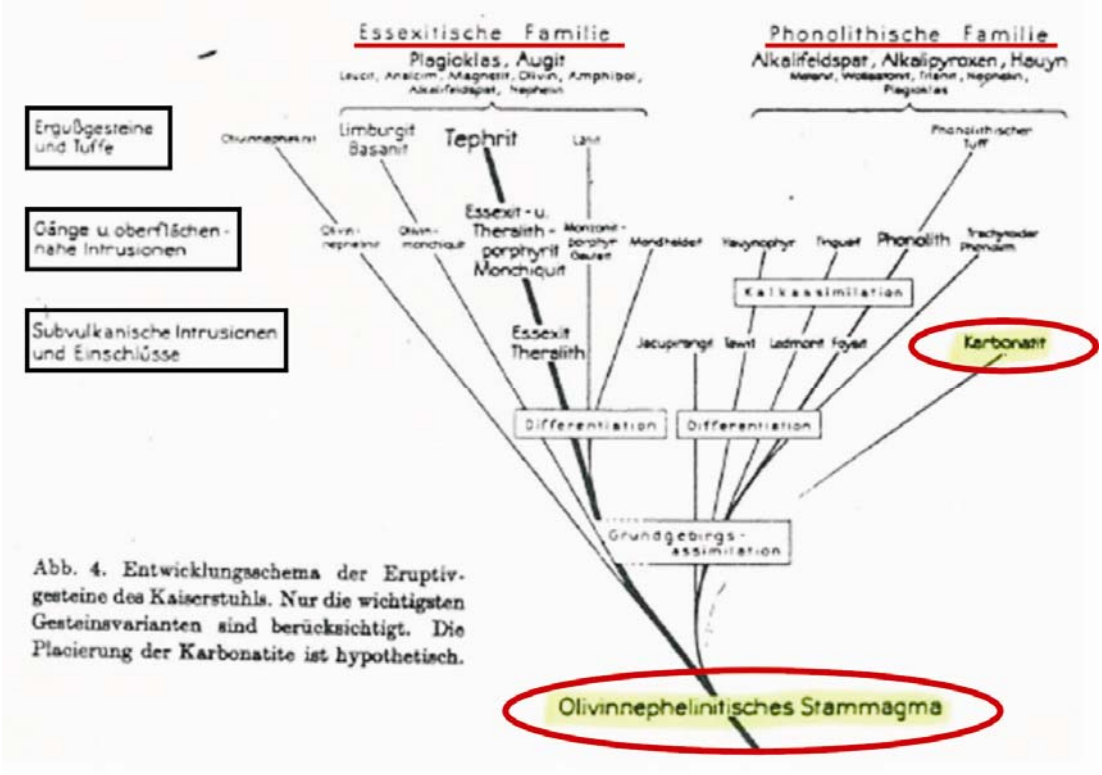

Abb. 4. Entwicklungsschema der Eruptivgesteine des Kaiserstuhls. Nur die wichtigsten Gesteinsvarianten sind berücksichtigt. Die Placierung der Karbonatite ist hypothetisch.

Abb. 2: Entwicklungsschema der Kaiserstuhl-Vulkanite (Exkursionsführer: Vulkanismus im Gebiet des Oberrheingrabens, 1988. Aus Wimmenauer, 1962)

Nach Keller (1990) können zwei Ausgangsmagmen angenommen werden: Ein ultrabasisches, Na-betontes Primärmagma, das durch die Olivin-Nephelinite repräsentiert wird und ein K-betontes, basanitisches Magma, aus dem die Tephrite und Essexite hervorgehen. Das Tephrit-Magma ist möglicherweise mit Krustenmaterial kontaminiert, das kann aufgrund der höheren Strontium- und der niedrigeren Neodym-Isotopenverhältnisse im Vergleich zu den Olivin-Nepheliniten geschlossen werden (siehe Tabelle 3). Weitere Fraktionierung der Tephrit-Essexit-Magmen führt zur phonolithischen Zusammensetzung.

Die Karbonatite des Kaiserstuhls haben einheitliche $^{87}Sr/^{86}Sr$-Verhältnisse von 0,7036 – 0,7040, einschließlich der Sövite, Alvikite und Tuffe, was auf eine gemeinsame Quelle der Karbonatite deutet (SCHLEICHER et al., 1990). Desweiteren decken sich diese Sr-Verhältnisse mit den Werten von Olivin-Nepheliniten des

Kaiserstuhls. Es kann folglich eine Entstehung aus primärer Olivin-nephelinitischer Primärmagma angenommen werden sowie den Mantel als eindeutige Quelle.

Blei- und Neodym-Isotopenverhältnisse hingegen deuten, im Vergleich zu den Olivin-Nepheliniten, auf eine heterogene angereicherte Mantelquelle hin. Nach Auffassung von Schleicher & Keller (1991) deuten die Ergebnisse auf einen metasomatisch angereicherten oberen Erdmantel. Dies steht im Einklang mit dem bereits erwähnten Manteldom.

	$^{87}Sr/^{86}Sr$	ϵ_{Nd}	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$
(1)	0,7032 – 0,7040	4,18 – 5,03	18,95 – 18,98	15,619 - 15,627
(2)	0,7039 – 0,7051	2,07 – 3,96	19,10 – 19,42	15,611 - 15,693
(3)	0,7036 – 0,7040	2,81 – 4,04	19,24 – 19,66	15,623 - 15,659

Tab. 3: Isotopenverhältnisse von alkalinen Gesteinen des Kaiserstuhls. Nach Schleicher et al. (1990)

(1) = Primäre Mantelschmelze (Olivin-Nephelinite, Olivin-Melilitite); Na-betonte Magmenserie
(2) = Fraktionierte alkaline Gesteine (Tephrite, Phonolite); K-betonte Magmenserie
(3) = Karbonatite, Bergalite

Literatur

BARANYI, I., LIPPOLT, H.J. & TODT, W. (1976): Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrhein-Gebietes: II. Die Alterstraverse vom Hegau nach Lothringen. – Oberrhein. Geol. Abh., 25: 41-62; Karlsruhe.

EXKURSIONSÜHRER: Geologie vom Schwarzwald und Kaiserstuhl. 27.-30- September 2004. Leitung: Dr. G. Brügmann

EXKURSIONSFÜHRER: Vulkanismus im Gebiet des Oberrheingrabens (Odenwald – Kraichgau – Hegau – Kaiserstuhl): Exkursion für Fortgeschrittene vom 2.6. – 4.6.1988 – Leitung: Dr. Thomas Reischmann & Dr. Bernd Zimanowski.

HENNINGSEN, D. & KATZUNG, G. (2006): Einführung in die Geologie Deutschlands.

HUBBERTEN, H.-W., KATZ-LEHNERT, K., KELLER, J. (1988): Carbon and oxygen isotope investigations in cabonatites and related rocks from the Kaiserstuhl, Germany. In: Chemical Geology, 70 (1988) 257-274

HÜTTNER, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Ein Überblick mit historischer Rückschau. – Geol. Jb., E 48: 17-42; Hannover.

KELLER, J. (1990): Kaiserstuhl alkaline-carbonatite rock complex. – In: KELLER, J., BREY, G., LORENZ, V. & SACHS, P.: IAVCEI 1990 Pre-conference excursion 2A: Volcanism and petrology of the upper Rhinegraben (Urach-Hegau-Kaiserstuhl): 32-53; Mainz.

KRAML, M., KELLER, J. & HENJES-KUNST, F. (1995): New K-Ar, ^{40}Ar-^{39}Ar step heating and ^{40}Ar-^{39}Ar laser fusion dates for the Kaiserstuhl volcanic comples. – Eur. J. Mineral. (Ber. Dt. Mineral. Ges.), 7; Stuttgart.

LGRB, 2003 (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. 2003) – Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000 – Erläuterungen Kaiserstuhl.

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; Freiburg i. Br.

PFLUG, R. (1982): Erträge der Forschung – Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens.

SCHLEICHER, H. (1986): Isotopengeochemie der Alkalivulkanite des Kaiserstuhls (ein Beitrag zu ihrer Genese mit Hilfe radiogener Isotope). – Habil.-Schr. Univ. Freiburg i. Br.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

SCHLEICHER, H., KELLER, J. & KRAMM, U. (1990): Isotope studies on alkaline volcanics and carbonatites from the Kaiserstuhl, Federal Republic of Germany. In: A.R. Woolley and M. Ross (Editors), Alkaline igneous rocks and carbonatites. Lithos, 26 (1990) 21 – 35.

SCHLEICHER, H. & KELLER, J. (1991): Isotopengeochemie der Alkalivulkanite und Karbonatite des Kaiserstuhls: Aussagen zur Magmengenese und zur isotopischen Zusammensetzung des Erdmantels. – Jh. Geol. L.-Amt Baden-Württ., 33: 33-57; Freiburg i. Br.

WAGNER, G. A. (1976): Spaltspurendatierungen an Apatit und Titanit aus den Subvulkaniten des Kaiserstuhls. – N. Jb. Mineral., Mh. 1976: 389-393; Stuttgart.

WIMMENAUER, W. (1962b): Zur Petrogenese der Eruptivgesteine und Karbonatite des Kaiserstuhls. – N. Jb. Minerl., Mh. 1962: 1-11; Stuttgart.